

Ο ρόλος της μαγνητικής τομογραφίας καρδιάς στην εκτίμηση της λειτουργίας των προσθετικών βαλβίδων

✦ **Βασίλειος Γ. Μαντζιάρης, MD, MSc**

Ειδικευόμενος Καρδιολογίας, Τμήμα Καρδιαγγειακής Απεικόνισης, 401 Γενικό Στρατιωτικό Νοσοκομείο Αθηνών

✦ **Δημήτριος Κ. Μαραγιάννης, MD, PhD**

Καρδιολόγος, Επιμελητής Τμήματος Καρδιαγγειακής Απεικόνισης, Τμήμα Καρδιαγγειακής Απεικόνισης, 401 Γενικό Στρατιωτικό Νοσοκομείο Αθηνών

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

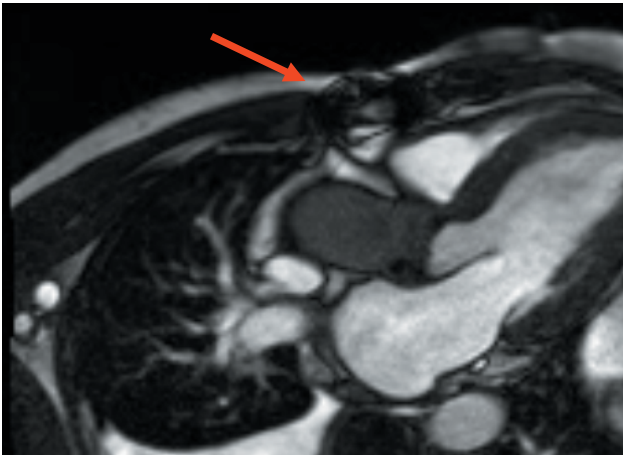
Η ακριβής απεικονιστική εκτίμηση της λειτουργίας των προσθετικών βαλβίδων έχει μεγάλη σημασία στη λήψη των κλινικών αποφάσεων. Όπως είναι ευρέως γνωστό, η υπερηχοκαρδιογραφία αποτελεί τη μέθοδο εκλογής για την αξιολόγηση των προσθετικών καρδιακών βαλβίδων⁽¹⁾. Υπάρχουν, ωστόσο, καταστάσεις κατά τις οποίες η απεικόνιση με τη μαγνητική τομογραφία καρδιάς (Cardiovascular Magnetic Resonance, CMR) υπερτερεί έναντι της υπερηχοκαρδιογραφικής απεικόνισης, καθώς είναι σε θέση να προσφέρει μετρήσεις παραμέτρων με μεγάλη ακρίβεια, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις εκείνες που σχετίζονται με τη βαλβιδική ανεπάρκεια. Ήδη η μαγνητική τομογραφία καρδιάς θεωρείται η μέθοδος εκλογής, όσον αφορά στον υπολογισμό των διαστάσεων των κοιλιών και την εκτίμηση της λειτουργίας τους, συμπεριλαμβανομένης της μάζας της αριστερής κοιλίας. Μια σειρά από πλεονεκτήματα που χαρακτηρίζουν την απεικόνιση με την χρήση της CMR κάνουν την τελευταία να υπερέχει σε αρκετά σημεία, συγκριτικά με άλλες μεθόδους. Από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματά της, είναι η χρήση των ακολουθιών παλμών αντίθεσης φάσης (phase contrast, PC), δια των οποίων είναι εφικτή η ταυτόχρονη μέτρηση τόσο

της ταχύτητας ροής όσο και της αιματικής ροής, σε οποιοδήποτε επιλεγμένο τομογραφικό επίπεδο⁽²⁾. Διαθέτει, επίσης, το σημαντικό πλεονέκτημα της δυνατότητας αναγνώρισης της μυοκαρδιακής ουλής ή και της διάμεσης ίνωσης με τη μέθοδο της καθυστερημένης πρόσληψης σκιαγραφικού μέσου (γαδολίνιου)^(3,4). Επιπλέον, παρέχει τη δυνατότητα απεικόνισης των παρακείμενων ανατομικών δομών και των μεγάλων αγγείων με μεγάλη ευκρίνεια, γεγονός που την καθιστά ελκυστική τεχνική για την αξιολόγηση όχι μόνο των βαλβιδοπαθειών αλλά και πιθανών συννοσηροτήτων, ενώ παράλληλα αποτελεί σημαντικό εργαλείο για το σωστό προεγχειρητικό σχεδιασμό⁽⁵⁾. Παρ' όλα αυτά, η χρήση της μαγνητικής τομογραφίας καρδιάς παρουσιάζει κάποιους περιορισμούς, που αφορούν στην ακρίβεια των μετρήσεων ροής και ταχυτήτων, λόγω της παρουσίας artifacts προερχόμενων από τις προσθετικές βαλβίδες αλλά και της παρουσίας αρρυθμιών.

ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΕ ΑΣΘΕΝΕΙΣ ΜΕ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΕΣ ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΚΑΡΔΙΑΣ

Σχεδόν όλες οι προσθετικές βαλβίδες, μηχανικές ή βιοπροσθετικές, θεωρούνται ασφαλείς (MRI safe)

ή και συμβατές (MRI conditional) για τη διενέργεια εξέτασης σε μαγνητικό τομογράφο με πεδίο 1,5 Tesla, ενώ η πλειονότητα αυτών και σε πεδίο 3 Tesla⁽⁶⁾. Με βάση τα ευρήματα ελέγχων σε προσθετικές βαλβίδες κατά την απεικονιστική εξέταση σε μαγνητικό τομογράφο, έχει διαπιστωθεί, ότι οι δυνάμεις έλξης που ασκούνται τις βαλβίδες, από το μαγνητικό πεδίο, θεωρούνται αμελητέες, συγκριτικά με τη δύναμη που αυτές δέχονται από την πάλλουσα καρδιά. Όσον αφορά στις βαλβίδες που έχουν υποβληθεί σε ελέγχους, η παρατηρούμενη αύξηση της θερμοκρασίας τους, σχετιζόμενη με την εξέταση, θεωρείται αμελητέα. Ως προς τα στερνικά σύρματα μετά την καρδιοχειρουργική επέμβαση, δεν εγείρουν κάποια ανησυχία για τη διενέργεια της απεικονιστικής εξέτασης (Εικόνα 1). Τέλος, μέχρι τώρα δεν έχουν αναφερθεί περιστατικά πρόκλησης βλάβης σε ασθενείς με προσθετικές βαλβίδες που υποβλήθηκαν σε μαγνητική τομογραφία. Τα ειδικά χαρακτηριστικά κάθε τύπου βαλβίδας και οι τεχνικοί έλεγχοι στους οποίους έχει υποβληθεί είναι διαθέσιμα από τον κατασκευαστή ως απαραίτητες πληροφορίες για τη συμβατότητα της βαλβίδας με το μαγνητικό τομογράφο.



Εικόνα 1. Στερνικά σύρματα (βέλος) μετά από αντικατάσταση της αορτικής βαλβίδας. Τα σύρματα προκαλούν artifacts με τις ακολουθίες παλμών SSFP, ωστόσο δεν επηρεάζουν τη διαγνωστική ικανότητα της εξέτασης.

ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΒΑΛΒΙΔΩΝ

Χρησιμοποιώντας μια σειρά τεχνικών με τη μαγνητική τομογραφία καρδιάς, είναι δυνατόν να αντληθούν πληροφορίες για την ανατομία των βαλβίδων και του υποβαλβιδικού μηχανισμού, για την

αξιολόγηση του μηχανισμού δυσλειτουργίας, καθώς και για την εκτίμηση της σοβαρότητας της βλάβης.

Οι ακολουθίες ελεύθερης μετάπτωσης σταθερής κατάστασης (Steady State Free Precession, SSFP) αποτελούν τις συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες κινηματικές τεχνικές για την αξιολόγηση των βαλβιδοπαθειών, και αυτό που τις χαρακτηρίζει είναι το γεγονός, ότι προσφέρουν υψηλή αντίθεση μεταξύ του αίματος και των ανατομικών δομών. Κατά την απεικόνιση με τις ακολουθίες παλμών SSFP παρέχεται η δυνατότητα αξιολόγησης της λειτουργίας των κοιλιών και υπολογισμού των διαστάσεών τους, συμπεριλαμβανομένης της μάζας της αριστερής κοιλίας, παράμετροι που προσφέρουν πληροφορίες για τις αιμοδυναμικές επιπτώσεις της δυσλειτουργίας των βαλβίδων στο μυοκάρδιο⁽⁷⁾.

Το καθιερωμένο πρωτόκολλο απεικόνισης της μαγνητικής τομογραφίας καρδιάς περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, τη λήψη κινηματικών εικόνων κατά τον επιμήκη άξονα της καρδιάς και την επιπλέον λήψη λεπτών τομών, πάχους 4 με 5 mm, κατά τον επιμήκη και τον εγκάρσιο άξονα της βαλβίδας. Η δημιουργία της κινηματικής εικόνας επιτυγχάνεται με το κράτημα της αναπνοής εκ μέρους του ασθενούς, για λίγα δευτερόλεπτα σε κάθε λήψη, στη διάρκεια της οποίας λαμβάνονται στοιχεία από αρκετούς καρδιακούς κύκλους. Στόχος είναι η κινηματική απεικόνιση της βαλβίδας κατά τη διάρκεια του καρδιακού κύκλου, με χρονική ανάλυση 35 έως 45 ms. Εναλλακτικά, για όσους ασθενείς δεν δύνανται να κρατήσουν την αναπνοή τους, είναι εφικτή η απεικόνιση της βαλβίδας σε πραγματικό χρόνο (real time cine imaging) αλλά με απόδοση εικόνας σαφώς κατώτερης ποιότητας.

Αξίζει να τονιστεί, ότι με τη χρήση των ακολουθιών SSFP είναι δυνατή η απεικόνιση της τυρβώδους ροής προερχόμενης από τη στένωση των βαλβίδων ή από πίδακες ανεπάρκειας, όπως επίσης η απεικόνιση εκβλαστήσεων ή άλλων μορφωμάτων που επικάθηνται στις βαλβίδες.

Ένας από τους περιορισμούς κατά την απεικόνιση των προσθετικών βαλβίδων, με την εφαρμογή της παραπάνω τεχνικής, είναι η παρουσία των artifacts, γεγονός που σχετίζεται με την αναλογία μετάλλου που υπάρχει στην προσθετική βαλβίδα. Στις περιπτώσεις αυτές προκρίνεται η χρήση εναλλακτικών ακολουθιών παλμών.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΡΟΗΣ

Ο υπολογισμός της διαβαλβιδικής ταχύτητας και η ποσοτικοποίηση της διαβαλβιδικής ροής ανά παλμό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση των ακολουθιών παλμών αντίθεσης φάσης (PC)⁽⁸⁾.

Η κωδικοποίηση της ταχύτητας (velocity encoding, VENC) είναι μια τεχνική που επιτρέπει την αλλαγή της έντασης του σήματος, ανάλογα με την ταχύτητα των κινούμενων πρωτονίων. Βάσει της τεχνικής αυτής επιτυγχάνεται η χαρτογράφηση των στιγμιαίων ταχυτήτων ροής στην εξεταζόμενη περιοχή ενδιαφέροντος, αφού η ένταση του σήματος του κάθε εικονοστοιχείου της εξεταζόμενης περιοχής είναι ανάλογη της ταχύτητας ροής. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται διαφορετικά χρώματα στην απεικόνιση των ταχυτήτων (λευκό, γκρί, μαύρο), από τα οποία το λευκό αντιπροσωπεύει τη μέγιστη ροή προς μια κατεύθυνση και το μαύρο προς την αντίθετη. Ο υπολογισμός της ταχύτητας και του όγκου ροής πραγματοποιείται με τη χρήση λογισμικού ημιαυτόματης ανίχνευσης περιγράμματος.

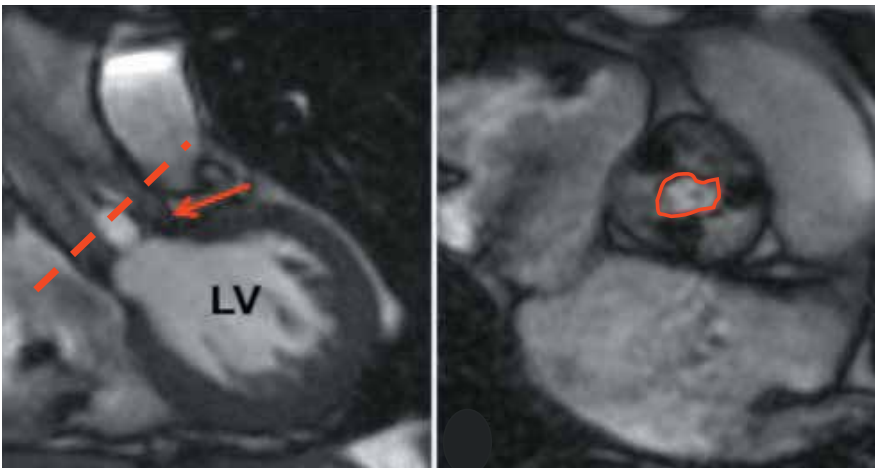
Συνεπώς, με τη μαγνητική τομογραφία καρδιάς είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί ποσοτικός προσδιορισμός της ροής σε οποιοδήποτε επιλεγμένο τομογραφικό επίπεδο, δεδομένου ότι τόσο η ταχύτητα σε κάθε εικονοστοιχείο όσο και ο αριθμός των εικονοστοιχείων εντός της περιοχής ενδιαφέροντος είναι γνωστά. Ειδικότερα, η χρήση των ακολουθιών phase contrast βρίσκει εφαρμογή όχι μόνο στην απεικόνιση του πίδακα ανεπάρκειας και την ποσοτικοποίηση αυτής, αλλά παρέχει επίσης τη δυνατότητα εκτίμησης του βαθμού στένωσης της βαλβίδας με τον υπολογισμό της διαβαλβιδικής ταχύτητας ροής.

Οι μετρήσεις με την παραπάνω τεχνική έχουν περιορισμένη ακρίβεια, σε περιπτώσεις αδυναμίας εκ μέρους του ασθενούς να κρατήσει την αναπνοή του ή σε περιπτώσεις αρρυθμιών και τότε, εναλλακτικά, χρησιμοποιούνται ειδικές ρυθμίσεις στις ακολουθίες παλμών phase contrast (free breathing, multiple averages).

ΜΗΝΟΕΙΔΕΙΣ ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΣΤΕΝΩΣΗ

Οι κύριες μετρήσεις που πραγματοποιούνται για τη διαπίστωση της σοβαρότητας της στένωσης των μηννοειδών βαλβίδων είναι αφενός μεν η μέτρηση της μέγιστης διαβαλβιδικής ταχύτητας και αφετέρου ο υπολογισμός της επιφάνειας του βαλβιδικού στομίου κατά τη συστολή.

Η χρήση των ακολουθιών SSFP καθιστά δυνατό τον εντοπισμό και την ποιοτική αξιολόγηση του πίδακα της στενωμένης προσθετικής βαλβίδας και από την άποψη αυτή η μαγνητική τομογραφία καρδιάς προσδίδει τη δυνατότητα ακριβούς απεικόνισης του επιπέδου της στένωσης (βαλβιδικά, υπερ-υποβαλβιδικά). Για τον υπολογισμό του στομίου της προσθετικής βαλβίδας πραγματοποιείται πλανημέτρηση ακριβώς στο επίπεδο των άκρων (tips) των γλωχίνων, ενώ συχνά, προκειμένου να εντοπιστεί το επίπεδο που το στόμιο παρουσιάζει τη μεγαλύτερη στένωση, είναι απαραίτητη η λήψη πολλαπλών (συνήθως τριών) παράλληλων λεπτών τομών (Εικόνα 2). Όπως έχει διαπιστωθεί σε μελέτες, η άμεση πλανημέτρηση του στομίου των αορτικών βιοπροσθετικών βαλβίδων αποτελεί αξιόπιστη μέθοδο αξιολόγησης της στένωσης^{(9), (10)}. Παρ' όλα αυτά, η πλανημέτρηση της επιφάνειας στομίου των μεταλλικών βαλβίδων, και



Εικόνα 2. Στένωση αορτικής βιοπροσθετικής βαλβίδας 21 mm Medtronic Mosaic (βέλος). Αριστερά: Η βιοπροσθετική βαλβίδα στον επιμήκη άξονα κατά τη συστολή με τις ακολουθίες παλμών SSFP. Τοποθέτηση τομογραφικού απεικονιστικού επιπέδου (κόκκινη διακεκομμένη γραμμή) στο ύψος των tips των γλωχίνων κάθετα στο υψηλής ταχύτητας jet. Δεξιά: Πλανημέτρηση της ανατομικής επιφάνειας της βιοπροσθετικής βαλβίδας στον εγκάρσιο άξονα. LV: Αριστερή κοιλία

ορισμένων βιοπροσθετικών, καθίσταται δυσχερής λόγω artifacts προερχόμενων από το σκελετό των προσθετικών βαλβίδων. Επισημαίνεται, τέλος, ότι η μαγνητική τομογραφία καρδιάς διαθέτει σαφή υπεροχή στην απεικόνιση της πνευμονικής βαλβίδας και του χώρου εξόδου της δεξιάς κοιλίας, σε σχέση με το διαθωρακικό και το διοισοφάγειο υπερηχογράφημα, τεχνικές με τις οποίες η πνευμονική βαλβίδα δεν είναι τόσο καλά ορατή.

Ως προς την εκτίμηση της μέγιστης ταχύτητας στο ύψος της μεγαλύτερης στένωσης, πραγματοποιείται με την τεχνική αντίθεσης φάσης, με την οποία είναι δυνατή η απεικόνιση του στενωτικού πίδακα, ενώ με την ίδια τεχνική είναι δυνατή και η μέτρηση της διαβαλβιδικής ταχύτητας στο ύψος των άκρων των γλωχίνων. Επιπλέον, σύμφωνα με προηγούμενη δημοσιευμένη μελέτη, στις βιοπροσθετικές αορτικές βαλβίδες είναι δυνατός ο υπολογισμός της λειτουργικής επιφάνειας στομίου, χρησιμοποιώντας τις ακολουθίες αντίθεσης φάσης και την εξίσωση συνεχείας⁽¹⁰⁾.

ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑ

Κατά την απεικόνιση με τις ακολουθίες παλμών SSFP είναι ορατή όχι μόνο η θέση της προσθετικής βαλβίδας, αλλά είναι επίσης ορατός ο πίδακας ανεπάρκειας της βαλβίδας. Έτσι, είναι δυνατή η αποσαφήνιση του μηχανισμού ανεπάρκειας (βαλβιδική, παραβαλβιδική). Επιπλέον, με τις ίδιες ακολουθίες υπολογίζονται με ακρίβεια η λειτουργία, οι τελοδιαστολικοί όγκοι καθώς και οι όγκοι παλμού των κοιλιών. Σε μεμονω-

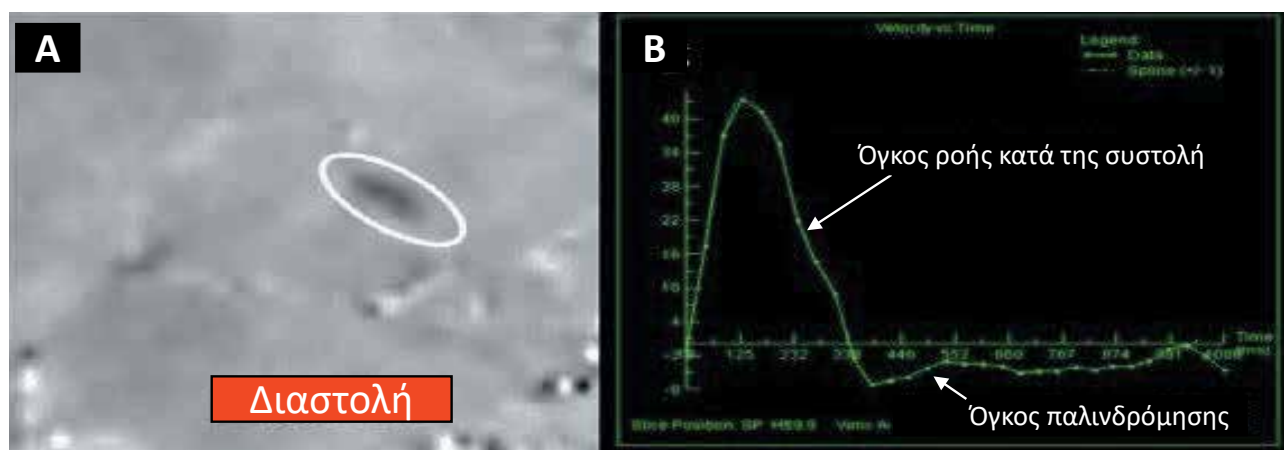
μένες περιπτώσεις είναι δυνατή η πλανημέτρηση της επιφάνειας του στομίου παλινδρόμησης.

Όσον αφορά στην ανεπάρκεια της προσθετικής αορτικής και πνευμονικής βαλβίδας, μπορεί να εκτιμηθεί άμεσα με την τεχνική αντίθεσης φάσης ακριβώς πάνω από την προσθετική βαλβίδα, στο επίπεδο της αορτής και της πνευμονικής αρτηρίας, αντίστοιχα. Με τη μέθοδο αυτή είναι δυνατός ο υπολογισμός του όγκου ροής που διέρχεται ύπερθεν της βαλβίδας, του όγκου παλινδρόμησης καθώς και ο υπολογισμός του κλάσματος παλινδρόμησης της προσθετικής βαλβίδας (Εικόνα 3).

Εναλλακτικά, με τη χρήση των ακολουθιών αντίθεσης φάσης, ο όγκος παλινδρόμησης της προσθετικής αορτικής βαλβίδας δύναται να υπολογισθεί έμμεσα ως η διαφορά μεταξύ του όγκου ροής διαμέσου της αορτικής βαλβίδας και του όγκου ροής διαμέσου της πνευμονικής βαλβίδας, με την προϋπόθεση ότι δεν συνυπάρχει σημαντική ανεπάρκεια της πνευμονικής βαλβίδας. Αντίστοιχα, δύναται να υπολογισθεί ο όγκος παλινδρόμησης της πνευμονικής βαλβίδας ως η διαφορά μεταξύ του όγκου ροής διαμέσου της πνευμονικής βαλβίδας και του όγκου ροής διαμέσου της αορτικής βαλβίδας, με την προϋπόθεση ότι δεν συνυπάρχει σημαντική ανεπάρκεια της αορτικής βαλβίδας.

ΔΙΑΔΕΡΜΙΚΗ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΟΡΤΙΚΗΣ ΒΑΛΒΙΔΑΣ (TAVI)

Η διαδερμική αντικατάσταση της αορτικής βαλβίδας χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια, αντί της χειρουργικής αντικατάστασης. Η



Εικόνα 3. Μαγνητική τομογραφία αντίθεσης φάσης (phase contrast). Αριστερά: Απεικόνιση στον εγκάρσιο άξονα βιοπροσθετικής βαλβίδας στη διαστολή. Με μαύρο χρώμα απεικονίζεται η παραβαλβιδική ανεπάρκεια (εντός του λευκού περιγράμματος). Δεξιά: Η επιφάνεια κάτω από τη γραμμή (μικρό βέλος) αναπαριστά τον όγκο παλινδρόμησης της βαλβίδας. Η παραβαλβιδική διαστολική ροή υπολογίστηκε στα 30 ml ανά παλμό.

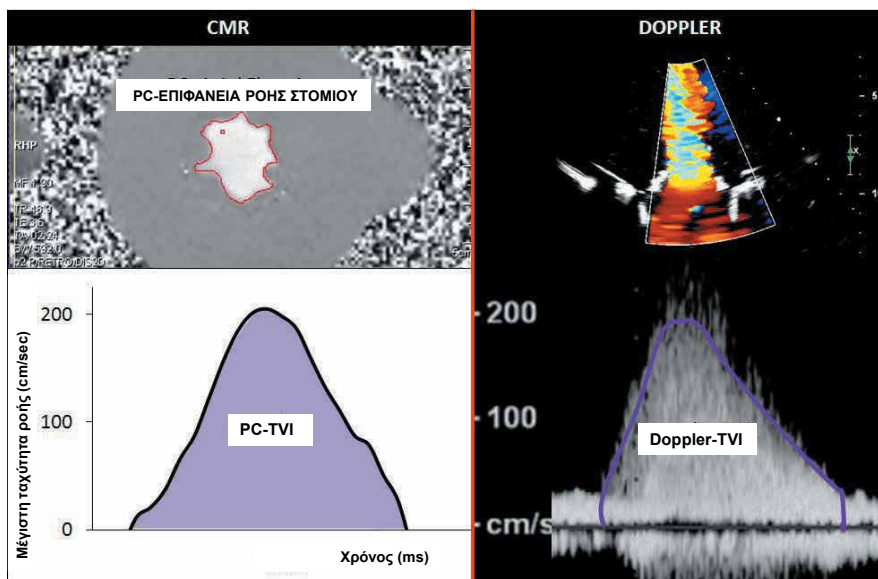
ανεπάρκεια της αορτικής βαλβίδας μετά την TAVI αποτελεί έναν κακό προγνωστικό δείκτη⁽¹¹⁾. Σύμφωνα με πρόσφατα δημοσιευμένες μελέτες, η ύπαρξη ποσοστού κλάσματος παλινδρόμησης της βαλβίδας (Regurgitation Fraction) μεγαλύτερου του 30% έχει συσχετιστεί με περισσότερες νοσηλείες για καρδιακή ανεπάρκεια και μεγαλύτερη θνητότητα⁽¹²⁾. Η χρήση της μαγνητικής τομογραφίας καρδιάς επιτρέπει την ποσοτικοποίηση της ανεπάρκειας με υψηλή ακρίβεια. Ωστόσο, καθίσταται δυσχερής τόσο η μέτρηση της επιφάνειας του στομίου της βαλβίδας όσο και η αναγνώριση της βαλβιδικής έναντι της παραβαλβιδικής ανεπάρκειας, λόγω των artifacts που προέρχονται από το σκελετό της προσθετικής βαλβίδας.

ΚΟΛΠΟΚΟΙΛΙΑΚΕΣ ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΣΤΕΝΩΣΗ

Το διαθωρακικό και το διοισοφάγειο υπερηχοκαρδιογράφημα αποτελούν τις μεθόδους εκλογής για την αξιολόγηση της στένωσης της προσθετικής μιτροειδούς και τριγλώχινας βαλβίδας. Όπως προαναφέρθηκε, στην περίπτωση των μηνοειδών βαλβίδων, η μαγνητική τομογραφία καρδιάς με τη χρήση των ακολουθιών παλμών SSFP παρέχει τη δυνατότητα απεικόνισης της τυρβώδους ροής προερχόμενης από τη στένωση των βαλβίδων, ενώ παράλληλα με τη μέθοδο της πλανημέτρησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση της στενωτικής επιφάνειας του στομίου. Από κλινική μελέτη στο παρελθόν, που συνέκρινε την ανατομική με τη λειτουργική επιφάνεια στομίου

βιοπροσθετικών βαλβίδων, προέκυψε ικανοποιητική συσχέτιση ανάμεσα στην υπολογισθείσα, βάσει πλανημέτρησης, ανατομική επιφάνεια στομίου και στην υπολογισθείσα λειτουργική επιφάνεια στομίου με τη χρήση της Doppler δια της μεθόδου του υποδιπλασιασμού της πίεσης (PHT)⁽¹³⁾. Μέχρι σήμερα, δεν αναφέρεται αντίστοιχη μελέτη, στην οποία να περιγράφεται η ακρίβεια της μαγνητικής τομογραφίας καρδιάς σε περιπτώσεις ασθενών με προσθετική βαλβίδα στη θέση της τριγλώχινας, και αυτό πιθανότατα οφείλεται στο γεγονός, ότι είναι μικρός ο αριθμός των ασθενών που ανήκει σε αυτή την κατηγορία.

Περαιτέρω, χρησιμοποιώντας τις ακολουθίες αντίθεσης φάσης, είναι δυνατόν να υπολογισθεί η διαστολική ροή και η μέγιστη διαβαλβιδική ταχύτητα. Σύμφωνα με κλινική μελέτη ασθενών, που εμφάνιζαν στένωση της μιτροειδούς βαλβίδας, οι μετρήσεις της μέγιστης πρώιμης διαστολικής ταχύτητας ροής με τις ακολουθίες αντίθεσης φάσης έδειξαν καλή συμφωνία κατά τη σύγκρισή τους με αντίστοιχα αποτελέσματα προερχόμενα από τη χρήση της Doppler μεθόδου⁽¹⁴⁾. Σε πρόσφατη in vitro μελέτη υπολογίσθηκε η επιφάνεια του λειτουργικού στομίου των βιοπροσθετικών βαλβίδων μιτροειδούς με τη μέθοδο αντίθεσης φάσης, χρησιμοποιώντας την εξίσωση συνεχείας, μέσω της διαίρεσης του διαστολικού όγκου ροής με το ολοκλήρωμα της μέγιστης ταχύτητας διαβαλβιδικής ροής – χρόνου (Εικόνα 4). Η μέτρηση της επιφάνειας του λειτουργικού στομίου με τη μαγνητική τομογραφία καρδιάς κατέδειξε στατιστικά σημαντική συσχέτιση



Εικόνα 4. Ολοκλήρωμα των στιγμιαίων μέγιστων ταχυτήτων ροής με τη μέθοδο phase contrast και υπολογισμός PC-TVI (κάτω αριστερά), συγκριτικά με το αντίστοιχο Doppler TVI (κάτω δεξιά) σε βιοπροσθετική βαλβίδα Medtronic Mosaic. Πάνω αριστερά απεικονίζεται εγκάρσια διατομή της ροής με τη μέθοδο phase contrast στο επίπεδο των μέγιστων ταχυτήτων. Απεικόνιση της ίδιας βαλβίδας με το έγχρωμο Doppler, πάνω δεξιά. Προέλευση: Maragiannis D, Jackson MS, Autry K, et al. Functional assessment of bioprosthetic mitral valves by cardiovascular magnetic resonance: An in vitro validation and comparison to Doppler echocardiography. *J Cardiovasc Magn Reson.* 2020 Jul 30;22(1):55.

και καλή συμφωνία με αντίστοιχες μετρήσεις της επιφάνειας λειτουργικού στομίου, που είχαν διενεργηθεί βάσει της μεθόδου Doppler⁽¹⁵⁾.

Όσον αφορά στην ακρίβεια των μετρήσεων της μαγνητικής τομογραφίας καρδιάς, επηρεάζεται από διάφορους τεχνικούς παράγοντες, όπως η απώλεια σήματος που προκαλείται από επασβεστώσεις στις γλωχίνες των βιοπροσθετικών βαλβίδων, τα artifacts που προέρχονται από το σκελετό των βαλβίδων, η μετατόπιση του δακτυλίου της βαλβίδας κατά τη διάρκεια της διαστολής και οι αρρυθμίες. Σε αυτές τις περιπτώσεις η πλανημέτρηση της επιφάνειας του στομίου των βαλβίδων καθίσταται δυσχερής, ενώ είναι μειωμένη η ακρίβεια των μετρήσεων ροής, χρησιμοποιώντας τις ακολουθίες παλμών αντίθεσης φάσης.

ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑ

Η μαγνητική τομογραφία καρδιάς με τη χρήση των ακολουθιών παλμών SSFP παρέχει τη δυνατότητα αφενός μεν απεικόνισης της τυρβώδους ροής προερχόμενης από τους πίδακες ανεπάρκειας, αφετέρου δε εντοπισμού του πίδακα ανεπάρκειας (διαβαλβιδική, παραβαλβιδική). Η αξιολόγηση της ανεπάρκειας των προσθετικών βαλβίδων είναι δυνατόν να υπολογισθεί με άμεσο αλλά και με έμμεσο τρόπο. Στην κλινική πράξη, η άμεση μέτρηση της ανεπάρκειας με τις ακολουθίες αντίθεσης φάσης δεν χρησιμοποιείται, καθώς καθίσταται τεχνικά δυσχερής εξαιτίας της κίνησης του δακτυλίου και των περιδινήσεων του πίδακα ανεπάρκειας, λόγω των μεγάλων ταχυτήτων που προκαλούν ανακρίβειες στον υπολογισμό της ροής. Η έμμεση μέθοδος αξιολόγησης της ανεπάρκειας των προσθετικών βαλβίδων πραγματοποιείται όπως ακριβώς στις περιπτώσεις των φυσικών βαλβίδων, δηλαδή μέσω του υπολογισμού



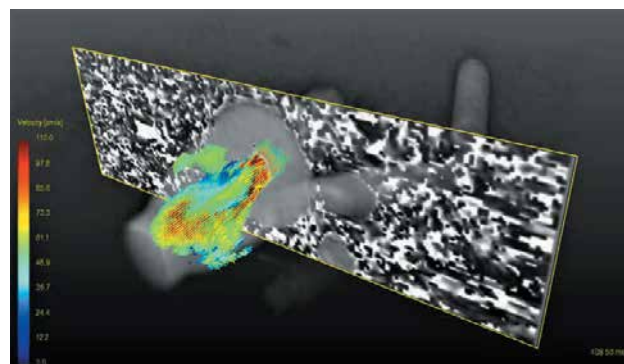
Εικόνα 5. Ποσοτικοποίηση της ανεπάρκειας της μιτροειδούς βαλβίδας με τη μαγνητική τομογραφία καρδιάς. Ο όγκος παλινδρόμησης υπολογίζεται αν αφαιρεθεί ο όγκος ροής διαμέσου της αορτής με τη μέθοδο αντίθεσης φάσης (Ao flow) από τον όγκο παλμού της αριστερής κοιλίας (LVSV), που υπολογίζεται με τις ακολουθίες παλμών SSFP.

MR: Όγκος παλινδρόμησης της μιτροειδούς βαλβίδας, LVSV: Όγκος παλμού της αριστερής κοιλίας, Ao flow: Όγκος ροής στην ανιούσα αορτή.

του όγκου παλινδρόμησης και του κλάσματος παλινδρόμησης. Έτσι, όσον αφορά στην προσθετική βαλβίδα μιτροειδούς, ο προσδιορισμός του όγκου παλινδρόμησης προκύπτει αφαιρώντας από τον όγκο παλμού της αριστερής κοιλίας τον όγκο ροής στην ανιούσα αορτή, ενώ, αντίστοιχα, στην περίπτωση της προσθετικής τριγλώχινας βαλβίδας προκύπτει αφαιρώντας από τον όγκο παλμού της δεξιάς κοιλίας τον όγκο ροής στην πνευμονική αρτηρία (Εικόνα 5).

4D FLOW MRI

Ανάμεσα στις μη επεμβατικές διαγνωστικές μεθόδους, η απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού ροής τεσσάρων διαστάσεων (4D Flow MRI) προσφέρει το μοναδικό πλεονέκτημα τόσο της αξιολόγησης των ποιοτικών χαρακτηριστικών της ροής του αίματος όσο και της ποσοτικής εκτίμησης των αιμοδυναμικών παραμέτρων (ταχύτητα ροής, διαβαλβιδική κλίση πίεσης) σε οποιοδήποτε τομογραφικό επίπεδο επιλεγεί μέσα από έναν τρισδιάστατο όγκο απεικονιστικών δεδομένων⁽¹⁶⁾. Με τη μέθοδο αυτή είναι εφικτό να αντληθούν δυναμικά δεδομένα ανάλυσης ταχυτήτων και στις τρεις διευθύνσεις του χώρου, καθώς επίσης και δυναμικά ογκομετρικά δεδομένα μεγέθους που περιγράφουν την καρδιακή ανατομία. Επιπλέον, με τη χρήση κατάλληλων εργαλείων, όπως είναι οι χρωματικοί απεικονιστικοί χάρτες ταχυτήτων, οι οποίοι στηρίζονται στη χρωματική κωδικοποίηση της ταχύτητας βάσει μεγέθους, διευκολύνεται η οπτική αναγνώριση των περιοχών εκείνων που χαρακτηρίζονται από υψηλές ταχύτητες ροής (Εικόνα 6).



Εικόνα 6. Βιοπροσθετική βαλβίδα μιτροειδούς Hancock II, μέγεθος 31 mm, στερεωμένη σε δίσκο εντός θαλάμου απεικόνισης, που αναπαριστά τις αριστερές καρδιακές κοιλότητες, ο οποίος συνδέεται με ένα πειραματικό in vitro κύκλωμα παλμικής κυκλοφορίας. Χρωματική αποτύπωση των στιγμιαίων ταχυτήτων βάσει μεγέθους ταχύτητας εντός της κοιλότητας που αναπαριστά την αριστερή κοιλία με τη μέθοδο 4D Flow MRI.

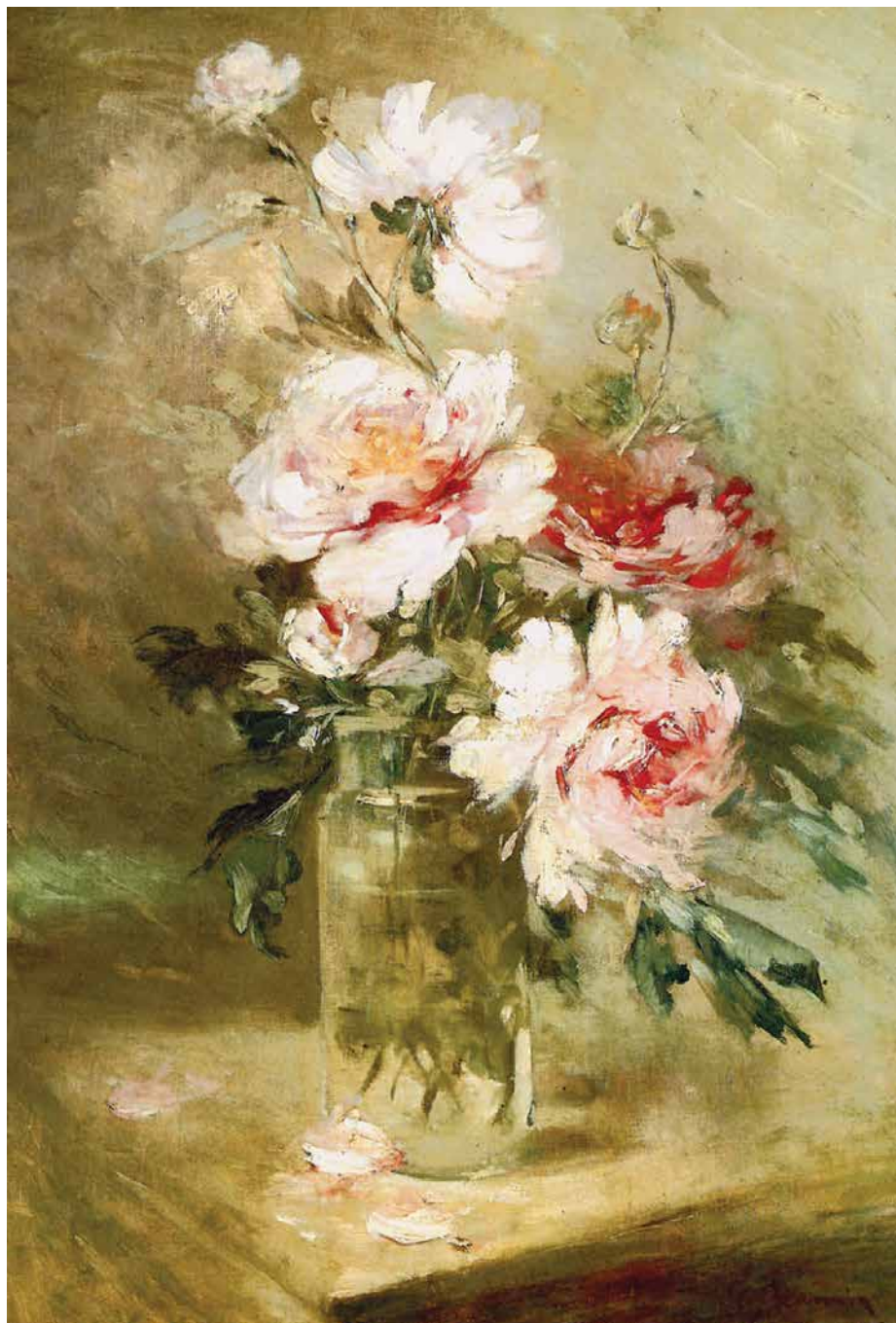
Σε πρόσφατα διεξαχθείσες *in vitro* μελέτες, που αφορούσαν στην εκτίμηση προσθετικών καρδιακών βαλβίδων, διαπιστώθηκε ότι με τη χρήση της 4D Flow MRI είναι εφικτή η επιτυχής απεικόνιση του μοτίβου της ροής πλησίον των βαλβίδων αυτών⁽¹⁷⁾. Ταυτόχρονα δε, όπως αναδείχθηκε σε έτερη αντίστοιχη μελέτη, με τη χρήση της καθίσταται δυνατή η ποσοτικοποίηση τόσο της ταχύτητας ροής όσο και της έντασης της τυρβώδους ροής κατόπιν των προσθετικών βαλβίδων⁽¹⁸⁾. Αξίζει να αναφερθεί ότι σε μελέτη που αφορούσε στα χαρακτηριστικά της βαλβιδικής ροής και τη μείωση της πίεσης σε μια

σειρά φυσιολογικών και στενωτικών προσθετικών βαλβίδων, η χρήση της 4D Flow MRI αποδείχθηκε αποτελεσματική στην εκτίμηση της μέγιστης ταχύτητας, της παραγόμενης τυρβώδους κινητικής ενέργειας και της αντίστοιχης μείωσης της πίεσης στις παραπάνω βαλβίδες⁽¹⁹⁾. Σύμφωνα, τέλος, με άλλη μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε *in vitro* πειραματικό μοντέλο σταθερής ροής, η 4D Flow MRI χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία ως μέθοδος υπολογισμού της επιφάνειας του λειτουργικού στομίου σε βιοπροσθετικές βαλβίδες, που ήταν τοποθετημένες σε ομοίωμα αορτικής ρίζας⁽²⁰⁾. ■

► ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Zoghbi WA, Chambers JB, Dumesnil JG, Foster E, Gottdiener JS, Grayburn PA, et al. Recommendations for evaluation of prosthetic valves with echocardiography and doppler ultrasound: a report from the American Society of Echocardiography's Guidelines and Standards Committee and the Task Force on Prosthetic Valves, developed in conjunction. *J Am Soc Echocardiogr Off Publ Am Soc Echocardiogr*. 2009 Sep;22(9):974–5.
- Myerson S. Heart valve disease: Investigation by cardiovascular magnetic resonance. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2012 Jan 19;14:7.
- Chin CWL, Messika-Zeitoun D, Shah AS V, Lefevre G, Bailleul S, Yeung ENW, et al. A clinical risk score of myocardial fibrosis predicts adverse outcomes in aortic stenosis. *Eur Heart J*. 2016 Feb;37(8):713–23.
- Edwards NC, Moody WE, Yuan M, Weale P, Neal D, Townend JN, et al. Quantification of left ventricular interstitial fibrosis in asymptomatic chronic primary degenerative mitral regurgitation. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2014 Nov;7(6):946–53.
- Rajiah P, Moore A, Saboo S, Goerne H, Ranganath P, MacNamara J, et al. Multimodality Imaging of Complications of Cardiac Valve Surgeries. *Radiogr a Rev Publ Radiol Soc North Am Inc*. 2019;39(4):932–56.
- Shellock FG Reference Manual for MRI safety. Implants and Devices. Los Angeles, California. Biomedical Research; 2020 No Title.
- Kawel-Boehm N, Maceira A, Valsangiacomo-Buechel ER, Vogel-Claussen J, Turkbey EB, Williams R, et al. Normal values for cardiovascular magnetic resonance in adults and children. *J Cardiovasc Magn Reson [Internet]*. 2015;17(1):29. Available from: <https://doi.org/10.1186/s12968-015-0111-7>
- Nayak KS, Nielsen J-F, Bernstein MA, Markl M, D. Gatehouse P, M. Botnar R, et al. Cardiovascular magnetic resonance phase contrast imaging. *J Cardiovasc Magn Reson [Internet]*. 2015;17(1):71. Available from: <https://doi.org/10.1186/s12968-015-0172-7>
- Florian von K-B, André R, Ralf W, Steffen B, Elina BE, Hassan A-A, et al. Feasibility of Cardiovascular Magnetic Resonance to Assess the Orifice Area of Aortic Bioprostheses. *Circ Cardiovasc Imaging [Internet]*. 2009 Sep 1;2(5):397–404. Available from: <https://doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.108.840967>
- Maragiannis D, Jackson MS, Flores-Arredondo JH, Autry K, Schutt RC, Alvarez PA, et al. Functional Assessment of Bioprosthetic Aortic Valves by CMR. *JACC Cardiovasc Imaging [Internet]*. 2016;9(7):785–93. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1936878X16300948>
- Ribeiro HB, Orwat S, Hayek SS, Larose É, Babaliaros V, Dahou A, et al. Cardiovascular Magnetic Resonance to Evaluate Aortic Regurgitation After Transcatheter Aortic Valve Replacement. *J Am Coll Cardiol*. 2016 Aug;68(6):577–85.
- Ferreira-Neto AN, Merten C, Beurich H-W, Zachow D, Richardt G, Larose E, et al. Effect of Aortic Regurgitation by Cardiovascular Magnetic Resonance After Transcatheter Aortic Valve Implantation. *Am J Cardiol [Internet]*. 2019 Jul 1;124(1):78–84. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2019.04.007>
- von Knobelsdorff-Brenkenhoff F, Rudolph A, Wassmuth R, Schulz-Menger J. Assessment of mitral bioprostheses using cardiovascular magnetic resonance. *J Cardiovasc Magn Reson [Internet]*. 2010;12(1):36. Available from: <https://doi.org/10.1186/1532-429X-12-36>
- Lin SJ, Brown PA, Watkins MP, Williams TA, Lehr KA, Liu W, et al. Quantification of stenotic mitral valve area with magnetic resonance imaging and comparison with Doppler ultrasound. *J Am Coll Cardiol [Internet]*. 2004;44(1):133–7. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0735109704007016>
- Maragiannis D, Jackson MS, Autry K, Flores Arredondo JH, Aggeli C, Tousoulis D, et al. Functional assessment of bioprosthetic mitral valves by cardiovascular magnetic resonance: An *in vitro* validation and comparison to Doppler echocardiography. *J Cardiovasc Magn Reson [Internet]*. 2020 Jul 30;22(1):55. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32727590>
- Hope MD, Sedlic T, Dwyerfeldt P. Cardiothoracic Magnetic Resonance Flow Imaging. *J Thorac Imaging [Internet]*. 2013;28(4). Available from: https://journals.lww.com/thoracicimaging/Fulltext/2013/07000/Cardiothoracic_Magnetic_Resonance_Flow_Imaging.3.aspx
- von Knobelsdorff-Brenkenhoff F, Dieringer MA, Greiser A, Schulz-Menger J. *In vitro* assessment of heart valve bioprostheses by cardiovascular magnetic resonance: four-dimensional mapping

- of flow patterns and orifice area planimetry. *Eur J cardio-thoracic Surg Off J Eur Assoc Cardio-thoracic Surg*. 2011 Sep;40(3):736–42.
18. Kvitting J-PE, Dyverfeldt P, Sigfridsson A, Franzén S, Wigström L, Bolger AF, et al. In vitro assessment of flow patterns and turbulence intensity in prosthetic heart valves using generalized phase-contrast MRI. *J Magn Reson Imaging*. 2010 May;31(5):1075–80.
19. Ha H, Kvitting JP, Dyverfeldt P, Ebbers T. 4D Flow MRI quantification of blood flow patterns, turbulence and pressure drop in normal and stenotic prosthetic heart valves. *Magn Reson Imaging*. 2019 Jan;55:118–27.
20. Sturla F, Piatti F, Jaworek M, Lucherini F, Pluchinotta FR, Siryk S V, et al. 4D Flow MRI hemodynamic benchmarking of surgical bioprosthetic valves. *Magn Reson Imaging [Internet]*. 2020;68:18–29. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0730725X19306253>



Παιώνιες σε γυάλινο βάζο Georges Jennin