

## The growing role of echocardiography in interventional cardiology: The present and the future

A.P. PATRIANAKOS, A.A. ZACHARAKI, E.I. SKALIDIS, M.I. HAMILOS, F.I. PARTHENAKIS, P.E. VARDAS

Heraklion University Hospital, Cardiology Department, Crete, Greece

### Abstract

As structural heart disease interventions continue to evolve to a sophisticated level, accurate and reliable imaging is required for pre-procedural selection of cases, intraprocedural guidance, post-procedural evaluation, and long-term follow-up of patients. Traditionally, cardiovascular procedures in the catheterization laboratory are guided by fluoroscopy and angiography. Advances in echocardiography can overcome most limitations of conventional imaging modalities and provide successful completion of each step of any catheter-based treatment. Echocardiography's unique characteristics rendered it the ideal technique for percutaneous catheter-based procedures. The purpose of this review is to demonstrate the use of the most common and up-to-date echocardiographic techniques in recent non-coronary percutaneous interventional procedures, underlining its inevitable and growing role, as well as illustrating areas of weakness and limitations, and to provide future perspectives.

**KEYWORDS:** Transesophageal, 3D echocardiography, Catheterization laboratory, Interventional

## Επιμέλεια: Οδυσσέας Καϊτόζης

**Σ**ε πρόσφατη δημοσίευση στο HJC οι Πατριανάκος και συν. δημοσίευσαν ένα άρθρο ανασκόπησης του ρόλου της υπερηχοκαρδιογραφίας στην Επεμβατική Καρδιολογία. Είναι γνωστό ότι τα τελευταία χρόνια οι διαδερμικές επεμβάσεις έχουν αυξηθεί δραματικά για ένα ευρύ φάσμα δομικών καρδιοπαθειών. Ένας μεγάλος αριθμός ασθενών που στο παρελθόν ήταν απαραίτητο να υποβληθούν σε χειρουργική επέμβαση ανοικτής καρδιάς σήμερα είναι δυνατόν να αντιμετωπιστούν εναλλακτικά με διακαθετηριακές επεμβάσεις στο Αιμοδυναμικό Εργαστήριο με την ραγδαία ανάπτυξη της Επεμβατικής Καρδιολογίας. Η ραγδαία αυτή ανάπτυξη μπορεί να αποδοθεί τόσο στην εξέλιξη της τεχνολογίας με την βελτίωση των διαθέσιμων υλικών και συσκευών όσο και στην αντίστοιχη βελτίωση των απεικονιστικών τεχνικών όπως η υπερηχοκαρδιογραφία.

Παραδοσιακά οι διαδερμικές επεμβάσεις γίνονται με την καθοδήγηση της ακτινοσκόπησης και της αγγειογραφίας. Η χρήση όμως αυτών των μεθόδων έχει σημαντικούς περιορισμούς όπως η έκθεση στην ακτινοβολία, η δισδιάσταση απεικόνιση μίας τρισδιάστατης δομής, η μειωμένη ικανότητα στον χαρακτηρισμό των ιστών και η χρήση ακτινοσκιακών παραγόντων αντίθεσης. Οι εξελίξεις στην υπερηχοκαρδιογραφία μπορούν να ξεπεράσουν τα μειονεκτήματα αυτά και να βοηθήσουν στην ολοκλήρωση των διακαθετηριακών επεμβάσεων. Ταυτόχρονα η χρήση της υπερηχοκαρδιογραφίας προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες απεικονιστικές τεχνικές (αξονική και μαγνητική τομογραφία) όπως η φορητότητα, η δυνατότητα απεικόνισης σε πραγματικό χρόνο κατά τη διάρκεια της επέμβασης, η ακριβής ανατομική απεικόνιση των δομών, η καθοδήγηση στην επιλογή των κατάλληλων ασθενών για την επέμβαση, η αναγνώριση των επιπλοκών και η απαραίτητη παρακολούθηση των ασθενών μετά την επέμβαση. Επιπλέον η χρήση της τρισδιάστατης (3D) υπερηχοκαρδιογραφίας αυξάνει την ποιότητα των εικόνων και την ακρίβεια στην καθοδήγηση της επέμβασης.

Σήμερα οι επεμβάσεις που γίνονται στο Αιμοδυναμικό Εργαστήριο κάτω από υπερηχοκαρδιογραφική καθοδήγηση (δισδιάστατο ή τρισδιάστατο διαθωρακικό ή διοισοφάγειο υπερηχοκαρδιογράφημα,

ενδοκαρδιακό υπερηχοκαρδιογράφημα ICE) είναι:

1. Σύγκλιση συγγενών ή επίκτητων ελλειμμάτων (μεσοκολπική επικοινωνία, μεσοκοιλιακή επικοινωνία, ανοικτό ωοειδές τρήμα)
2. Βαλβιδοπάθειες (βαλβιδοπλαστική μιτροειδούς βαλβίδας, διαδερμική επιδιόρθωση μιτροειδούς βαλβίδας/mitral clip, εμφύτευση αορτικής βαλβίδας/TAVI, διαδερμική επιδιόρθωση τριγλώχινας βαλβίδας/Mitralign)
3. Σύγκλιση ωτίου αριστερού κόλπου
4. Απομόνωση πνευμονικών φλεβών σε κολπική μαρμαρυγή
5. Ψευδοανευρύσματα μετά από έμφραγμα
6. Περικαρδιοκέντηση
7. Βιοψία μυοκαρδίου
8. Κατάλυση σε υπερτροφική μυοκαρδιοπάθεια (έγχυση αλκοολούχου διαλύματος σε διαφραγματικό κλάδο)
9. Αναρρόφηση θρόμβων από δεξιά καρδιά
10. Εμφύτευση συσκευών υποβοήθησης αριστερής κοιλίας
11. Εξόρυξη βηματοδοτικών καλωδίων
12. Συγγενείς καρδιοπάθειες (βαλβιδοπλαστική συγγενούς αορτικής και πνευμονικής στένωσης, τοποθέτηση ενδοπρόθεσης σε στένωση ισθμού αορτής κ.α).

## 1. Παρακέντηση Μεσοκολπικού Διαφράγματος

Η παρακέντηση του μεσοκολπικού διαφράγματος είναι το πρώτο βήμα για μία σειρά διαδερμικών επεμβάσεων στην αριστερή κοιλία. Είναι γεγονός ότι οι έμπειροι επεμβατικοί καρδιολόγοι μπορούν να εκτελέσουν με επιτυχία την παρακέντηση υπό ακτινοσκοπική καθοδήγηση. Ωστόσο η επέμβαση μπορεί να έχει σημαντικές δυσκολίες όπως το ανεύρυσμα του μεσοκολπικού διαφράγματος, η διάταση της αορτικής ρίζας, οι δυσμορφίες στο θώρακα ή η προηγούμενη ανεπιτυχής παρακέντηση. Η επικουρική χρήση της υπερηχοκαρδιογραφίας μπορεί να διευκολύνει τη διαδικασία μειώνοντας τις επιπλοκές. Η κατανόηση της περίπλοκης ανατομίας είναι καθοριστική για την επιτυχία της επέμβασης και η διοισοφάγειος υπερηχοκαρδιογραφία (TEE) προσφέρει

εξαιρετική απεικόνιση του μεσοκοιλιακού διαφράγματος. Το ασφαλέστερο σημείο παρακέντησης είναι το ωοειδές τρήμα. Οι προτεινόμενες λήψεις στο TEE είναι στο μέσου του οισοφάγου κατά το βραχύ άξονα στο επίπεδο της αορτικής βαλβίδας στις 30-60° και η τομή των δύο κοίλων φλεβών (bicaval view) στις 90-120°.

## 2. Σύγκλιση μεσοκοιλιακής επικοινωνίας και ανοικτού ωοειδούς τρήματος

Η διαδερμική εμφύτευση συσκευής αποτελεί τη μέθοδο εκλογής για τη σύγκλιση ανατομικά κατάλληλης δευτερογενούς μεσοκοιλιακής επικοινωνίας και ανοικτού ωοειδούς τρήματος σε ασθενείς με κλινικές ενδείξεις. Η υπερηχοκαρδιογραφία έχει καθοριστικό ρόλο πριν κατά τη διάρκεια και μετά την εμφύτευση της συσκευής. Αρχικά θέτει τη διάγνωση του ελλείμματος και αξιολογεί την αιμοδυναμική του επίπτωση. Πριν τη διαδερμική σύγκλιση η διοισοφάγιος υπερηχοκαρδιογραφία (δισδιάστατη ή τρισδιάστατη) εκτιμά το μέγεθος του ελλείμματος, τη μορφολογία του διαφράγματος, το μήκος και την ποιότητα του ιστού εκατέρωθεν του ελλείμματος (rims) στον οποίο θα στηριχθεί η συσκευή καθορίζοντας με αυτόν τον τρόπο και την σωστή επιλογή της συσκευής που θα χρησιμοποιηθεί (ΕΙΚΟΝΑ 1). Επιπλέον επιβεβαιώνει την παρουσία άλλων ελλειμμάτων, αξιολογεί την πίεση στην πνευμονική αρτηρία και την ανεπάρκεια της τριγλώχινας βαλβίδας.

Κατά τη διάρκεια της επέμβασης η διοισοφάγιος ή ενδοκαρδιακή υπερηχοκαρδιογραφία χρησιμοποιείται για την καθοδήγηση του επεμβατικού καρ-

διόλογου σε συνδυασμό με την ακτινοσκόπηση με την δυνατότητα που προσφέρει στην σε πραγματικό χρόνο απεικόνιση των συρμάτων και των καθετήρων σε σχέση με τις παρακείμενες ανατομικές δομές.

Μετά την επέμβαση η υπερηχοκαρδιογραφία χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση του αποτελέσματος και την αναγνώριση υπολειπόμενων ροών καθώς και την πρώιμη διάγνωση των επιπλοκών όπως η περικαρδιακή συλλογή, η δημιουργία θρόμβων και η μετακίνηση της συσκευής.

## 3. Διαδερμική επιδιόρθωση μιτροειδούς βαλβίδας

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη διαδερμική επιδιόρθωση της μιτροειδούς βαλβίδας ανήκουν σε τέσσερις βασικές κατηγορίες

A. έμμεση βαλβιδοπλαστική-τεχνικές στεφανιαίου κόλπου

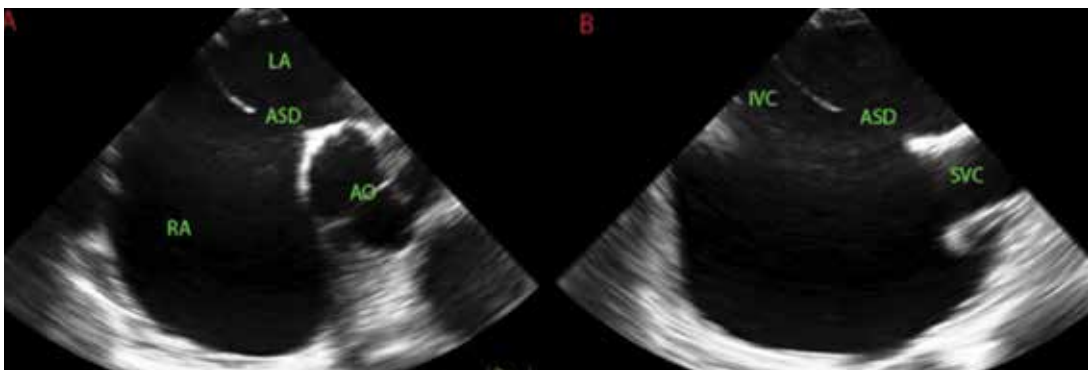
B. άμεση βαλβιδοπλαστική

Γ. Επιδιόρθωση γλωχίνων

Δ. Κοιλιακή αναδιαμόρφωση

Μέχρι σήμερα η πιο διαδεδομένη τεχνική είναι η επιδιόρθωση των γλωχίνων με το σύστημα MitralClip. Αυτή περιλαμβάνει την διαδερμική τοποθέτηση ενός «συνδετήρα» (clip) με μορφή V μεταξύ των γλωχίνων που μειώνει την ανεπάρκεια της βαλβίδας μιμούμενη την χειρουργική τεχνική Alfieri. Η μέθοδος έχει εγκριθεί στην Αμερική από τον FDA(Επιτροπή Φαρμάκων και Τροφίμων) με τα δεδομένα που έχουμε από τις μελέτες EVEREST I και II.

Προ της επέμβασης η υπερηχοκαρδιογραφία παίζει σημαντικό ρόλο στην επιλογή των ασθενών



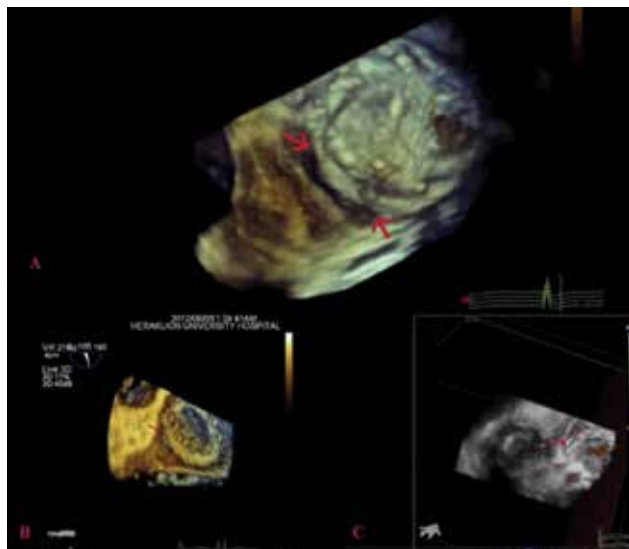
**Εικόνα 1.** Μεσοκοιλιακό έλλειμμα στο επίπεδο της αορτικής βαλβίδας(A) και στην τομή των δύο κοίλων φλεβών (bicaval view) (B). ASD=μεσοκοιλιακό έλλειμμα, LA=αριστερός κόλπος, RA=δεξιός κόλπος, AO=αορτική βαλβίδα, IVC=άνω κοίλη φλέβα, SVC=κάτω κοίλη φλέβα

αξιολογώντας το μηχανισμό της μιτροειδικής ανεπάρκειας, το σοβαρότητα και την καταλληλότητα για την εφαρμογή της μεθόδου. Σε εκφυλιστική ανεπάρκεια της βαλβίδας (πρόπτωση ή flail των A2/P2 τμημάτων) το έλλειμμα πρέπει να είναι <10χιλιοστά με το βάθος του ελλείμματος <15χιλ και χωρίς ασβέστωση στην περιοχή. Σε λειτουργική ανεπάρκεια της βαλβίδας το μήκος της σύμπτωσης των γλωχίνων πρέπει να είναι >2χιλ και το βάθος της σύμπτωσης <11χιλ. Για την καλύτερη συνενόηση των επεμβατικών καρδιολόγων με τις υπερηχοκαρδιογραφιστές χρησιμοποιείται γενικά η ταξινόμηση της ανεπάρκειας της μιτροειδούς βαλβίδας κατά Carpentier.

Κατά τη διάρκεια της επέμβασης ο ρόλος της υπερηχοκαρδιογραφίας είναι βασικός σε όλα τα στάδια. Αρχικά όπως αναφέρθηκε στην παρακέντηση του μεσοκοιλιακού διαφράγματος η οποία στην εκφυλιστική ανεπάρκεια πρέπει να γίνει 4-5εκαστά πνω από το επίπεδο του μιτροειδικού δακτυλίου ενώ στη λειτουργική ανεπάρκεια 3.5εκ. Η προώθηση του συστήματος μεταφοράς του clip και η τοποθέτησή του στο επίπεδο πάνω από τις γλωχίνες γίνεται υπό υπερηχοκαρδιογραφική καθοδήγηση στο βαρχύ άξονα της διαγαστικής τομής. Στη συνέχεια η προώθηση του συστήματος στην αριστερή κοιλία και η «αρπαγή» των γλωχίνων από το clip γίνεται φυσικά υπό υπερηχοκαρδιογραφική απεικόνιση και καθοδήγηση σε τομές απεικόνισης του χώρου εξόδου της αριστερής κοιλίας (100-160°) και των κομμισούρων (55-75°). Μετά την απελευθέρωση του clip ο υπέρηχος χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση του τελικού αποτελέσματος μετρώντας το βαθμό της ανεπάρκειας και της στένωσης της βαλβίδας. Η τρισδιάστατη υπερηχοκαρδιογραφία μπορεί να χρησιμοποιηθεί συμπληρωματικά της δισδιάστατης.

#### 4. Διαδερμική σύγκλιση παραβαλβιδικής ανεπάρκειας προσθετικών βαλβίδων

Η παραβαλβιδική ανεπάρκεια παρατηρείται στο 5-17% των χειρουργικά τοποθετημένων προσθετικών βαλβίδων. Οι περισσότεροι ασθενείς είναι ασυμπτωματικοί αλλά κάποιοι παρουσιάζουν καρδιακή ανεπάρκεια ή αιμολυτική αναιμία. Σε αυτούς τους ασθενείς υψηλού κινδύνου για επανεπέμβαση, η διαδερμική σύγκλιση της παραβαλβιδικής διαφυγής αποτελεί θεραπευτική επιλογή. Ο ρόλος της υπερηχοκαρδιογραφίας στην επέμβαση είναι να θέσει τη διάγνωση της παραβαλβιδικής διαφυγής καθο-



Εικόνα 2. Παραβαλβιδική διαφυγή μιτροειδούς βαλβίδας

ρίζοντας και τη σοβαρότητά της. Ο εντοπισμός του ελλείμματος και η περιγραφή του μεγέθους και του σχήματός του είναι καθοριστικά για την επέμβαση

Η τρισδιάστατη υπερηχοκαρδιογραφία προτιμάται στην απεικόνιση των προσθετικών βαλβίδων στη θέση της μιτροειδούς αλλά δεν είναι τόσο βοηθητική στις προσθετικές βαλβίδες στη θέση της αορτικής. Επίσης η υπερηχοκαρδιογραφία χρησιμοποιείται στην απεικόνιση των άλλων καρδιακών δομών και στην κατανόηση της ανατομίας προ της επέμβασης όπως και στον αποκλεισμό ύπαρξης εκβλαστήσεων και θρόμβων. Κατά τη διάρκεια της επέμβασης χρησιμοποιείται στην καθοδήγηση του επεμβατικού καρδιολόγου για την προώθηση του σύρματος δια του ελλείμματος και στην εκτίμηση της σωστής τοποθέτησης της συσκευής. Τέλος υπερηχοκαρδιογραφικά γίνεται η εκτίμηση του τελικού αποτελέσματος για τη μείωση ή εξαφάνιση της παραβαλβιδικής ανεπάρκειας της προσθετικής βαλβίδας μετά την επέμβαση.

**Ο ρόλος της υπερηχοκαρδιογραφίας στην επέμβαση είναι να θέσει τη διάγνωση της παραβαλβιδικής διαφυγής καθορίζοντας και τη σοβαρότητά της. Ο εντοπισμός του ελλείμματος και η περιγραφή του μεγέθους και του σχήματός του είναι καθοριστικά για την επέμβαση.**

## 5. Διαδερμική εμφύτευση αορτικής βαλβίδας (Transcatheter aortic valve implantation-TAVI)

Η TAVI αποτελεί θεραπευτική επιλογή για ασθενείς με σοβαρού βαθμού συμπτωματική στένωση της αορτικής βαλβίδας και οι οποίοι δεν μπορούν να υποβληθούν σε χειρουργική αντικατάσταση της βαλβίδας ή είναι υψηλού χειρουργικού κινδύνου.

**Προ της επέμβασης η διαθωρακική υπερηχοκαρδιογραφία αποτελεί την απεικονιστική μέθοδο εκλογής στην εκτίμηση της σοβαρότητας της στένωσης και στη διαφορική διάγνωση μεταξύ αληθούς και ψευδούς στένωσης της βαλβίδας. Επίσης η τρισδιάστατη υπερηχοκαρδιογραφία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση του αορτικού δακτυλίου.**

Προ της επέμβασης η διαθωρακική υπερηχοκαρδιογραφία αποτελεί την απεικονιστική μέθοδο εκλογής στην εκτίμηση της σοβαρότητας της στένωσης και στη διαφορική διάγνωση μεταξύ αληθούς και ψευδούς στένωσης της βαλβίδας. Επίσης η τρισδιάστατη υπερηχοκαρδιογραφία μπορεί να χρη-



Εικόνα 3. Σύγκλιση ωτίου αριστερού κόλπου

σιμοποιηθεί για τη μέτρηση του αορτικού δακτυλίου δίνοντας μετρήσεις εξίσου αξιόπιστες με την αξονική τομογραφία η οποία αποτελεί σήμερα τη μέθοδο εκλογής στην απεικόνιση του αορτικού δακτυλίου που θα καθορίσει και την επιλογή μεγέθους της βαλβίδας που θα χρησιμοποιηθεί. Επιπρόσθετα είναι σημαντική η υπερηχοκαρδιογραφική απεικόνιση της αορτικής ρίζας, της ανιούσης αορτής και των άλλων καρδιακών δομών που θα καθορίσουν θεραπευτικές επιλογές του επεμβατικού καρδιολόγου για τον τύπο της συσκευής που θα χρησιμοποιηθεί.

Κατά τη διάρκεια της επέμβασης η καθοδήγηση των επεμβατικών καρδιολόγων γίνεται κυρίως ακτινοσκοπικά με την τρισδιάστατη υπερηχοκαρδιογραφία να έχει επικουρικό ρόλο σε υψηλής δυσκολίας περιπτώσεις για τη διέλευση του σύρματος δια της βαλβίδας, τη προδιαστολή με μπαλόνι και την ακριβή τοποθέτηση της συσκευής.

Στο τέλος της επέμβασης γίνεται υπερηχοκαρδιογραφικά η εκτίμηση του αποτελέσματος με τον έλεγχο για τη σωστή τοποθέτηση της συσκευής χωρίς δια- ή παραβαλβιδική ανεπάρκεια. Τα κριτήρια για επιτυχημένη εμφύτευση της βαλβίδας είναι Επιφάνεια στομίου >1.2cm<sup>2</sup>, μέση κλίση πίεσης <20mmHg, μέγιστη ταχύτητα <3m/sec με απουσία μέτριας ή σοβαρής ανεπάρκειας.

Η παρακολούθηση των ασθενών αυτών περιλαμβάνει επαναλαμβανόμενα υπερηχοκαρδιογραφήματα στις 24 ώρες, στους 1, 6, 12 μήνες και στη συνέχεια σε ετήσια βάση.

## 6. Διαδερμική σύγκλιση ωτίου αριστερού κόλπου

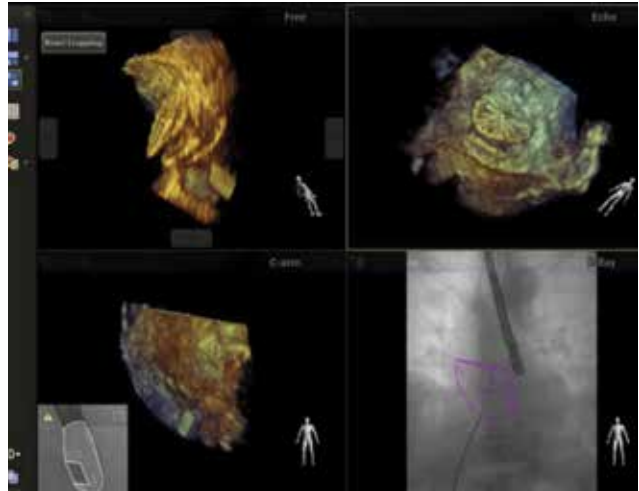
Η διαδερμική σύγκλιση του ωτίου του αριστερού κόλπου αποτελεί θεραπευτική επιλογή σε ασθενείς με κοιλιακή μαρμαρυγή με αντένδειξη για λήψη χρόνιας αντιπηκτικής αγωγής.

Η χρήση του διοισοφάγιου υπερηχοκαρδιογραφήματος αποτελεί τη μέθοδο εκλογής για την απεικόνιση του ωτίου και την επιλογή των ασθενών που θα υποβληθούν στην επέμβαση. Καταρχήν με το υπερηχοκαρδιογράφημα είναι απαραίτητο να αποκλειστεί η ύπαρξη θρόμβου εντός του ωτίου που αποτελεί απόλυτη αντένδειξη για την επέμβαση. Στη συνέχεια είναι σημαντικό να μετρηθεί το εύρος του στομίου του ωτίου και το μήκος του επικρατούντος λοβού καθορίζοντας την επιλογή του είδους και του μεγέθους της συσκευής αλλά και προγραμματίζοντας το ιδανικό σημείο τοποθέτησής της ώστε να υπάρξει πλήρη σύγκλιση του ωτίου χωρίς υπολειπόμενες ροές. Κατά την επέμβαση υπερηχοκαρδιογραφικά καθοδηγείται η παρακέντηση του μεσοκολ-

πικού διαφράγματος η προώθηση του σύρματος στον επικρατούντα λοβό και αξιολογείται η τοποθέτηση της συσκευής προ της απελευθέρωσής της. Τέλος πρέπει να υπάρχει έλεγχος για διαταραχές στη διαμπροειδική ροή και στη ροή των πνευμονικών φλεβών και πρώιμη αναγνώριση τυχόν επιπλοκών όπως ο επιπωματισμός και η δημιουργία θρόμβου (ΕΙΚΟΝΑ 3).

## Μελλοντικές Προοπτικές

Τα τελευταία χρόνια παρά τις σημαντικές εξελίξεις στον τομέα της απεικόνισης στο Αιμοδυναμικό Εργαστήριο κυρίως με τη χρήση της τρισδιάστατης υπερηχοκαρδιογραφίας παραμένουν κάποιοι περιορισμοί που κάνουν διστακτικούς κάποιους επεμβατικούς καρδιολόγους. Οι περιορισμοί αυτοί είναι η έλλειψη καθολικά καθορισμένων πρωτοκόλλων απεικόνισης και η μη ικανοποιητική απεικόνιση λόγω τεχνικών προβλημάτων. Επίσης αποτελεί μειονέκτημα στη συνεργασία του επεμβατικού καρδιολόγου με τον υπερηχοκαρδιογραφιστή η έλλειψη συσχέτισης στον προσανατολισμό μεταξύ των δύο. Σε κάποιες περιπτώσεις ό,τι φαίνεται αριστερά στον υπέρηχο είναι δεξιά στην ακτινοσκόπηση και αντίστροφα. Το πρόβλημα αυτό αναμένεται να λυθεί με την ανάπτυξη ειδικού λογισμικού που θα συγχωνεύ-



**Εικόνα 4.** Παράδειγμα λογισμικού σύζευξης τρισδιάστατου διοισοφάγειου υπερηχοκαρδιογραφήματος με ακτινοσκόπηση στο Αιμοδυναμικό Εργαστήριο

ει τις εικόνες και θα καθορίζει έναν κοινό προσανατολισμό για τις δύο τεχνικές απεικόνισης.

Όσο η τεχνολογία εξελίσσεται η σε πραγματικό χρόνο η σύζευξη της ακτινοσκόπησης με την υπερηχοκαρδιογραφία αναμένεται να βελτιώσει την καθοδήγηση των διαδερμικών επεμβάσεων (ΕΙΚΟΝΑ 4).