3° Πανελλήνιο Συνέδριο
Ιατρικής Φυσικής

27° Διαπανεπιστημιακό Συνέδριο
Ακτινολογίας

# Καρδιακή Αμυλοείδωση: Η Οπτική του Τεχνολόγου – Ακτινολόγου στην Πυρηνική Ιατρική και τη Μαγνητική Τομογραφία

Πρόκου Αναστασία[1], Λαμπράκος Λουκάς[2], Μάλιακας Βασίλειος[3], Τσιότσιος Χρήστος[4]

1. Τεχνολόγος Ακτινολογίας – Ακτινοθεραπείας MSc, BSc (Hons), Τμήμα Πυρηνικής Ιατρικής D-SPECT, Iatropolis Medical Group
2. Πυρηνικός Ιατρός, Iatropolis Medical Group
3. RT - BSc, BA, MA, MSc (MR Spectroscopy), PhD (c), Τεχνολόγος Ακτινολογίας - Ακτινοθεραπείας, Τμήμα Μαγνητικής Τομογραφίας Π.Γ.Ν. Ιωαννίνων
4. Τεχνολόγος Ακτινολογίας – Ακτινοθεραπείας MSc, Ειδικός Επιστήμονας, Τμήμα Επιστημών Υγείας (Ακτινολογία & Ακτινοθεραπεία), Ευρωπαϊκό Πανεπιστήμιο Κύπρου, Υπεύθυνος Τμήματος Μαγνητικής Τομογραφίας, Makrides MRI & Diagnostic Imaging

30, 31 ΟΚΤ + 1 ΝΟΕ
2 0 2 6

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
- ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ, ΛΑΡΙΣΑ

Οργάνωση

ΕΦΙΕ

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΟΛΛΕΓΙΟ ΑΚΤΙΝΟΛΟΓΙΑΣ

3ο Πανελλήνιο Συνέδριο
Ιατρικής Φυσικής
27ο Διαπανεπιστημιακό Συνέδριο
Ακτινολογίας
30, 31 ΟΚΤ + 1 ΝΟΕ
2 0 2 6
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ, ΛΑΡΙΣΑ

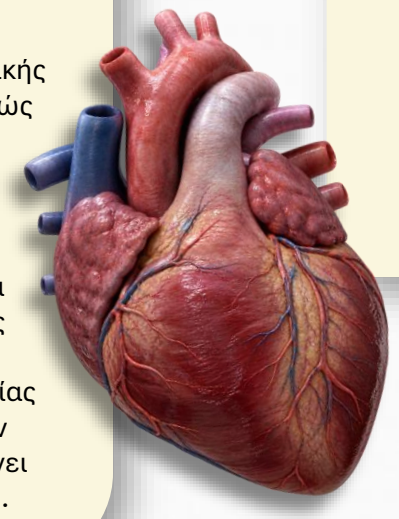
## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

**Η καρδιακή αμυλοείδωση (ΚΑ):**

- Αποτελεί μια μορφή **περιοριστικής διηθητικής μυοκαρδιοπάθειας**
- Προκαλείται από την εξωκυττάρια εναπόθεση πρωτεϊνών στο μυοκάρδιο
  Οι υπεύθυνες πρωτεΐνες προέρχονται κυρίως από:
  - Τις μονοκλωνικές ελαφρές αλυσίδες των ανοσοσφαιρινών (**AL**)
  - Την τρανσθυρετίνη (**ATTR**)

- Στην **Πυρηνική Ιατρική (ΠΙ)**, το ολόσωμο σπινθηρογράφημα οστών, ακολουθούμενο από θωρακικό/καρδιακό SPECT, μπορεί να συμβάλλει στη διάγνωση της ΚΑ. Η αυξημένη πρόσληψη του ραδιοφαρμάκου από το μυοκάρδιο σε ασθενείς με υποψία της νόσου, μπορεί να υποδηλώνει ΚΑ από τρανσθυρετίνη (ATTR). Το σπινθηρογράφημα οστών με ραδιοφάρμακα επισημασμένα με Tc-99m παρουσιάζει υψηλή ευαισθησία (99%) και ειδικότητα (86%) για τον τύπο ATTR (Εικόνα 1). Για τη διαφοροδιάγνωση των τύπων ΚΑ, είναι καθοριστικής σημασίας ο προσδιορισμός των ελαφρών αλυσίδων στον ορό, καθώς και η ανίχνευση μονοκλωνικών πρωτεϊνών στον ορό και στα ούρα, μέσω ανοσοκαθήλωσης (Εικόνα 2). Σε ορισμένες περιπτώσεις, απαιτείται επίσης βιοψία κοιλιακού υποδόριου λιπώδους ιστού.

- Η **Μαγνητική Τομογραφία Καρδιάς** (**CMR**) αξιοποιεί μη ιοντίζουσα ακτινοβολία για την αξιολόγηση της ανατομίας, της λειτουργίας, της αιμάτωσης, και της βιωσιμότητας του μυοκαρδίου, καθώς και τον υπολογισμό του εξωκυττάριου όγκου (ECV). Σε περιπτώσεις υποψίας καρδιακής αμυλοείδωσης, επιτρέπει τον ακριβή χαρακτηρισμό των ιστών, συμβάλλει στη διαστρωμάτωση του κινδύνου και διευκολύνει την παρακολούθηση των ασθενών με διαγνωσμένη νόσο (Εικόνα3).



## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική ανασκόπηση δημοσιευμένων μελετών, ανασκοπήσεων και κατευθυντήριων οδηγιών για την καρδιακή αμυλοείδωση, με έμφαση στις απεικονιστικές τεχνικές της Πυρηνικής Ιατρικής και της Μαγνητικής Τομογραφίας.

## ΣΚΟΠΟΣ

- Η ανάλυση με εκπαιδευτικό χαρακτήρα, των τεχνικών απεικόνισης της καρδιακής αμυλοείδωσης μέσω:
  - Της Μαγνητικής Τομογραφίας (MRI)
  - Της Πυρηνικής Ιατρικής (ΠΙ)
- Η ανάδειξη του ρόλου του τεχνολόγου – ακτινολόγου κατά την εφαρμογή των πρωτοκόλλων απεικόνισης

## ΣΥΓΚΡΟΥΣΗ ΣΥΜΦΕΡΟΝΤΩΝ

Δεν υπάρχει σύγκρουση συμφερόντων προς δήλωση

# ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΙΑΤΡΙΚΗ

**Ραδιοφάρμακα**

- Επιλεγμένο ραδιονουκλίδιο: $^{99m}$Tc
- Σήμανση: με πυροφωσφορικά ($^{99m}$Tc-PYP), είτε διφωσφονικά ($^{99m}$Tc-DPD, $^{99m}$Tc-HMDP)
- Χορηγούμενη ενεργότητα: 370 – 740 MBq (10–20 mCi) (εξατομίκευση ανάλογα με το σωματικό βάρος)

**Προετοιμασία ασθενούς**

- Πριν από την εξέταση, ενημέρωση σχετικά με:
  - Κανόνες ακτινοπροστασίας
  - Συνολική διάρκεια εξέτασης
  - Χρόνος αναμονής μεταξύ της χορήγησης του ραδιοφαρμάκου και της έναρξης της απεικόνισης
- Απαιτείται λεπτομερές ιατρικό ιστορικό & αξιολόγηση προηγούμενων εξετάσεων
- Δεν απαιτείται ειδική προετοιμασία του ασθενούς, ούτε διακοπή φαρμακευτικής αγωγής
- Μετά τη χορήγηση του ραδιοφαρμάκου, συνιστάται η επαρκής ενυδάτωση του ασθενούς

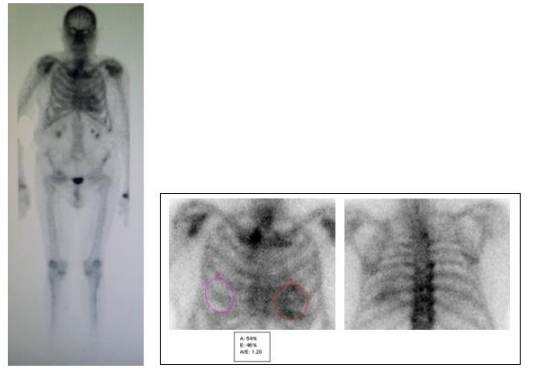
**Αντενδείξεις**

- Κύηση
- Θηλασμός (απαιτείται προσωρινή διακοπή, σύμφωνα με τις σχετικές οδηγίες ακτινοπροστασίας και το χρησιμοποιούμενο ραδιοφάρμακο)

**Τοποθέτηση και σάρωση**

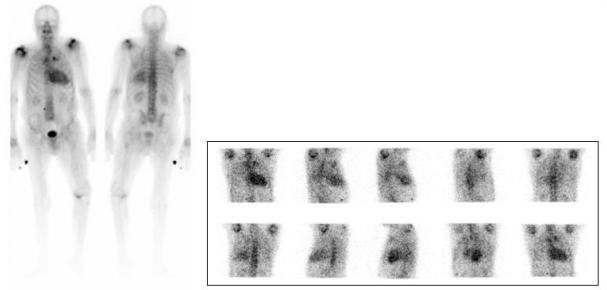
- Ο ασθενής καλείται να κενώσει την ουροδόχο κύστη πριν από την έναρξη της απεικόνισης
- Η διενέργεια ολόσωμου σπινθηρογραφήματος και, στη συνέχεια, θωρακικού/καρδιακού SPECT είναι απαραίτητη
- Προαιρετικά, μπορούν να ληφθούν πρόσθετες πρόσθιες και οπίσθιες στατικές εικόνες της θωρακικής χώρας, ιδιαίτερα όταν είναι δύσκολη η διάκριση μεταξύ των βαθμολογιών 1 και 2 της κλίμακας Perugini
- Ολόσωμο σπινθηρογράφημα: Ο ασθενής τοποθετείται σε ύπτια θέση, με την κεφαλή προς την γ-camera (head-first) και τα άνω άκρα κατά μήκος του σώματος
- SPECT ή στατική απεικόνιση: Τα άνω άκρα τοποθετούνται πάνω από την κεφαλή του εξεταζόμενου
- Χρόνος λήψης: Οι ολόσωμες εικόνες λαμβάνονται 3 ώρες μετά τη χορήγηση διφωσφονικών (DPD, HMDP), ενώ για το πυροφωσφορικό (PYP) πραγματοποιούνται λήψεις στη 1 ώρα μετά τη χορήγηση, και ενδεχομένως και στις 3 ώρες μετά τη χορήγηση, αν χρειαστεί.

**Εικόνα 1. Ολόσωμο σπινθηρογράφημα οστών και συμπληρωματικές στατικές λήψεις**



Ασθενής 75 ετών, υποβλήθηκε σε ολόσωμο σπινθηρογράφημα οστών μετά τη χορήγηση 20mCi $^{99m}$Tc HMDP, με σκοπό την επανασταδιοποίηση Ca προστάτη μετά από ριζική προστατεκτομή και λεμφαδενικό καθαρισμό. Η εξέταση ανέδειξε **αυξημένη πρόσληψη του ραδιοφαρμάκου στο μυοκάρδιο** [(A): περιοχή ενδιαφέροντος (ROI) μυοκαρδίου 54% > (E): ROI ετερόπλευρης περιοχής αναφοράς 48%]. Η αυξημένη μυοκαρδιακή πρόσληψη είναι ενδεικτική καρδιακής αμυλοείδωσης. Για την επιβεβαίωση της διάγνωσης απαιτείται συμπληρωματική τομογραφική απεικόνιση του θώρακα ή, ειδικότερα, του μυοκαρδίου. **Η SPECT επιτρέπει τη διάκριση μεταξύ της πρόσληψης του ραδιοφαρμάκου από το μυοκάρδιο και της παραμονής του στην αιματική δεξαμενή (blood pool).** Ο έλεγχος για συσσώρευση πρωτεϊνών ελαφρών αλυσίδων (AL), η ηλεκτροφόρηση πρωτεϊνών ορού και η ανοσοκαθήλωση λευκωματίνης ορού ήταν αρνητικά. Τα παραπάνω ευρήματα είναι ενδεικτικά καρδιακής αμυλοείδωσης από τρανσθυρετίνη (ATTR).

**Εικόνα 2. Πρωτόκολλο απεικόνισης Πυρηνικής Ιατρικής σε ασθενή με υποψία καρδιακής αμυλοείδωσης**



Ασθενής >80 ετών υποβλήθηκε σε εξειδικευμένο πρωτόκολλο απεικόνισης Πυρηνικής Ιατρικής για τη διερεύνηση καρδιακής αμυλοείδωσης. Μετά την ενδοφλέβια χορήγηση 20 mCi $^{99m}$Tc-PYP, πραγματοποιήθηκαν ολόσωμο σπινθηρογράφημα και θωρακικό SPECT, 3 ώρες μετά τη χορήγηση. Μετά την ανακατασκευή των εικόνων, αναδείχθηκε **σημαντική πρόσληψη του ραδιοφαρμάκου στο μυοκάρδιο**, τόσο στο τοίχωμα της αριστερής, όσο και της δεξιάς κοιλίας. Αυξημένη πρόσληψη παρατηρήθηκε επίσης στις **αρθρώσεις των ώμων άμφω**, καθώς και στη σπονδυλική στήλη. Ο έλεγχος για συσσώρευση πρωτεϊνών ελαφρών αλυσίδων (AL), η ηλεκτροφόρηση πρωτεϊνών ορού και η ανοσοκαθήλωση ορού ήταν αρνητικά. Τα ευρήματα είναι ιδιαίτερα ενδεικτικά αμυλοείδωσης από τρανσθυρετίνη (ATTR), με βαθμολογία 3 κατά την κλίμακα Perugini. Η αυξημένη πρόσληψη στις αρθρώσεις των ώμων μπορεί να σχετίζεται με το στάδιο της νόσου, ενώ **η πρόσληψη στο μυοκάρδιο της δεξιάς κοιλίας αποτελεί δυσμενή προγνωστικό δείκτη**.

# ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

**Προετοιμασία ασθενούς**

- Νηστεία 2–4 ωρών
- Φαρμακευτική αγωγή δεν διακόπτεται και ενθαρρύνεται η ενυδάτωση
- Πριν από την εξέταση, απαιτούνται λεπτομερές ιατρικό ιστορικό, αξιολόγηση προηγούμενων εξετάσεων, τεκμηρίωση της συμβατότητας τυχόν εμφυτευμένων συσκευών και πρόσφατη μέτρηση του eGFR.

**Αντενδείξεις**

- Κύηση
- Εμφυτευμένες συσκευές μη συμβατές με το περιβάλλον μαγνητικού συντονισμού
- Σοβαρή νεφρική δυσλειτουργία

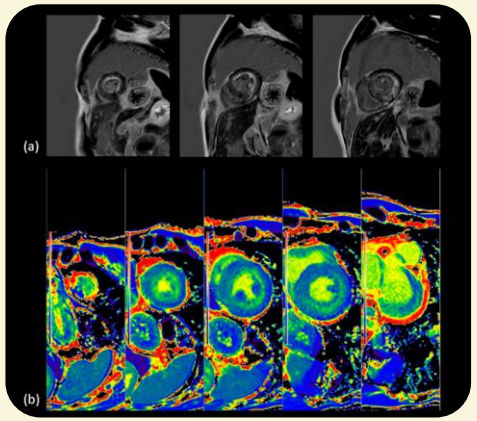
**Τοποθέτηση ασθενούς**

- Αφαιρούνται όλα τα μεταλλικά αντικείμενα και χρησιμοποιείται ιματισμός μιας χρήσης
- Πριν από την έναρξη της εξέτασης, εξασφαλίζεται ενδοφλέβια πρόσβαση και τοποθετούνται ηλεκτρόδια σε συγκεκριμένα ανατομικά σημεία
- Τυπική τοποθέτηση: ύπτια θέση, με την κεφαλή προς το ικρίωμα του μαγνητικού τομογράφου (head-first)
- Θέση άνω άκρων: κατά μήκος του σώματος
- Υποστήριξη ασθενούς: τοποθετούνται μαξιλάρια, ώστε να αποφεύγεται η επαφή του σώματος με την επιφάνεια του μαγνητικού τομογράφου

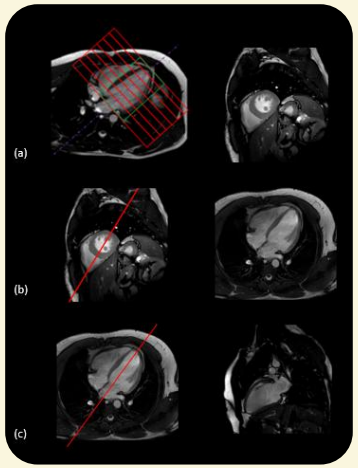
**Παράμετροι απεικόνισης — Ένταση μαγνητικού πεδίου και τεχνικές απαιτήσεις**

- Η CMR απαιτεί ένταση μαγνητικού πεδίου **>1,0T**
- Τα συστήματα **3,0T** μπορούν να προσφέρουν **υψηλότερο** λόγο σήματος προς θόρυβο (**SNR**), εικόνες υψηλότερης χωρικής ανάλυσης ή μειωμένο χρόνο λήψης. Ωστόσο, ενδέχεται να προκαλέσουν **εντονότερες διαταραχές στον ηλεκτροκαρδιογραφικό (ECG) συγχρονισμό** σε σύγκριση με τα συστήματα 1,5T, καθιστώντας τον λιγότερο αξιόπιστο.
- Τα συστήματα **1,5T** προτείνονται για ασθενείς με μεταλλικά εμφυτεύματα, καθώς συμβάλλουν στον **περιορισμό** των **σφαλμάτων επιδεκτικότητας**.
- Συνιστάται η χρήση ειδικών **καρδιακών πηνίων επιφανείας**, με πολλαπλά στοιχεία περιέλιξης/κανάλια (συνήθως περισσότερα από 8), ώστε να επιτυγχάνεται υψηλότερος SNR ή/και να μειώνεται ο χρόνος σάρωσης και ο χρόνος εκούσιας άπνοιας, καθώς και να είναι δυνατή η εφαρμογή τεχνικών παράλληλης απεικόνισης.
- Απαιτείται κατάλληλος εξοπλισμός και λογισμικό για ηλεκτροκαρδιογραφικό (ECG) ή διανυσματικό καρδιογραφικό (VCG) συγχρονισμό, καθώς και για αναπνευστικό συγχρονισμό. **Ο περιφερικός συγχρονισμός πρέπει να αποφεύγεται.**
- Ο διανυσματικός καρδιογραφικός συγχρονισμός (VCG) είναι ακριβέστερος και έχει σχεδιαστεί ώστε να αντιμετωπίζει τους περιορισμούς του ECG που προκαλούνται από το μαγνητικό πεδίο και τους παλμούς ραδιοσυχνοτήτων.

**Εικόνα 3. Ευρήματα της CMR με ισχυρή ένδειξη καρδιακής αμυλοείδωσης**




Ασθενής 65 ετών υποβλήθηκε σε μαγνητική τομογραφία καρδιάς για τη διερεύνηση πιθανής υπερτροφίας του μυοκαρδίου. Στην ακολουθία όψιμης ενίσχυσης με γαδολίνιο (LGE), παρατηρείται **διάχυτη υποενδοκαρδιακή ενίσχυση** σε όλα τα τμήματα της αριστερής κοιλίας, εύρημα χαρακτηριστικό της αμυλοείδωσης (α). Η διάγνωση υποστηρίζεται περαιτέρω από την **αυξημένη τιμή του χρόνου T1**, η οποία ανέρχεται σε 1.600ms, έναντι της αναμενόμενης τιμής των 1.250ms για την ηλικία του ασθενούς. Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε κατά τη λήψη της ακολουθίας Native T1 mapping (β).




**Εικόνα 4. Σχεδιασμός των βασικών απεικονιστικών τομών**

**(α) Προβολή βραχέος άξονα (SAX — Short Axis):** Στην προβολή δύο ή τεσσάρων κοιλοτήτων (2CH ή 4CH), το επίπεδο τοποθετείται κάθετα προς το επίπεδο που διέρχεται από την κορυφή της αριστερής κοιλίας και τη μιτροειδή βαλβίδα. Επιπλέον, συνιστάται η λήψη cine βραχέος άξονα, οι οποίες καλύπτουν ολόκληρη την αριστερή κοιλία.

**(β) Προβολή τεσσάρων κοιλοτήτων (4CH — Four Chamber):** Το επίπεδο τοποθετείται κάθετα προς την προβολή βραχέος άξονα, διέρχεται από το κέντρο της αριστερής κοιλίας (κάτω από τον προσθιοπλάγιο θηλοειδή μυ) και από το κατώτερο σημείο της δεξιάς κοιλίας, στο σημείο της μέγιστης πλάγιας διάστασής της.

**(γ) Προβολή δύο κοιλοτήτων (2CH — Two Chamber):** Το επίπεδο τοποθετείται κάθετα προς τις προβολές τεσσάρων κοιλοτήτων και βραχέος άξονα, παράλληλα προς το μεσοκοιλιακό διάφραγμα, έτσι ώστε να απεικονίζονται το πρόσθιο και το κατώτερο τοίχωμα της αριστερής κοιλίας.

# Ακολουθίες Απεικόνισης CMR

1. **Ακολουθίες εντοπισμού (Localizers)**
   Χρησιμοποιούνται ακολουθίες Single-Shot Fast Spin Echo, με ελεύθερη αναπνοή, σε εγκάρσιο, στεφανιαίο και οβελιαίο επίπεδο.
2. **Εγκάρσια ακολουθία T2 (T2-weighted)**
   Η ακολουθία καλύπτει ολόκληρο τον θωρακικό κλωβό, προσφέροντας λεπτομερέστερη απεικόνιση εξωκαρδιακών ανατομικών στοιχείων και παθολογικών ευρημάτων.
3. **Ακολουθίες ισορροπημένης σταθερής κατάστασης ελεύθερης μετάπτωσης (Balanced Steady-State Free Precession — b-SSFP)**
   Πρόκειται για υπερταχείες τροποποιημένες ακολουθίες βαθμιδωτής ηχούς (gradient echo), με υψηλό SNR και έντονη αντίθεση μεταξύ της δεξαμενής του αίματος και του μυοκαρδιακού ιστού, χωρίς να απαιτείται χορήγηση σκιαγραφικού μέσου.
   Αποτελούν τη βασική ακολουθία για την CINE και τη μέθοδο εκλογής για την αξιολόγηση της κινητικότητας των τοιχωμάτων και την ογκομέτρηση των καρδιακών κοιλοτήτων.
   Η λήψη πραγματοποιείται τόσο στον βραχύ άξονα (SAX) όσο και στον επιμήκη άξονα (LAX), από τη βάση έως την κορυφή της αριστερής κοιλίας (LV), χωρίς κενά μεταξύ των τομών.
   Πάχος τομής: 6–8 mm.
   Κενό μεταξύ τομών: Κατά προτίμηση μηδενικό, με δυνατότητα αύξησης έως 2–4 mm.
   Χρονική ανάλυση: ≤45 ms μεταξύ των φάσεων, για τη βέλτιστη αξιολόγηση της κινητικότητας των τοιχωμάτων.
4. **Χαρτογράφηση T1 στον βραχύ άξονα (T1 mapping in SAX)**
   Πρέπει να λαμβάνεται τουλάχιστον ένας χάρτης T1 στον βραχύ άξονα, σε μία τομή στο μέσο της κοιλίας. Ο αριθμός και ο προσανατολισμός των πρόσθετων τομών καθορίζονται ανάλογα με την κλινική ένδειξη.
   Στην καρδιακή αμυλοείδωση, όπου οι μετρήσεις του εξωκυττάριου όγκου (ECV) έχουν ιδιαίτερη σημασία, η χαρτογράφηση T1 πρέπει να πραγματοποιείται πριν από τη χορήγηση του σκιαγραφικού μέσου και να λαμβάνεται τουλάχιστον ένας επιπλέον χάρτης 10–30 λεπτά μετά την ενδοφλέβια χορήγησή του.
   Για την ακριβέστερη μέτρηση του ECV απαιτούνται το ύψος, το σωματικό βάρος και ο αιματοκρίτης του ασθενούς, με τον αιματοκρίτη να έχει μετρηθεί εντός 24 ωρών από την απεικόνιση.
   Οι τιμές του εγγενούς T1 διαφέρουν ανάλογα με την ένταση του μαγνητικού πεδίου. Σε συστήματα 3,0T, οι χρόνοι εγγενούς T1 είναι μεγαλύτεροι.
5. **Ακολουθίες καταστολής σήματος του αίματος (Black-blood sequences)**
   Πρόκειται για ταχείες ακολουθίες που χρησιμοποιούνται για τον περιορισμό των σφαλμάτων λόγω αναπνευστικών κινήσεων και κίνησης του ασθενούς.
   Παράγουν εικόνες με στάθμιση T1 και T2.
   Οι ακολουθίες T1 παρέχουν ανώτερη ανατομική λεπτομέρεια, ενώ οι ακολουθίες T2 επιτρέπουν καλύτερο χαρακτηρισμό των ιστών.
   Είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για την αξιολόγηση της ίνωσης, της νέκρωσης και της ισχαιμικής βλάβης.
6. **Απεικόνιση αιμάτωσης (Perfusion)**
   Πρόκειται για δυναμική λήψη που απεικονίζει τη χρονικά μεταβαλλόμενη κατανομή του εξωκυττάριου σκιαγραφικού μέσου κατά την πρώτη διέλευσή του από το μυοκάρδιο.
   Χρησιμοποιείται ακολουθία T1 gradient echo και υψηλή χρονική ανάλυση, σε λοξό επίπεδο δύο κοιλοτήτων και βραχέος άξονα (2C-SAX), στα τρία βασικά επίπεδα της αριστερής κοιλίας: βάση, μέση μοίρα και κορυφή.
   Για να διασφαλιστεί η καταγραφή της διέλευσης του σκιαγραφικού από ολόκληρη την αριστερή κοιλία, πρέπει να λαμβάνεται επαρκής αριθμός εικόνων, που να καλύπτει τουλάχιστον 50–60 καρδιακούς παλμούς. Σε ασθενείς με χαμηλή καρδιακή παροχή/καρδιακή ανεπάρκεια απαιτείται μεγαλύτερη διάρκεια λήψης.
   Λαμβάνονται τουλάχιστον 3–5 εικόνες ανά καρδιακό κύκλο.
   Η εκούσια άπνοια πρέπει να ξεκινά πριν από την άφιξη του σκιαγραφικού στην αριστερή κοιλία.
   Οι εικόνες προτιμάται να λαμβάνονται σε άπνοια μετά από εκπνοή. Εφόσον είναι διαθέσιμη η δυνατότητα διόρθωσης κίνησης, η λήψη των δεδομένων μπορεί να πραγματοποιείται με ελεύθερη αναπνοή.
   Χορηγούμενη δόση σκιαγραφικού: 0,1–0,2 mmol/kg.
   Ρυθμός έγχυσης: 3–5 mL/s.
   Πάχος τομής: 8–10 mm.
   Χωρική ανάλυση εντός του πεδίου (in-plane resolution): <3mm
   Χρονική ανάλυση ανάγνωσης (readout resolution): <100-125ms
   Χρήση παράλληλης απεικόνισης, αν είναι εφικτό.
7. **Όψιμη ενίσχυση με γαδολίνιο (LGE)**
   Σκοπός της ακολουθίας είναι η αναγνώριση παθολογικού μυοκαρδιακού ιστού, ο οποίος χαρακτηρίζεται από βραδύτερη έκπλυση του σκιαγραφικού μέσου. Για τον προσδιορισμό του χρόνου αναστροφής (TI), κατά τον οποίο μηδενίζεται το σήμα του υγιούς μυοκαρδίου, χρησιμοποιείται ακολουθία ανάκτησης μετά από αναστροφή (Inversion Recovery — IR). Στη συνέχεια, η τιμή του χρόνου αναστροφής εισάγεται χειροκίνητα στο πεδίο χρόνου προετοιμασίας (preparation time) της δισδιάστατης ακολουθίας καθυστερημένης ενίσχυσης του μυοκαρδίου, με συγχρονισμό βάσει του διαστήματος R–R (2D Myocardial Delayed Enhancement — 2D MDE RR). Η ακολουθία 2D MDE RR είναι ακολουθία βαθμιδωτής ηχούς (gradient echo), η οποία λαμβάνεται σε επίπεδο βραχέος άξονα (SAX), 20 λεπτά μετά τη χορήγηση του σκιαγραφικού μέσου. Η λήψη των εικόνων πραγματοποιείται συνήθως κατά τη φάση διαστολικής ακινησίας της καρδιάς.

## TIPS ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

- Για την εξασφάλιση επαρκούς και ομοιογενούς έντασης σήματος, βεβαιωθείτε ότι ο ασθενής είναι τοποθετημένος στο ισόκεντρο του μαγνήτη.
- Βεβαιωθείτε ότι λαμβάνεται σήμα από όλα τα κανάλια του πηνίου λήψης.
- Πραγματοποιήστε τη λήψη των τομών κατά τη διαστολή, ώστε να περιοριστούν τα σφάλματα κίνησης.
- Ο συγχρονισμός της λήψης με το ηλεκτροκαρδιογράφημα (ΗΚΓ) συμβάλλει στην απόκτηση εικόνων υψηλότερης ποιότητας.
- Η σωστή τοποθέτηση των ηλεκτροδίων είναι καθοριστική για την επίτευξη υψηλού εύρους του κύματος R και χαμηλού εύρους του κύματος T.
- Για τη μείωση του αριθμού των περιόδων κράτησης της αναπνοής, εφαρμόστε τεχνικές επιτάχυνσης της απεικόνισης.
- Ιδανικά, πραγματοποιήστε τη λήψη μίας τομής ανά εκούσια άπνοια και ανά καρδιακό κύκλο (διάστημα R–R).
- Κατά την επιλογή της βέλτιστης τιμής του χρόνου αναστροφής (TI), ελέγξτε συγκριτικά την ένταση του σήματος από τους σκελετικούς μύες. Η σωστή επιλογή του TI επιτρέπει αποτελεσματικότερο μηδενισμό του σήματος του υγιούς μυοκαρδίου, βελτιώνοντας τη διαφοροποίηση των ιστών.
- Η μείωση της τιμής της παραμέτρου trigger window οδηγεί σε βελτίωση της ποιότητας των λαμβανόμενων εικόνων.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Τόσο η Πυρηνική Ιατρική όσο και η Μαγνητική Τομογραφία διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη **διάγνωση**, την **αξιολόγηση** και την **παρακολούθηση** μιας τόσο σύνθετης νόσου, όπως η καρδιακή αμυλοείδωση.
- Οι τεχνολόγοι ακτινολόγοι διαδραματίζουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο, καθώς η εξασφάλιση υψηλής ποιότητας απεικόνισης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την **κατάλληλη προετοιμασία** και **τοποθέτηση** του ασθενούς, τον **σωστό σχεδιασμό** των τομών, καθώς και από την ικανότητά τους να αναγνωρίζουν τα απεικονιστικά ευρήματα και να κατανοούν τις παραμέτρους που συμβάλλουν στη **βελτιστοποίηση** κάθε απεικονιστικού πρωτοκόλλου.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Mesquita, C.T. and Rezende, M.F. (2022) *Nuclear cardiology: Basic and advanced concepts in clinical practice*. Cham: Springer.
Herzog, E. (2025) *Cardiac amyloidosis*. Cham: Springer.
Herzog, B.A., Greenwood, J.P. and Plein, S. (eds.) (2017) *Home*, *Escardio*. Available at: https://www.escardio.org/Sub-specialty-communities/European-Association-of-Cardiovascular-Imaging-(EACVI)/Research-and-Publications/CMR-Pocket-Guides (Accessed: 07 February 2026).
Dorbala, S. *et al.* (2024) *ASNC Cardiac Amyloidosis Practice Points update*, *ASNC*. Available at: https://www.asnc.org/resource/asnc-cardiac-amyloidosis-practice-points-update/ (Accessed: 07 February 2026).
Kramer, C.M. *et al.* (2020) 'Standardized Cardiovascular Magnetic Resonance Imaging (CMR) protocols: 2020 update', *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*, 22(1), p. 17. doi:10.1186/s12968-020-00607-1.
Palma, M. (2024) "Cardiac Magnetic Resonance protocol and patient preparation", *Journal of Advanced Health Care*. Available at: https://www.jahc.it/index.php/jahc/article/view/265 (Accessed: 7 February 2026).
Embry-Dierson, M. *et al.* (2023) *Cardiac amyloidosis imaging, part 1: Amyloidosis etiology and image acquisition*, *Journal of nuclear medicine technology*. Available at: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37268319/ (Accessed: 07 February 2026).