



ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

«ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΕ ΑΣΘΕΝΕΙΣ

ΜΕ ΚΑΡΔΙΑΓΓΕΙΑΚΕΣ ΕΜΦΥΤΕΥΣΙΜΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ»

«Safety issues in Magnetic Resonance Imaging in patients with cardiovascular implantable devices»

ΚΑΤΣΑΚΙΩΡΗΣ ΦΩΤΙΟΣ

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των

απαιτήσεων για την απόκτηση του

Διπλώματος Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Φυσικές Αρχές Βιοϊατρικής Απεικόνισης και Ακτινοπροστασία»

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Σειμένης Ιωάννης, Καθηγητής ΤΙ ΕΚΠΑ

Τσούγκος Ιωάννης, Καθηγητής ΤΙ ΠΘ

Γεωργούλιας Παναγιώτης, Καθηγητής ΤΙ ΠΘ

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	4
Περίληψη (Ελληνική – Αγγλική).....	5
Abstract.....	6
Εισαγωγή	7
Σκοπός	8
Μεθοδολογία	8
Ιστορική αναδρομή	9
Βηματοδότης	9
Απινιδωτής -Αμφικοιλιακός Απινιδωτής	10
Μαγνητικός τομογράφος.....	11
Κατηγορίες εμφυτεύσιμων καρδιολογικών συσκευών	14
Συσκευές μη συμβατές	14
Πρωτόκολλο διενέργειας Μαγνητικής τομογραφίας	19
Συσκευές συμβατές υπό όρους.....	20
Η επίδραση της Μαγνητικής τομογραφίας σε συσκευές συμβατές υπό όρους.....	20
Φαινόμενο ροπής	21
Θέρμανση	22
Κίνηση συσκευής ή ηλεκτροδίου.....	23
Δυσλειτουργία συσκευής.....	24
Εγκαταλελειμμένες απαγωγές.....	24
Κατευθυντήριες οδηγίες εταιρειών	25
Μελέτες.....	30
Han et al.....	30
Nyotowidjojo et al.....	31
Celentano et al.....	32

Cavallo et al.....	32
Russo et al.....	33
Μαγνητική τομογραφία καρδιάς σε ασθενείς με εμφυτεύσιμες συσκευές.....	34
Καρδιακές βαλβίδες-Stents	39
Εμφυτεύσιμο Holter ρυθμού.....	45
Συμπεράσματα.....	46
Βιβλιογραφία.....	48

«Κρείττον οψιμαθή είναι ή αμαθή.»

(Καλύτερα να έχεις μάθει πρόσφατα παρά να μην έχεις μάθει καθόλου.)

«Σωκράτης»

Αφιερωμένο στη γυναίκα μου και τα παιδιά μου με την ευχή να αναζητούν τη γνώση σε όλη τους τη ζωή!

Ευχαριστώ τον Δ/ντή του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Φυσικές Αρχές Βιοϊατρικής Απεικόνισης κα Ακτινοπροστασία»

ΤΣΟΥΓΚΟ ΙΩΑΝΝΗ – ΧΡΥΣΟΒΑΛΑΝΤΗ, Καθηγητή Ιατρικής Φυσικής του Τμήματος Ιατρικής, Σχολής Επιστημών Υγείας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την ευκαιρία που μου έδωσε να παρακολουθήσω το συγκεκριμένο μεταπτυχιακό πρόγραμμα

Ευχαριστώ τον Υπεύθυνο Καθηγητή της παρούσας εργασίας Κο ΣΕΪΜΕΝΗ ΙΩΑΝΝΗ, Καθηγητή Ιατρικής Φυσικής του Τμήματος Ιατρικής του ΕΚΠΑ για την καθοδήγησή του και τη συνεχή επικοινωνία που είχαμε στην εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας!

Τέλος πολλές ευχαριστίες για τη στήριξη κα τη βοήθειά του στο **Συντονιστή Δ/ντή** της Καρδιολογικής του Γ.Ν.Τρικάλων Dr ΠΛΑΤΟΓΙΑΝΝΗ ΔΗΜΗΤΡΙΟ καθώς και στον ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ ΙΩΑΝΝΗ Επεμβατικό Καρδιολόγο- Εντατικολόγο, MD, PhD Δ/ντή ΕΣΥ Καρδιολογικής Κλινικής Γ.Ν.Τρικάλων για την αμέριστη υποστήριξη και βοήθειά του

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιείται βιβλιογραφική ανασκόπηση από άρθρα μελέτες και βιβλιογραφικές αναφορές σχετικά με την ασφάλεια διενέργειας μαγνητικής τομογραφίας σε ασθενείς με εμφυτεύσιμες συσκευές.

Πρώτα απ' όλα γίνεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή σε λέξεις κλειδιά (βηματοδότες απινιδωτές ,μαγνητική τομογραφία). Επιπλέον, παρουσιάζονται λεπτομερώς η αξία και οι δυνατότητες της μαγνητικής τομογραφίας καρδιάς σε ασθενείς με εμφυτεύσιμες συσκευές. Ακόμη γίνεται αναφορά στα εμφυτεύσιμα holter και τα stents καθώς και στις καρδιακές βαλβίδες σε σχέση πάντα με τη δυνατότητα διενέργειας μαγνητικής τομογραφίας.

Επιπλέον γίνεται ο διαχωρισμός των συσκευών όπως αυτός καθορίζεται από τη δυνατότητα να πραγματοποιηθεί μαγνητική τομογραφία ως ασφαλής, ασφαλής υπό όρους και μη συμβατές συσκευές με μαγνητική τομογραφία.

Γίνεται αναφορά αρχικά στις μη συμβατές με μαγνητικό τομογράφο συσκευές και αναλύονται οι λόγοι για τους οποίους η μαγνητική τομογραφία καθίσταται απαγορευτική και τη συγκεκριμένη κατηγορία συσκευών. Παρουσιάζονται οι κίνδυνοι και τα πιθανά οξέα συμβάματα, λόγοι που αποτρέπουν τη διενέργεια μαγνητικής τομογραφίας. Στη συνέχεια περνάμε στις υπό όρους συσκευές για τη διενέργεια μαγνητικής τομογραφίας.

Γίνεται εκτενής αναφορά στις πέντε κυριότερες επιπλοκές όπως το **Φαινόμενο ροπής**, η **Θέρμανση**, η **Κίνηση συσκευής** ή **ηλεκτροδίου**, η **Δυσλειτουργία συσκευής** καθώς και ζητήματα ασφαλείας από **Εγκαταλελειμμένες απαγωγές**

Αφού γίνει μια παρουσίαση σχετικά με την ασφάλεια του μαγνητικού τομογράφου, με την εφαρμογή συγκεκριμένων πρωτοκόλλων παρατίθενται οι μελέτες σχετικά με την ασφάλεια διενέργειας μαγνητικής τομογραφίας σε ασθενείς με εμφυτεύσιμες συσκευές. Παρουσιάζονται όλες οι ανεπιθύμητες δυσλειτουργίες που μπορεί να προκύψουν στις αναφερόμενες συσκευές όταν εισέλθουν σε ισχυρό μαγνητικό πεδίο.

Τέλος στα συμπεράσματα διατυπώνονται προτάσεις-προοπτικές καθώς γίνεται και μια προσπάθεια από όλη την επιστημονική κοινότητα καθώς και από τις

κατασκευάστριες εταιρείες ώστε όλες και για όλους οι εμφυτεύσιμες συσκευές να είναι ασφαλείς χωρίς περιορισμούς. Τονίζεται ότι σημαντικό κομμάτι του όλου εγχειρήματος αυτής της αναμενόμενης εξέλιξης θα παίζει η τεχνητή νοημοσύνη

ABSTRACT

In the present thesis, a literature review is conducted on articles, studies, and bibliographic references regarding the safety of performing magnetic resonance imaging (magnetic resonance imaging) on patients with implantable devices.

Firstly, a brief historical overview is given in keywords (pacemakers, defibrillators, magnetic resonance imaging). Furthermore, the value and capabilities of cardiac magnetic resonance imaging in patients with implantable devices are extensively presented. Additionally, references are made to implantable holters, stents, and heart valves always concerning the feasibility of performing magnetic resonance imaging.

Furthermore, a classification of devices is made based on their compatibility with magnetic resonance imaging, categorizing them as safe, conditionally safe, and non-compatible with magnetic resonance imaging.

Initially, attention is drawn to devices incompatible with magnetic resonance imaging, and the reasons why magnetic resonance imaging becomes prohibitive for this specific category of devices are analyzed. The risks and possible acute complications preventing the performance of magnetic resonance imaging are presented. Then, the discussion moves on to conditionally safe devices for magnetic resonance imaging.

A comprehensive discussion is provided on the five main complications, such as the torque phenomenon, heating, device or electrode movement, device malfunction, as well as the effects of abandoned leads.

After presenting an overview of magnetic resonance imaging safety, along with the application of specific protocols, studies regarding the safety of magnetic resonance imaging in patients with implantable devices are cited. All potential malfunctions that may occur in the mentioned devices when exposed to a strong magnetic field are presented.

Finally, suggestions and prospects are formulated in the conclusions, alongside an effort from the entire scientific community and manufacturing companies to ensure the safety of all implantable devices without restrictions. It is emphasized that artificial intelligence will play a significant role in this expected development.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι εμφυτεύσιμες καρδιακές συσκευές σχεδιάστηκαν και λειτουργούν είτε διαγνωστικά(πχ εμφυτεύσιμα holter ILR)είτε θεραπευτικά(πχ βηματοδότες, απινιδωτές, αμφικοιλιακοί απινιδωτές, stent, διαδερμικά εμφυτεύσιμες βαλβίδες).

Θα πρέπει εδώ να επισημάνουμε ότι στην εξέλιξη της ιατρικής βιοτεχνολογίας έχουν προστεθεί και πολλές ακόμα συσκευές και εξαρτήματα τα οποία όλα έχουν στόχο την βελτίωση της ποιότητας της ζωής του ανθρώπου, όπως πχ ορθοπεδικά εξαρτήματα, νευροδιεγέρτες, συσκευές ρύθμισης σακχάρου. Στη συγκεκριμένη εργασία θα επικεντρωθούμε στις εμφυτεύσιμες ηλεκτρονικές καρδιακές συσκευές (παλαιότερης αλλά και νεώτερης τεχνολογίας) και κυρίως σε ζητήματα ασφαλείας που ανακύπτουν όταν ασθενείς που τις φέρουν υποβάλλονται σε μαγνητική τομογραφία (MRI).

Ειδικότερα θα απαντήσουμε στο ερώτημα: **Πόσο ασφαλείς καθίστανται αυτές, όταν ο ασθενής που τις φέρει θα πρέπει να υποβληθεί σε μαγνητική τομογραφία.**

Ακόμα θα εστιάσουμε στη μαγνητική τομογραφία καρδιάς καθώς η συγκεκριμένη εξέταση αποτελεί μια αξιόπιστη εξέταση στη διάγνωση πολλών καρδιολογικών προβλημάτων ασθενών, αρκετοί εκ των οποίων μπορεί να φέρουν εμφυτεύσιμες συσκευές,

Η μαγνητική τομογραφία έχει πολλά πλεονεκτήματα έναντι άλλων διαγνωστικών εξετάσεων: Η συγκεκριμένη εξέταση είναι μη επεμβατική τεχνική απεικόνισης που δεν περιλαμβάνει έκθεση σε ιοντίζουσα ακτινοβολία· παρέχει μια, μη επεμβατική εναλλακτική της ακτινογραφίας, της αγγειογραφίας και της υπολογιστικής τομογραφία για τη διάγνωση καρδιακών προβλημάτων καθώς και προβλήματα των αιμοφόρων αγγείων. Επιπλέον, το φάρμακο που χρησιμοποιείται στις εξετάσεις μαγνητικής τομογραφίας είναι λιγότερο πιθανό να προκαλέσει αλλεργική αντίδραση από τα φάρμακα με βάση το ιώδιο.

Λόγω των διευρυνόμενων κλινικών ενδείξεων και της γήρανσης της κοινωνίας, έχει αυξηθεί η χρήση εμφυτεύσιμων συσκευών. Ταυτόχρονα, λόγω της αυξημένης διαγνωστικής απόδοσης έναντι άλλων μεθόδων απεικόνισης και της απουσίας ιοντίζουσας ακτινοβολίας, υπήρξε αύξηση της ζήτησης για αξιολόγηση της μαγνητικής τομογραφίας, τόσο για καρδιακές όσο και για μη καρδιακές παθήσεις. Οι ασθενείς με εμφυτεύσιμη συσκευή έχουν 50-75% πιθανότητα να έχουν κλινική ένδειξη για μαγνητική τομογραφία κατά τη διάρκεια ζωής της συσκευής τους. Η παρουσία μιας εμφυτεύσιμης καρδιακής συσκευής έχει θεωρηθεί (αρχικά) ως σχετική αντένδειξη για την διενέργεια της μαγνητικής τομογραφίας, περιορίζοντας την προγνωστική και διαγνωστική χρησιμότητα της εν λόγω εξέτασης σε πολλούς ασθενείς με αυτές τις συσκευές. Η εισαγωγή ασθενούς με εμφυτεύσιμη συσκευή σε μαγνητικό τομογράφο «υπό όρους» θα επιτρέψει σε περισσότερους ασθενείς να υποβληθούν σε αξιολόγηση μέσω της μαγνητικής τομογραφίας χωρίς κίνδυνο νοσηρότητας ή δυσλειτουργίας της συσκευής. Η παραπάνω γενική παραδοχή θα μας οδηγήσει στην εκτίμηση των διαφορών στην εξέλιξη των εμφυτεύσιμων συσκευών. Επιπλέον, εκτιμούμε τις διαφορές μεταξύ αυτών των βηματοδοτών(υπό όρους) που κυκλοφορούν επί του παρόντος σε σχέση με τις συσκευές παλιότερης τεχνολογίας(4)

Οι αμερικανικές και οι ευρωπαϊκές κατευθυντήριες γραμμές υποστηρίζουν ότι η διενέργεια MRI μπορεί να πραγματοποιηθεί σε μια σειρά καταστάσεων, από τη διερεύνηση του πόνου στο στήθος και των νευρολογικών παραπόνων έως την παρακολούθηση συγγενών καρδιακών παραμορφώσεων και καρκίνου. καθώς και σε ασθενείς που μπορεί να χρειαστούν καρδιακή συσκευή.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να παρουσιαστούν αφενός οι κατηγορίες των εμφυτεύσιμων συσκευών ανάλογα με την δυνατότητά τους να εισέλθουν σε μαγνητικό τομογράφο και αφετέρου να παρουσιαστούν οι κίνδυνοι που υπάρχουν όταν αυτοί οι ασθενείς που φέρουν εμφυτεύσιμες καρδιακές συσκευές υποβάλλονται σε μαγνητική τομογραφία, και να δοθεί έμφαση στα υπάρχοντα πρωτόκολλα ασφαλείας για τη διενέργεια της εξέτασης με τη μέγιστη δυνατή ασφάλεια.

Μεθοδολογία

Θα επιχειρηθεί ανασκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας σχετικά με την ασφάλεια διενέργειας μαγνητικής τομογραφίας σε ασθενείς με εμφυτεύσιμες καρδιακές

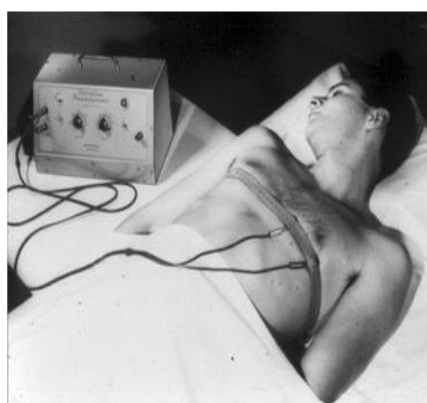
συσκευές, και θα αναλυθούν δυνητικά προβλήματα που μπορεί να ενσκήψουν στην καθημερινή κλινική πραγματικότητα. Θα παρατεθούν μελέτες σχετικά με το θέμα που πραγματεύεται η συγκεκριμένη εργασία και θα συζητηθούν οι κατευθυντήριες οδηγίες που αφορούν τον τρόπο με τον οποίο είναι δυνατή η είσοδος των ασθενών αυτών σε μαγνητικό τομογράφο

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

ΒΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣ(PM)

Η εμφύτευση βηματοδότη αποτελεί ένα από τα σπουδαιότερα κεφάλαια της καρδιολογίας αλλά και της ηλεκτροφυσιολογίας ειδικότερα. Υπολογίζεται ότι κάθε χρόνο, ένα εκατομμύριο ασθενείς (το 80% των οποίων ξεπερνάει το 65ο έτος της ηλικίας του) υποβάλλονται παγκοσμίως σε επέμβαση εμφύτευσης βηματοδότη ή απινιδωτή (1)

Οι πρώτοι βηματοδότες εμφυτεύθηκαν σε ασθενείς με σημαντική βραδυκαρδία στα τέλη της δεκαετίας του 1960 και η μπαταρία τους είχε διάρκεια ζωής λίγων ωρών. Οι σύγχρονες συσκευές – με πολύ μικρότερο μέγεθος – διαρκούν περίπου 10-12 έτη πριν γίνει αναγκαία η αντικατάσταση της γεννήτριας.



Mentronic. com

Ο βηματοδότης είναι μία συσκευή η οποία δημιουργήθηκε με σκοπό την αντιμετώπιση συμπτωματικών επεισοδίων σοβαρής βραδυκαρδίας – οι οποίες δεν

οφείλονται σε αντιστρεπτά αίτια. Τα συνηθέστερα αίτια είναι το σύνδρομο του νοσούντος φλεβοκόμβου (διαταραχή στην παραγωγή του ηλεκτρικού ερεθίσματος) και οι υψηλού βαθμού Κολποκοιλιακοί αποκλεισμοί (συνήθως 2^{ου} και 3^{ου} βαθμού, όπου το πρόβλημα αφορά στην αγωγή του ηλεκτρικού ερεθίσματος).

Τα βασικά τμήματα ενός βηματοδότη είναι :

α) η ηλεκτρική γεννήτρια που αποτελεί την πηγή ενέργειας και

β) τα ηλεκτρόδια που ξεκινούν από τη γεννήτρια και καταλήγουν στο ενδοκάρδιο όπου και καθιλώνονται, με σκοπό τόσο την αίσθηση (ανίχνευση) της ενδογενούς καρδιακής δραστηριότητας όσο και την εκπόλωση-βηματοδότηση του μυοκαρδίου, όταν αυτό είναι απαραίτητο

ΑΠΙΝΙΔΩΤΗΣ(ICD)-ΑΜΦΙΚΟΙΛΙΑΚΟΣ ΑΠΙΝΙΔΩΤΗΣ(CRT-D)

Ο εμφυτεύσιμος-καρδιομετατροπέας απινιδωτής (Implantable Cardioverter Defibrillator- ICD) είναι μία συσκευή η οποία έχει τη δυνατότητα να τερματίζει απειλητικές κοιλιακές ταχυαρρυθμίες.

Ο απινιδωτής αποτελείται από δύο βασικά τμήματα, όπως και ο βηματοδότης:

A. την ηλεκτρική γεννήτρια και

B. τα καλώδια

Ο πρώτος απινιδωτής εμφυτεύθηκε στις ΗΠΑ, στις αρχές της δεκαετίας του 1980 από το Δρ. Μαικλ Μιρόφσκι- ο οποίος ξεκίνησε να δουλεύει την ιδέα δημιουργίας μιας τέτοιας συσκευής, μετά το θάνατο ενός πολύ καλού φίλου (και δασκάλου του) από υποτροπιάζουσες κοιλιακές ταχυαρρυθμίες. Στις ημέρες μας, ένδειξη για τοποθέτηση

απινιδωτή έχουν ασθενείς που υπάγονται σε 2 βασικές κατηγορίες νοσημάτων: α) άρρωστοι που κατά το παρελθόν είχαν επεισόδιο εξωνοσοκομειακής καρδιακής ανακοπής ή απειλητικής για τη ζωή κοιλιακής ταχυκαρδίας (*δευτερογενής πρόληψη*) και β) άρρωστοι που, παρόλο που δεν έχουν υποστεί κάποιο ανάλογο επεισόδιο, εμφανίζουν κάποια σοβαρή καρδιαγγειακή νόσο, στο έδαφος της οποίας μπορεί να εμφανισθούν επεισόδια επικίνδυνης ταχυαρρυθμίας (*πρωτογενής πρόληψη*) (2) . Με τον όρο σοβαρή καρδιαγγειακή νόσος αναφερόμαστε είτε σε κάποια δομική πάθηση του μυοκαρδίου (π.χ. παλαιό έμφραγμα, καρδιακή ανεπάρκεια κ.α.) είτε σε κάποια ομάδα γενετικά καθοριζόμενων διαταραχών του καρδιακού ρυθμού.

Ο αμφικοιλιακός απινιδωτής είναι μια παρόμοια ηλεκτρονική συσκευή με τον απινιδωτή αλλά επιπλέον βελτιώνει και τα συμπτώματα της καρδιακής ανεπάρκειας.



(Εικόνα από το προσωπικό αρχείο)

ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΟΣ

1972 –Damadian : Παθολογικοί ιστοί εμφανίζουν μεγαλύτερους χρόνους χαλάρωσης από τους υγιείς ιστούς .

- 1974 –Lauterbur : 1η δημοσίευση θωρακικής κοιλότητας ενός ποντικιού
- 1974–Ernst/Kumar/Welti : εργασία που περιγράφει την εφαρμογή μετασχηματισμών Fourier για ανακατασκευή των εικόνων

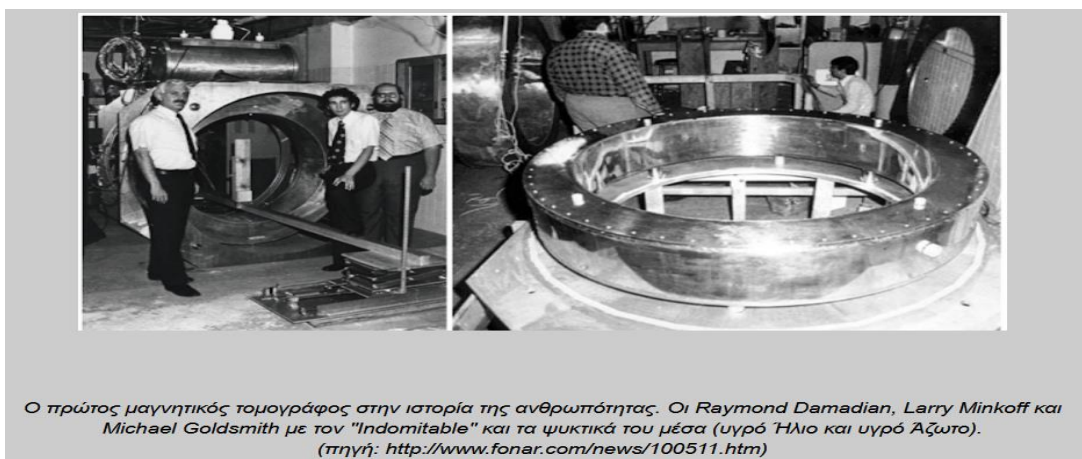
- 3/7/1977 Damadian/Minkoff/Goldsmith :Ολοκλήρωσαν την κατασκευή του πρώτου μαγνητικού τομογράφου (Indomitable) και μετά την πρώτη μέτρηση 6 ωρών και ανακατασκευή της εικόνας 22ωρών , παρήγαγαν την πρώτη ιατρική εικόνα του ανθρώπινου σώματος(3)

Από τότε μέχρι σήμερα αυτή η ομολογουμένως μεγάλη ανακάλυψη της μαγνητικής τομογραφίας, αναμφισβήτητα αποτελεί ένα από τα σπουδαιότερα ιατροτεχνολογικά επιτεύγματα της εποχής μας. Η εξέλιξη και των άλλων θετικών επιστημών, ιδιαιτέρως της πληροφορικής και της φυσικής συντέλεσαν ώστε η απεικόνιση με μαγνητικό συντονισμό να προσφέρει τα μέγιστα σε μια σειρά ασθενειών ώστε η διαγνωσή τους να είναι πιο ακριβής. Η παραγωγή ανατομικών εικόνων, όπως για παράδειγμα τις *in vivo* εφαρμογές της μαγνητικής φασματοσκοπίας (MRS – Magnetic Resonance Spectroscopy), την λειτουργική μαγνητική τομογραφία (f-MRI - functional MRI), τις ακολουθίες διάχυσης (Diffusion Weighted Imaging) και μια σειρά άλλων χρηστικών εφαρμογών μετανάλυσης και μετεπεξεργασίας των λαμβανομένων δεδομένων καθιστούν τη μαγνητική τομογραφία βασικό διαγνωστικό εργαλείο της σύγχρονης ιατρικής .

Παρατηρώντας την εξέλιξη των συστημάτων της μαγνητικής τομογραφίας, από τη δεκαετία του 1980 έως και σήμερα, εύκολα θα διακρίνει κανείς ότι παράλληλα με τη βελτίωση των πηνίων παραγωγής και λήψης των ραδιοσυχνοτήτων, των θεωριών περί Κ χώρου και των τρόπων πλήρωσής του, εκείνο που εξελίσσεται είναι η ένταση του στατικού μαγνητικού πεδίου. Έτσι γίνεται αντιληπτή η ανάγκη για ένα ισχυρότερο στατικό μαγνητικό πεδίο που θα μπορεί να μας δίνει συνεχώς όλο και μεγαλύτερες δυνατότητες για ανάπτυξη νέων εφαρμογών. Κομβικό σημείο στην πορεία αυτή υπήρξε η ανάπτυξη μαγνητικών τομογράφων στατικού πεδίου 1.5 T, μια ένταση αρκετά ισχυρή για την ανάπτυξη μιας πλειάδας εφαρμογών, που σε χαμηλότερα μαγνητικά πεδία ήταν απαγορευτική, αλλά ταυτόχρονα όχι και τόσο ισχυρή ώστε να δημιουργεί έντονα προβλήματα ανομοιογένειας. Οι μαγνητικοί τομογράφοι εντάσεως 1.5T καθιερώθηκαν όλα αυτά τα χρόνια, ως οι επικρατέστεροι τομογράφοι για την απεικόνιση με μαγνητικό συντονισμό, αποτελώντας μια αξιόπιστη λύση.

Συνέχεια αυτής της εξέλιξης είναι η χρήση μαγνητικών τομογράφων υψηλού πεδίου, δηλαδή 3.0 και πλέον Tesla, αρχικά για ερευνητικούς σκοπούς και στη συνέχεια στην καθημερινή κλινική εφαρμογή. Σήμερα που μιλάμε οι μαγνητικοί

τομογράφοι στατικού πεδίου 3.0 T παίρνουν σειρά ώστε σε λίγα χρόνια να αποτελούν την πλειονότητα, ενώ οι ακόμη ισχυρότερου πεδίου, 7.0 και 11.0 T, χρησιμοποιούνται για ερευνητικούς σκοπούς και σε εξαιρετικά περιορισμένο εύρος. Αναμφίβολα οι δυνατότητες για εξειδικευμένες εφαρμογές, στα συστήματα υψηλού μαγνητικού πεδίου, είναι περισσότερες. Αλλά και τα προβλήματα που προκύπτουν δεν είναι αμελητέα. Η επιλογή ενός συστήματος υψηλού πεδίου θα πρέπει πάντοτε να συνοδεύεται και από μιας συνολικής και εμπειριστατωμένης προσέγγισης του "τι θέλω να κάνω", και "ποιες είναι οι απαιτήσεις μου". Το υψηλό πεδίο δεν είναι πανάκεια για κάθε περίπτωση. Έχει πολλά και ισχυρά πλεονεκτήματα, έχει όμως και μειονεκτήματα τα οποία μπορούν να δρουν ανασταλτικά.(28)



(πηγή: <http://www.fonar.com/news/100511.htm>)



ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

Θα μπορούσαμε να συνοψίσουμε όλη μας την διερεύνηση του θέματος στην παρακάτω εικόνα. Βλέπουμε λοιπόν ότι υπάρχουν 3 κατηγορίες συσκευών όσων αφορά την δυνατότητα που έχουν όσοι τις φέρουν, να υποβληθούν σε μαγνητική τομογραφία. Στην πρώτη εικόνα βλέπουμε το σήμα με το οποίο οι συσκευές που το φέρουν (κατά κύριο λόγο βηματοδότες και απινιδωτές) είναι μη συμβατές συσκευές με την μαγνητική τομογραφία. Στη δεύτερη εικόνα βλέπουμε τη σήμανση για υπό όρους διενέργεια μαγνητικής τομογραφίας βάσει συγκεκριμένων πρωτοκόλλων που η κάθε εταιρεία έχει εγκρίνει.. Στην τρίτη εικόνα βλέπουμε τις συσκευές ή τα υλικά που επιτρέπουν την χωρίς όρους διενέργεια μαγνητικής τομογραφίας όπως οι καρδιακές βαλβίδες τα stents ή τα εμφυτεύσιμα holter.



<https://en.wikipedia.org>

ΜΗ ΣΥΜΒΑΤΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ(NON MRI)

Οι καρδιακοί βηματοδότες όπως και οι απινιδωτές αποτελούσαν παλιότερα αντένδειξη για την διενέργεια της μαγνητικής τομογραφίας. Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου και των εμφυτεύσιμων συσκευών επηρεάζονται από τον τύπο του μηχανήματος μαγνητικής τομογραφίας, τη δομή που απεικονίζεται, τη διάρκεια της εξέτασης και τη διαμόρφωση των εξαρτημάτων του σώματος. Υπάρχουν ηλεκτρομαγνητικά πεδία που δημιουργούνται μέσα στη μονάδα του μαγνητικού τομογράφου. Το στατικό μαγνητικό πεδίο, η ενέργεια ραδιοσυχνότητας και τα μαγνητικά πεδία βαθμίδωσης που δημιουργούνται από τη

μονάδα μαγνητικού τομογράφου έχουν τη δυνατότητα να αλληλεπιδρούν με μη συμβατές συσκευές και να διαταράσσουν την κανονική λειτουργία του βηματοδότη. Οι κύριοι κίνδυνοι περιλαμβάνουν ακούσια αλλαγή στον τρόπο βηματοδότησης ,λόγω της έλξης των σιδηρομαγνητικών υλικών με συνέπεια την απώλεια της λειτουργικότητάς τους, λόγω της επαγόμενης τάσης που παράγεται από το πεδίο ραδιοσυχνότητας και βαθμίδας που μιμούνται την εγγενή δραστηριότητα. Τέλος, η θέρμανση της μύτης του ηλεκτροδίου έχει τη δυνατότητα να προκαλέσει βλάβη στους ιστούς

Οι βηματοδότες και μερικές συσκευές απινιδωτών εμπεριέχουν ένα διακόπτη ο οποίος είναι ανοιχτός αλλά στην περίπτωση που ένας μαγνήτης ή ένα μαγνητικό πεδίο όπως πχ ενός μαγνητικού τομογράφου έρθει σε επαφή με την συσκευή ο μαγνήτης θα κλείσει τον διακόπτη και η συσκευή θα τεθεί σε λειτουργία μαγνήτη. Η λειτουργία μαγνήτη προκαλεί ασύγχρονη βηματοδότηση στη συσκευή(πχ VOO,DOO,AOO) και απενεργοποίηση της αντιταχυκαρδιακής και αντι-απινιδωτικής θεραπείας στις περισσότερες συσκευές χωρίς όμως να επηρεάζονται οι λειτουργίες της αντι-βραδυκαρδιακής βηματοδότησης (την αίσθηση που την επηρεάζει).

Αρκετές φορές όμως συμβαίνει η μαγνητική λειτουργία να μην μπορεί να κλείσει το διακόπτη ιδιαίτερα όταν το μαγνητικό πεδίο είναι χαμηλό ή όταν είναι off η λειτουργία μαγνήτη.

Να πούμε στο σημείο αυτό ότι στις νεώτερες σειρές βηματοδοτών και απινιδωτών χρησιμοποιούνται άλλες τεχνολογίες όπως το φαινόμενο Hall ή ο αισθητήρας GMR.Οι μη συμβατικοί βηματοδότες και οι απινιδωτές θα πρέπει να θεωρούνται- και αυτό συμβαίνει- ως αντένδειξη για την εξέταση της μαγνητικής τομογραφίας.

Εκφράζονται πολλές ανησυχίες για την επίδραση του μαγνητικού πεδίου στις συσκευές αυτές όσον αφορά στον κίνδυνο μετατόπισης της συσκευής αυτής καθεαυτής αλλά και των ηλεκτροδίων.

Ενεργοποίηση και μετατόπιση βηματοδότη

Το ισχυρό στατικό μαγνητικό πεδίο ενός σαρωτή μαγνητικής τομογραφίας ευθυγραμμίζει τυχαία διατεταγμένα πρωτόνια για να δημιουργήσει καθαρό διαμήκη μαγνητισμό των πρωτονίων στο σώμα. Οι περισσότερες εξετάσεις μαγνητικής τομογραφίας εκτελούνται με χρήση σαρωτή 1,5 T. (5). Όσο πιο ισχυρός είναι ο

μαγνήτης, τόσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς του πεδίου που προκαλείται. Το στατικό μαγνητικό πεδίο μπορεί να έχει βιολογικές και μηχανικές επιδράσεις. Μπορεί να επηρεάσει τον μαγνητικά ενεργοποιημένο διακόπτη σε προγραμματιζόμενους βηματοδότες, προκαλώντας την επαναφορά τους στην ασύγχρονη βηματοδότηση.

(6).Επιπλέον, το ισχυρό μαγνητικό πεδίο του σαρωτή μπορεί να επαναπρογραμματίσει ή να επαναφέρει τη συσκευή. Οι επιπλοκές μπορούν να ελαχιστοποιηθούν με τον προγραμματισμό της συσκευής σε ασύγχρονη βηματοδότηση και την απενεργοποίηση θεραπειών στην περίπτωση του απινιδωτή. Μια άλλη ανησυχία σχετικά με το στατικό μαγνητικό πεδίο έχει να κάνει με τις δυνατότητές του, να ασκήσει μαγνητική δύναμη και επιδράσεις ροπής στα σιδηρομαγνητικά στοιχεία του συστήματος βηματοδότη που έχει ως αποτέλεσμα την κίνηση του παλμού της γεννήτριας. Μελέτες έχουν δείξει τη δυνατότητα για τους βηματοδότες να κινούνται όταν τοποθετούνται εντός του στατικού μαγνητικού πεδίου μιας μονάδας μαγνητικού τομογράφου.(10) Στην πραγματικότητα, η μαγνητική δύναμη επιδρά στη θέση των απαγωγών μεταξύ τους και στο πηνίο RF. Η θερμική καρδιακή βλάβη προκύπτει από το αγωγή ηλεκτρόδιο βηματοδότησης που λειτουργεί ως κεραία, και είναι ικανό να λαμβάνει και να μεταφέρει την ενέργεια ραδιοσυχνοτήτων που παράγονται στη μονάδα του μαγνητικού τομογράφου. Ένα μέρος αυτής της ενέργειας διαχέεται ως θερμότητα στην επιφάνεια της μύτης του ηλεκτροδίου και έχει τη δυνατότητα να προκαλέσει θερμική βλάβη στον καρδιακό ιστό, η οποία μπορεί να επηρεάσει τη θεραπεία βηματοδότησης.

Οι ανταγωνιστικοί ρυθμοί έχουν τη δυνατότητα να προκαλέσουν κοιλιακή ταχυκαρδία ή κοιλιακή μαρμαρυγή(VT/VF), οι οποίες μπορεί να είναι θανατηφόρες.

Θα πρέπει ακόμη να αναφερθεί, ότι έχουν επισημανθεί φαινόμενα μετάβασης στις αρχικές ρυθμίσεις της συσκευής ,αναστολή της βηματοδότησης, καθώς και υπερθέρμανση του καρδιακού μυός από την εκπομπή ραδιοσυχνοτήτων.

Οι συσκευές παλιότερης τεχνολογίας κυρίως της προηγούμενης δεκαετίας ενέχουν κινδύνους για ένα άτομο σε περιβάλλον μαγνητικού τομογράφου. Μέσα στη γεννήτρια παλμών υπάρχουν σύνδεσμοι, κυκλώματα και μια μπαταρία που μπορεί να είναι σιδηρομαγνητική. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα αλληλεπιδράσεις με το μαγνητικό πεδίο ή τον παλμό RF στο περιβάλλον μαγνητικού συντονισμού. Οι αλληλεπιδράσεις

μαγνητικού πεδίου περιλαμβάνουν το φαινόμενο της ροπής, που προκαλεί ηλεκτρικά ρεύματα και ενεργοποίηση διακόπτη αισθητήρα reed/Hall.

Τα RF φαινόμενα παλμού μπορεί επίσης να προκαλέσουν επαγόμενα ηλεκτρικά ρεύματα και το εφέ της κεραίας. Όλα τα αναφερόμενα εγκαύματα που προκαλούνται από μαγνητική τομογραφία προέρχονται από την ηλεκτρομαγνητική επαγωγή ή το φαινόμενο της κεραίας.(7)

Όλες αυτές οι επιπλοκές που αναφέρθηκαν (θα αναφερθούμε εκτενώς παρακάτω) σαφώς δεν περικλείονται από πολύ μεγάλο αριθμό ασθενών στις υπάρχουσες μελέτες αλλά δεν παύουν να καθιστούν απαγορευτική ή στην καλύτερη εκδοχή πολύ αυξημένου κινδύνου και ο γιατρός θα πρέπει να σταθμίσει τους κινδύνους σε σχέση με το διαγνωστικό πόρισμα την διένεργεια

Είναι επιθυμητό οι εμφυτεύσιμες συσκευές να είναι απολύτως συμβατές με όλες τις ιατρικές διαγνωστικές-απεικονιστικές μεθόδους . Θα έρθει μια στιγμή που όλες οι συσκευές θα είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε να είναι κατάλληλες για χρήση σε περιβάλλον μαγνητικής τομογραφίας.

Οι προσπάθειες επικεντρώνονται στη δημιουργία ενός πρωτοκόλλου για τη διένεργεια μαγνητικής τομογραφίας αλλά δεν υιοθετείται ευρέως από την επιστημονική κοινότητα.

Να τονίσουμε εδώ ότι η κατεύθυνση ιδιαίτερα από τις εταιρείες κατασκευής εμφυτεύσιμων συσκευών είναι η καθιέρωση συνολικά των συμβατών (υπό όρους) συσκευών.

Συνοψίζοντας τα δεδομένα για την παραπάνω κατηγορία βηματοδοτών καταλαβαίνουμε ότι αποτελεί αντένδειξη η διένεργεια μαγνητικής τομογραφίας στους ασθενείς αυτούς, στους δε ασθενείς που είναι βηματοεξαρτώμενοι αποθαρρύνεται εντελώς και πρέπει να συζητείτε μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις στις οποίες υπερτερεί το όφελος από τους δυνητικούς κινδύνους. Θα μπορούσε στον υποψήφιο λήπτη μιας τέτοιας συσκευής να προηγηθεί ένα πάρα πολύ καλό ιστορικό και αν έκρινε ο θεράπων ιατρός να έκανε μια μαγνητική τομογραφία πριν την τοποθέτηση.

Μια πολυκεντρική μελέτη (MagnaSafe Registry) έχει δείξει ότι σε 1000 περιπτώσεις στις οποίες οι ασθενείς είχαν βηματοδότη μη συμβατό και 500 περιπτώσεις στις οποίες οι ασθενείς είχε μια συμβατή(υπό όρους) με μαγνητικό τομογράφο συσκευή, μόνο ένας απινιδωτής απαιτούσε διενέργεια αντικατάστασης και η εν λόγω συσκευή δεν ήταν προ- γραμματισμένη κατάλληλα πριν από την μαγνητική τομογραφία. Οι παράμετροι της συσκευής και οι αλλαγές ήταν συχνές. Σε έξι περιπτώσεις είχαμε τερματισμό της κολπικής μαρμαρυγής/πτερυγισμού και σε έξι περιπτώσεις παρατηρήθηκε ηλεκτρική επαναφορά. Δεν υπήρξαν περιπτώσεις στις οποίες είχαμε πλήρη ηλεκτρική επαναφορά της συσκευής

Η μαγνητική τομογραφία σε συσκευές μη συμβατές δεν θα πρέπει να θεωρείται ως ρουτίνα. Απαιτούνται ειδικές προφυλάξεις και επιλογή ασθενών συμπεριλαμβανομένης της απαίτησης παρουσίας καρδιολόγου με γνώσεις στις εμφυτεύσιμες συσκευές καθώς και απαραίτητα παρουσία τεχνικού της συσκευασμένης εταιρείας. Ο κίνδυνος της μετατόπισης του ηλεκτροδίου στη σάρωση εξακολουθεί να είναι πιθανώς υψηλότερος από την αντίστοιχη σάρωση σε συμβατή(υπό όρους) συσκευή .Η ανάγκη να ακολουθηθεί το πρωτόκολλο διενέργειας μαγνητικής τομογραφίας είναι περισσότερο αναγκαίο από ποτέ. Τα κοινά χαρακτηριστικά όλων των πρωτοκόλλων περιλαμβάνουν την απενεργοποίηση βραδυκαρδίας και ταχυκαρδίας. Μόλις ο ασθενής έχει αφαιρεθεί από το σαρωτή, η συσκευή θα πρέπει να επιστρέφει στις ρυθμίσεις προ-σάρωσης.

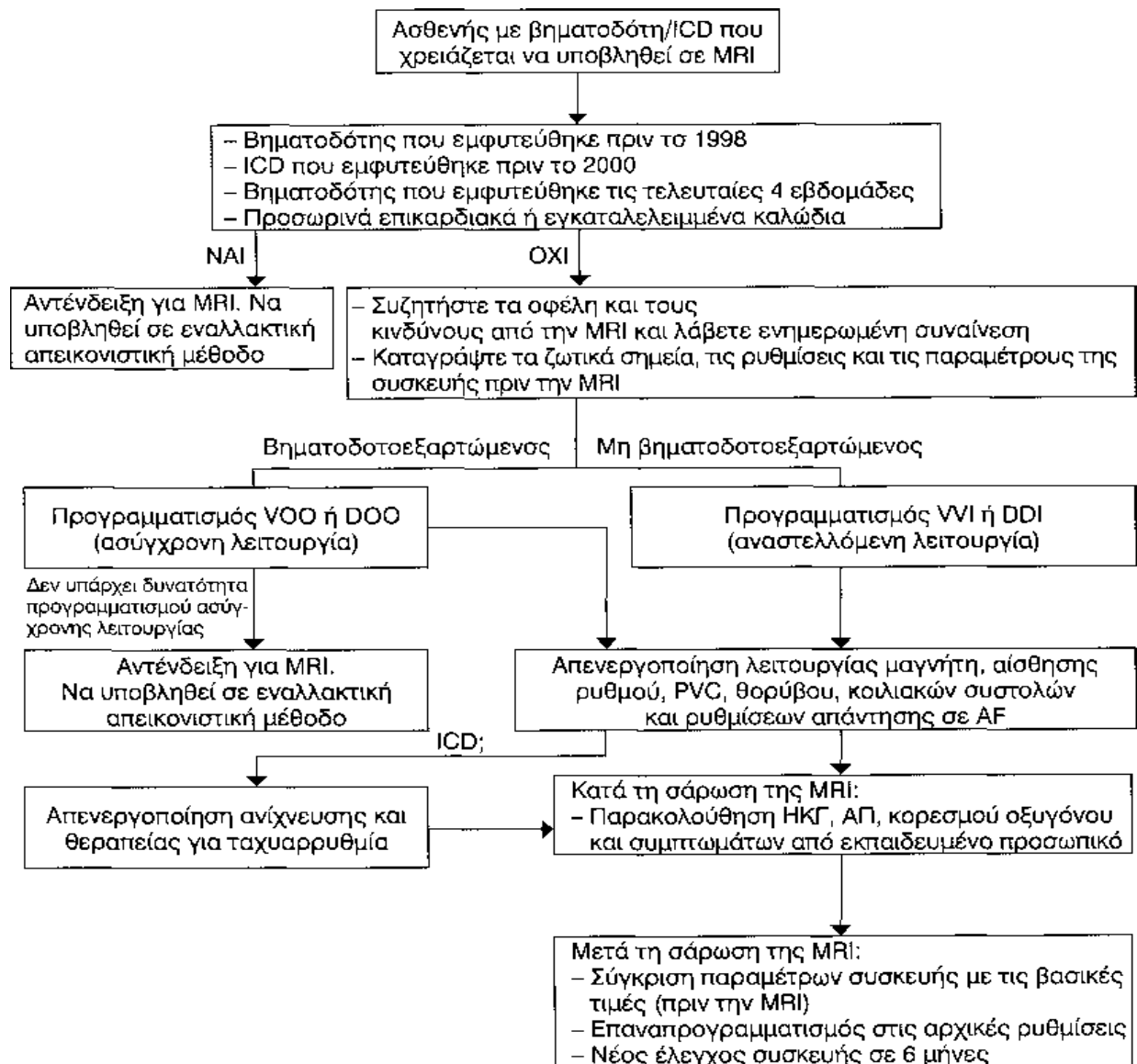
Σε περίπτωση που έχουμε μια ακούσια σάρωση θα πρέπει να υπάρχει ένα σχέδιο έκτακτης ανάγκης που θα πρέπει να εφαρμόζεται

Συμπερασματικά

Σήμερα κατά γενική παραδοχή οι συσκευές για τις οποίες μιλήσαμε παραπάνω δεν πιστοποιούνται από τις κατασκευάστριες εταιρείες για διενέργεια μαγνητικής τομογραφίας. Η εξέταση θα πρέπει να θεωρηθεί ως η έσχατη λύση καθώς δεν υπάρχει τεκμηριωμένη γνώση για την ασύγχρονη βηματοδότηση σε μοντέλο VOO.

Υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός ασθενών που φέρουν παλιότερης τεχνολογίας εμφυτεύσιμες συσκευές που είναι πιθανόν να χρειαστούν να υποβληθούν σε μαγνητική τομογραφία. Οι ακτινολόγοι πρέπει να είναι σε θέση να γνωρίζουν αν και κατά πόσο είναι ασφαλής η χρήση της μαγνητικής τομογραφίας σε ασθενείς που έχουν εμφυτεύσιμες συσκευές.

Πρωτόκολλο διενέργειας μαγνητικής τομογραφίας σε ασθενείς με μη συμβατές συσκευές



(12) Σκεύος Σιδηρής Καρδιαγγειακές εμφυτεύσιμες συσκευές Αθήνα 2020

σελ101

ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΣ(υπό όρους)

Η πρόοδος στην απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού (MR) τις τελευταίες 2 δεκαετίες οδήγησε στο να γίνει η μαγνητική τομογραφία όλο και πιο ελκυστική μέθοδος απεικόνισης, ταυτόχρονα όμως τις τελευταίες 2 δεκαετίες η κατασκευή συσκευών συμβατών υπό όρους συντέλεσε ώστε να μην είναι απαγορευτική η διενέργεια μαγνητικής τομογραφίας ,αλλά ταυτόχρονα δημιούργησε και ερωτήματα όπως προβληματισμούς στην επιστημονική κοινότητα καθώς οι κατασκευάστριες εταιρείες η κάθε μια από τη δική της πλευρά προσπαθεί να κερδίσει το μεγαλύτερο κομμάτι στην κατηγορία των εμφυτεύσιμων συσκευών συμβατών σε περιβάλλον μαγνητικού τομογράφου

Οι συσκευές και τα παρελκόμενα όπως τα ηλεκτρόδια πρέπει να υποβάλλονται σε τακτική αξιολόγηση πριν από μια διαδικασία μαγνητικής τομογραφίας, εάν είναι γνωστά, και κατηγοριοποιούνται ως ασφαλές, υπό όρους ή μη ασφαλές

Οι ασφαλείς(υπό όρους) συσκευές είναι ασφαλείς σε περιβάλλον μαγνητικού συντονισμού.

Οι εμφυτεύσιμες συσκευές είναι συνήθως κατασκευασμένες από μη σιδηρομαγνητικά συστατικά. Να επισημάνουμε ότι δεν υπάρχουν απόλυτα ασφαλείς καρδιαγγειακές εμφυτεύσιμες συσκευές μαγνητικής τομογραφίας. Οι συσκευές υπό όρους είναι ασφαλείς για τον ασθενή που υποβάλλεται σε μαγνητική τομογραφία μόνο εάν πληρούνται συγκεκριμένες προϋποθέσεις. Υποστήριξη τρεχουσών συστάσεων για ασφαλή σάρωση σε 1,5 T αν και υπάρχουν αρκετές μελέτες με σάρωση στα 3 T. Ένα σύστημα καρδιακού βηματοδότη αποτελείται από απαγωγές και παλμό - γεννήτρια. Μέσα στη γεννήτρια παλμών υπάρχουν σύνδεσμοι, κυκλώματα και μια μπαταρία που μπορεί να είναι σιδηρομαγνητική. αυτό έχει ως αποτέλεσμα αλληλεπιδράσεις με το μαγνητικό πεδίο ή τον παλμό RF στο περιβάλλον μαγνητικού συντονισμού

Η επίδραση της Μαγνητικής τομογραφίας σε συσκευές ασφαλείς(υπό όρους)

Η μαγνητική τομογραφία αποτελεί ένα περιβάλλον ιδιαίτερα επιβλαβές για όλες τις εμφυτεύσιμες συσκευές. Όλα τα στοιχεία αυτής της μεθόδου απεικόνισης (το στατικό

μαγνητικό πεδίο, το μαγνητικό πεδίο κλίσεως και το πεδίο παλμικών RF) μπορεί να επηρεάσουν τη λειτουργία της συσκευής. Το στατικό μαγνητικό πεδίο μπορεί να κλείσει το μηχανικό διακόπτη (reed switch), με επακόλουθη ενεργοποίηση της λειτουργίας μαγνήτη (magnet mode), και απρόβλεπτη ενεργοποίηση του μαγνητικού αισθητήρα. Επιπλέον, είναι δυνατό να ασκεί ικανή ροπή (torque) στη συσκευή μέσα στη θήκη, αλλά καθώς τα σύγχρονα συστήματα περιέχουν μικρότερα ποσά σιδηρομαγνητικού υλικού, η ασκούμενη δύναμη περιστροφής και μετατόπισης είναι πολύ μικρότερη. Το εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο και οι ταχείς παλμοί RF (ραδιοσυχνότητες) είναι δυνατό να προκαλέσουν υπεραίσθηση της EMI, με επακόλουθη αναστολή της βηματοδότησης, απάντηση θορύβου, απρόσφορη ιχνηλάτηση ή απρόσφορες εκφορτίσεις των απινιδωτών.

Το πεδίο RF μπορεί να προκαλέσει ανάπτυξη θερμότητας στο σημείο επαφής ηλεκτροδίου-μυοκαρδίου, με αποτέλεσμα θερμική βλάβη που αυξάνει τους ουδούς βηματοδότησης, ή ακόμα και διάτρηση μυοκαρδίου. Η θέρμανση είναι πιο έντονη σε ενταφιασμένα καλώδια απ' ό,τι σε καλώδια που είναι συνδεδεμένα με τη γεννήτρια παλμών. Η επίδραση των παλμών RF στα κυκλώματα της γεννήτριας μπορεί να προκαλέσει ταχεία βηματοδότηση σε συχνότητα αντίστοιχη με τη συχνότητα των παλμών.

Η παρουσία ενός βηματοδότη ή απινιδωτή σε έναν ασθενή πρέπει να θεωρείται **σχετική** αντένδειξη για τη διενέργεια μαγνητικής τομογραφίας. Αυτή η προσέγγιση ενθαρρύνεται από τους κατασκευαστές των συσκευών και υποστηρίζεται από τους κατασκευαστές των μαγνητικών τομογράφων και το FDA, που εξακολουθεί να παρακολουθεί αυτό το θέμα. Αυτές οι δυνητικά ανεπιθύμητες ενέργειες μπορούν να υποδιακριθούν σε πέντε γενικές κατηγορίες: Φαινόμενο ροπής, θέρμανση, κίνηση και δυσλειτουργία συσκευής, εγκαταλελειμμένες απαγωγές.

Φαινόμενο ροπής Η παρουσία σιδηρομαγνητικών υλικών στη συσκευή μπορεί οδηγούν σε κίνηση ή δόνηση σε περιβάλλον μαγνητικής τομογραφίας. Οι δυνάμεις σχετίζονται άμεσα με το σχήμα και την ποσότητα του σιδηρομαγνητικού υλικού καθώς και η ένταση του πεδίου και η θέση του εντός του μαγνητικού πεδίου. Η επαγόμενη ροπή από το μαγνητικό πεδίο μπορεί να οδηγήσει σε κίνηση του εσωτερικού εξαρτημάτων ή απομάκρυνση των συστατικών του. Μελέτες για συμβατικές (υπό όρους) συσκευές δεν έχουν δείξει σημαντική ανεπιθύμητες επιδράσεις .Τα επαγόμενα ηλεκτρικά ρεύματα και η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια μπορεί να

διοχετεύονται μέσω του συστήματος βηματοδότησης λόγω μεταβολής της μαγνητικής ροής.

Η μεταφορά της μαγνητικής ενέργειας ραδιοσυχνοτήτων σε θερμότητα και η ηλεκτρική ενέργεια εξαρτάται από τις παραμέτρους της ακολουθίας παλμών, ο μέσος όρος και οι ειδικοί ρυθμοί απορρόφησης για ολόκληρο το σώμα (SAR), η χωρική σχέση και προσανατολισμός σε σχέση με το πηνίο και διαμόρφωση του ηλεκτροδίου (σύνθεση, μήκος και προσανατολισμός). Τα επαγόμενα ηλεκτρικά ρεύματα μπορεί να μιμούνται την εγγενή καρδιακή δραστηριότητα. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε υπεραίσθηση (όπου υπάρχει δραστηριότητα ερμηνεύεται ως κοιλιακή ταχυκαρδία) ή υποαίσθηση (αδυναμία ανίχνευσης της εγγενούς καρδιακής δραστηριότητας) με αποτέλεσμα μια ακατάλληλη υψηλή συχνότητα ή αναστολή της βηματοδότησης.

Θέρμανση Οι παλμοί ραδιοσυχνοτήτων που χρησιμοποιούνται στην μαγνητική τομογραφία δημιουργούν ηλεκτρικά πεδία και εναπόθεση ενέργειας στους ιστούς του σώματος. Σε μια εμφυτεύσιμη συσκευή, μπορεί να προκύψει σημαντική θέρμανση κατά τη ρύθμιση της μαγνητικής σύζευξης με επαγόμενα πεδία ραδιοσυχνοτήτων, που οδηγεί στο «φαινόμενο κεραίας», στο οποίο υπάρχει μια ηχηρή σύζευξη του ηλεκτρικού πεδίου με το σύρμα. Εκτός από τον πιθανό ιστό, βλάβη λόγω εναπόθεσης θερμότητας στη επιφάνεια μολύβδου-ιστού, τέτοιες επιδράσεις μπορεί να αλλάξουν την ουσία βηματοδότησης και να προκαλέσουν απώλεια ανώτατου ορίου σύλληψης ή πρόκλησης αρρυθμίας. Οι αγωγοί μπορεί να είναι ιδιαίτερα ευαίσθητοι σε θερμικές επιδράσεις. Η αξιολόγηση τους θα πρέπει να είναι ιδιαίτερα προσεκτική επειδή επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες που συνδράμουν στη μεταβολή της θερμοκρασίας. Αυτοί οι παράγοντες μπορεί να είναι ο συγκεκριμένος τύπος εμφυτεύματος ή συσκευής, τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της συσκευής, το μήκος κύματος ραδιοσυχνοτήτων (RF) του συστήματος του μαγνητικού τομογράφου, ο τύπος του πηνίου εκπομπής RF που χρησιμοποιείται (κεφαλή μετάδοσης έναντι εκπομπής πηνίο ραδιοσυχνοτήτων σώματος), η ποσότητα της ενέργειας ραδιοσυχνοτήτων που παρέχεται (συγκεκριμένος ρυθμός απορρόφησης ή SAR), η τεχνική που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του SAR που χρησιμοποιείται από το σύστημα μαγνητικής τομογραφίας, τη θέση ορόσημο ή μέρος του σώματος υποβάλλονται σε μαγνητική τομογραφία σε σχέση με το πηνίο μετάδοσης RF, ο προσανατολισμός του το εμφύτευμα ή η συσκευή σε σχέση με την πηγή ενέργειας RF

(δηλ μετάδοση πηνίου RF), και ο τρόπος με τον οποίο τα καλώδια ήταν ηλεκτρικά τερματικά σε κάθε άκρο, τα φίλτρα στην κεφαλίδα των γεννητριών,. Επιπλέον, η επιλογή της κατάλληλης απεικόνισης μπορεί να μειώσει σημαντικά τον κίνδυνο θέρμανσης. Μια πτυχή της θέρμανσης που σχετίζεται με τη μαγνητική τομογραφία που δεν είναι διαισθητική είναι αυτή για οποιοδήποτε δεδομένο αντικείμενο, η θέρμανση μπορεί να είναι ουσιαστικά διαφορετική εν αναμονή της συχνότητας ραδιοσυχνοτήτων που εφαρμόζεται. Στοιχεία από μια *in vivo* μελέτη ανέφερε σημαντικά λιγότερη θέρμανση που σχετίζεται με τη μαγνητική τομογραφία 3-Tesla/128-MHz (ολόκληρο το σώμα κατά μέσο όρο SAR 3 W/kg) έναντι 1,5 Tesla/64-MHz (μέσος όρος SAR για ολόκληρο το σώμα 1,4 W/kg) για μόλυβδο που δεν ήταν συνδεδεμένη σε γεννήτρια παλμών (13) Αυτό το φαινόμενο όπου παρατηρήθηκε λιγότερη θέρμανση στα 128 MHz έναντι των 64-MHz επίσης παρατηρήθηκε για εξωτερικές συσκευές στερέωσης. Επομένως, είναι συνετό να παραμείνουμε προσεκτικοί σχετικά με τα σενάρια έκθεσης ασθενών που μπορεί να οδηγήσουν σε μεγαλύτερη θέρμανση του άκρου του μολύβδου.

Κίνηση συσκευής ή ηλεκτροδίου Μεταφορικές δυνάμεις και ροπή από αλληλεπιδράσεις μαγνητικού πεδίου στο μαγνητικό τομογράφο έχουν τη δυνατότητα να προκαλέσουν κίνηση ή μετατόπιση του σιδηρομαγνητικού εμφυτεύματος (14). Μεταφραστικές δυνάμεις είναι ανάλογες με τη χωρική κλίση του μαγνητικού πεδίου. Το τελευταίο είναι το υψηλότερο κοντά στο άνοιγμα της οπής της μαγνητικής τομογραφίας. Τα φαινόμενα ροπής σχετίζονται με την ισχύ του μαγνητικού πεδίου. Το τελευταίο που βρίσκεται ψηλότερα στο κέντρο της μαγνητικής τομογραφίας καθαρά. Παράγοντες που επηρεάζουν τον κίνδυνο διενέργειας μαγνητικής τομογραφίας σε ασθενή με ένα μεταλλικό αντικείμενο περιλαμβάνει

- την ισχύ του μαγνητικού πεδίου,
- το επίπεδο της χωρικής κλίσης του μαγνητικού πεδίου,
- Η μαγνητική ευαισθησία του αντικειμένου,
- η μάζα του αντικειμένου *in situ*,
- Η ένταξη του αντικειμένου σε σχέση με το μαγνητικό πεδίο,
- Η παρουσία ή ύπαρξη συγκρατητικών μηχανισμών (ινώδης ιστός, ράμματα κ.λπ.) και
- το χρονικό διάστημα που το αντικείμενο έχει εμφυτευθεί.

Τα σύγχρονα καλώδια είναι γενικά σχεδιασμένα με ελάχιστη σιδηρομαγνητικά στοιχεία και είναι απίθανο να υπόκεινται σε κίνηση .Επιπλέον, μια ελάχιστη ποσότητα σιδηρομαγνητικού υλικού υπάρχει στον μετασχηματιστή που απαιτείται για τη φόρτιση του εμφυτεύσιμου απινιδωτή. Το ποσό αυτό παραμένει αρνητικό-αρκετά αποδεκτό ώστε η κίνηση της συσκευής να μην έχει τεκμηριωθεί, και μαγνητικές τομογραφίες εντός 24 ωρών από την εμφύτευση της συσκευής εκτελούνται με ασφάλεια, όταν υπάρχει κλινική ένδειξη για τη σάρωση. Συνολικά, η μηχανική δύναμη και η ροπή που εφαρμόζεται σε συσκευές από την κοινή κλινική πρακτική είναι της τάξης της βαρύτητας και δεν αναμένεται να προκληθούν κλινικά σημαντική απομάκρυνση της συσκευής, ούτε αντίληψη από τον ασθενή του τραβήγματος της συσκευής.

Δυσλειτουργία συσκευής Τόσο τα πεδία ραδιοσυχνότητας όσο και τα πεδία κλίσης στη μαγνητική τομογραφία μπορεί να προκαλέσει ηλεκτρικά ρεύματα στα καλώδια, τα οποία μπορεί να προκαλέσουν είτε υπεραίσθηση ή υποαίσθηση που παρεμποδίζει την κατάλληλη θεραπεία ταχυαρρυθμίας. Σε βηματοδότες, ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές μπορεί να οδηγήσουν σε "επαναφορά κατά την ενεργοποίηση" (στην οποία ρυθμίζεται η συσκευή)

Οι απαγωγές βηματοδότη είναι ιδιαίτερα επιρρεπείς σε θέρμανση που προκαλείται από ραδιοσυχνότητες επειδή το μήκος της απαγωγής του βηματοδότη, είναι γενικά κυμαινόμενο μεταξύ 40 και 60 cm, είναι συγκρίσιμο με το μήκος κύματος του ηλεκτρικού πεδίου που προκαλείται από παλμούς RF στον ιστό. Επομένως, το πεδίο RF μπορεί να συνδεθεί με το καλώδιο του βηματοδότη που μοιάζει με κεραία, με αποτέλεσμα τοπικό θέρμανση στο άκρο του μολύβδου.

Η θέρμανση του μολύβδου αποτελεί κίνδυνο για τους ασθενείς που υποβάλλονται σε εξέταση μαγνητικής τομογραφίας για κεφάλι/λαιμό, θωρακικό και κοιλιακό τοίχωμα. Ωστόσο, αρκετές πρόσφατες δημοσιεύσεις έχουν περιγράψει μαγνητική τομογραφία ασθενών με βηματοδότες χωρίς εμφανείς ανεπιθύμητες ενέργειες στον ασθενή ή στη συσκευή.

Εγκαταλελειμμένες απαγωγές. Υπάρχει ένας αυξανόμενος πληθυσμός με εμφυτευμένους βηματοδότες ή απινιδωτές που έχουν εγκαταλελειμμένες απαγωγές βηματοδότη. Κατά τη διάρκεια της ζωής της εμφυτευμένης συσκευής, οι απαγωγές

μπορεί να εγκαταλειφθούν και να αντικατασταθούν εξαιτίας θραύσης μολύβδου, σπασίματα μόνωσης, απομάκρυνση, ή ανωμαλίες στη βηματοδότηση ή την αίσθηση. Ενώ αυτά τα καλώδια δεν είναι πλέον λειτουργικά, συχνά εξακολουθούν να εκλύουν μολύβδο, με επακόλουθο μια σειρά από ανεπιθύμητες καταστάσεις, συμπεριλαμβανομένης της καρδιακής ή αγγειακής αποβολής, πνευμονική εμβολή, εγκεφαλικό, καρδιακό επεισόδιο και διάτρηση του μυοκαρδίου.. Αυτά τα εγκαταλειμμένα καλώδια έχουν αποσυνδεθεί από το βηματοδότη και η λειτουργία τους αντικαθίσταται από νέα καλώδια, τα οποία εμφυτεύονται και συνδέεται η συσκευή. Ο τυπικός σύνδεσμος IS-1 καλύπτεται με πλαστικό καπάκι για ηλεκτρική απομόνωση του ηλεκτροδίου και μείωση του κινδύνου της ακούσιας ηλεκτρικής διέγερσης του μυοκαρδίου. Ωστόσο, οι εγκαταλελειμμένοι οδηγοί εξακολουθούν να υφίστανται θέρμανση κατά την απεικόνιση μαγνητικής τομογραφίας, ακόμη και χωρίς παλμό γεννήτριας, επειδή το ίδιο το καλώδιο λειτουργεί ως κεραία για την ενέργεια RF. Γενικά, το μήκος της απαγωγής, η κατασκευή του μολύβδου, η περιέλιξη μολύβδου και η θέση του μολύβδου σε σχέση με το πηνίο μετάδοσης RF επηρεάζουν και την έκταση της θέρμανσης από το άκρο απαγωγής βηματοδότη που προκαλείται από RF.

Όταν μια μαγνητική τομογραφία κρίνεται απαραίτητη για έναν ασθενή με εμφυτεύσιμη συσκευή, οι τρέχουσες συστάσεις ασφαλείας περιλαμβάνουν περιορισμό της ειδικής απορρόφησης ολόκληρου του σώματος (SAR) και gradient slew rate, καθώς επίσης και συνεχή παρακολούθηση των ασθενών. Επίσης η μετατροπή του μοντέλου βηματοδότησης από το υπάρχον σε μοντέλο VOO ή DOO ανάλογα με τις οδηγίες τις κάθε εταιρείας.

Ενδεικτικά η εταιρεία BIOTRONIK προκρίνει ότι μπορεί 14 ημέρες πριν, να μπει σε μοντέλο DOO ή VOO ή ODO και μόλις βρεθεί σε ισχυρό μαγνητικό πεδίο να κλειδώσει τη ρύθμιση και μετά την έξοδο από το μαγνητικό πεδίο επανέρχεται στις αρχικές ρυθμίσεις. (26) Οι υπόλοιπες εταιρείες προτείνουν τη ρύθμιση την ώρα της εξέτασης και αμέσως μετά την επαναφορά των αρχικών ρυθμίσεων. Ωστόσο, το κατώφλι για να θεωρήσουμε ότι δεν θα έχουμε μη αναστρέψιμη θερμική βλάβη σε συγκεκριμένους ασθενείς παραμένει άγνωστος. Η ομάδα SORIN έχει επίσης την αυτόματη λειτουργία μαγνήτη διαθέσιμο στα μοντέλα KORA 100 και KORA 250,

όπου η συσκευή μπορεί να μεταβεί αυτόματα σε ασύγχρονη λειτουργία όταν ανιχνεύεται ισχυρό μαγνητικό πεδίο(15)

Η εταιρεία MEDTRONIC έχει προκρίνει ένα διαφορετικό πρωτόκολλο στην υπό όρους διενέργεια μαγνητικής τομογραφίας το οποίο παρουσιάζεται παρακάτω και μάλιστα διαφοροποιείται εάν πρόκειται για μαγνητικό τομογράφο 1,5 T ή 3 T. Η συγκεκριμένη εταιρεία παρουσιάζει τις διαφορετικές απαιτήσεις στις δύο κύριες ειδικότητες αυτή του επεμβατικού καρδιολόγου καθώς και αυτή του ακτινολόγου

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΡΔΙΟΛΟΓΟΥ

Όταν έχουμε εμφυτευμένο ένα πλήρες σύστημα MRI SureScan Medtronic

Γίνεται επαλήθευση συστημάτων SureScan είτε από τα αρχεία ασθενών είτε από την ταυτότητα που πιστοποιεί ότι η εμφυτευόμενη συσκευή και τα ηλεκτρόδια είναι τα συστήματα MR-Conditional της Medtronic. Τα μοντέλα εμφυτεύσιμων συσκευών για τα οποία είναι δυνατή η υπό όρους διενέργεια μαγνητικής τομογραφίας είναι τα ακόλουθα: Medtronic SureScan Advisa MRI™ A3DR01 και A3SR01, Ensura MRI™ EN1DR01 και EN1SR01, *EnRhythm MRI™ EMDR01

Η μαγνητική τομογραφία για το μοντέλο **EnRhythm δεν επισημαίνεται για 3T**, (ισχύουν συνθήκες 1,5T), Medtronic SureScan MRI ICD Evera MRI™ DDMB2D4, DDMC3D4, DVMB2D4, DVMC3D4 Visia AF MRI™ DVFB2D4, DVFC3D4 Medtronic SureScan MRI CRT-Ds Claria MRI™ DTMA2D4, Claria MRI Quad DTMA2QQ Amplia MRI™ DTMB2D4, Amplia MRI QuadDTMB2QQ Compia MRI™ DTMC2D4, Compia MRI Quad DTMC2QQ Σημείωση: Για MRI CRT-D της Medtronic SureScan χωρίς κολπικό καλώδιο, α Το βύσμα ακίδων μοντέλου 6725 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συνδέσετε τη θύρα του δεξιού κόλπου. Απαγωγές MRI της Medtronic SureScan Η Medtronic Sprint Quattro Secure MRI™ οδηγεί (Μοντέλα: 6947M-55, 6947M-62, 6935M-55, 6935M-62) Απαγωγές MRI™ της Medtronic CapSure Sense (Μοντέλα: 4574-45, 4574-53, 4074-52, 4074-58) Απαγωγές MRI της Medtronic CapSureFix™ 5086 (Μοντέλα: 5086MRI-45, 5086MRI-52, 5086MRI-58) Η Medtronic CapSureFix Novus MRI™ οδηγεί (Μοντέλα: 5076-35, 5076-45, 5076-52, 5076-58, 5076-65, 5076-85) Απαγωγές Attain Ability™ MRI SureScan (Μοντέλα: 4196-78, 4196-88, 4296-78, 4296-88, 4396-78, 4396-88) Απαγωγές Attain™ Performa™ MRI SureScan (Μοντέλα: 4298-78, 4298-

88, 4398-78, 4398-88, 4598-78, 4598-88) Αποκτήστε απαγωγές MRI SureScan Stability™ (Μοντέλα: 20066-88) Καρδιολογικές Απαιτήσεις για τη Medtronic Βηματοδότες SureScan MRI Καρδιολογικές Απαιτήσεις για MRI της Medtronic SureScan απινιδωτές (ICD) και Medtronic SureScan MRI Cardiac Απινιδωτές επανασυγχρονισμού (CRT-Ds) Περίοδος ωρίμανσης μετά το μόλυβδο (περίπου 6 εβδομάδες) EnRhythm MRI > 6 εβδομάδες

Κατώφλι βηματοδότησης $RV \leq 2,0 \text{ V}$ στα 0,4 ms για ασθενείς που εξαρτώνται από βηματοδότη EnRhythm MRI Pacing Threshold $\leq 2,0 \text{ V}$ στα 0,4 ms. Ο ασθενής δεν έχει σπασμένα καλώδια ή απαγωγές με διαλείπουσες ηλεκτρική επαφή, όπως επιβεβαιώνεται από το ιστορικό σύνθετης αντίστασης μολύβδου. (Αντίσταση ηλεκτροδίου βηματοδότησης $200 \geq 1.500 \Omega$). Ο ασθενής δεν έχει σπασμένα καλώδια ή απαγωγές με διαλείπουσες ηλεκτρική επαφή, όπως επιβεβαιώνεται από το ιστορικό σύνθετης αντίστασης μολύβδου. (Αντίσταση ηλεκτροδίου βηματοδότησης 200 -3.000 Ω , Αντίσταση ηλεκτροδίου απινίδωσης 20-200 Ω). Ο ασθενής δεν έχει εμφυτευμένα καλώδια επέκτασης, προσαρμογείς ηλεκτροδίων ή εγκαταλειμμένα καλώδια. Οι ασθενείς με μαγνητική τομογραφία EnRhythm με προηγουμένως εμφυτευμένες (ενεργές ή εγκαταλειμμένες) ιατρικές συσκευές, απαγωγές, προέκτατες ηλεκτροδίου ή προσαρμογείς ηλεκτροδίων αντενδείκνυνται για μαγνητική τομογραφία. Το σύστημα SureScan εμφυτεύεται στην αριστερή ή δεξιά θωρακική περιοχή και λειτουργεί εντός της προβλεπόμενης διάρκειας ζωής. Δεν ενδείκνυται η σάρωση σε ασθενείς που παρουσιάζουν διαφραγματική διέγερση όταν η συσκευή βηματοδοτεί ασύγχρονα κατά τη διάρκεια της μαγνητικής τομογραφίας SureScan τρόπος. Μπορεί να είναι δύσκολο για τον ασθενή να παραμείνει ακίνητος προκειμένου να λάβει μια ποιοτική μαγνητική τομογραφία. Προγραμματίστε τη λειτουργία MRI SureScan ON πριν από τη σάρωση (ΑΠΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ μετά τη σάρωση)

Παρακολούθηση Ασθενούς: Κατά τη διάρκεια της μαγνητικής τομογραφίας πρέπει να παρέχεται σωστή παρακολούθηση του ασθενούς και περιλαμβάνει και τις δύο ακόλουθες ενέργειες:

- α. Διατήρηση συνεχούς οπτικής και λεκτικής επαφής με τον ασθενή

β. Συνεχής παρακολούθηση του καρδιακού ρυθμού του ασθενούς χρησιμοποιώντας όργανα όπως παλμική οξυμετρία (πληθυσμογραφία) ή ηλεκτροκαρδιογραφία

Απαιτείται σωστή παρακολούθηση του ασθενούς καθ' όλη τη διάρκεια της. Η λειτουργία MRI SureScan είναι προγραμματισμένη σε On και περιλαμβάνει και τα δύο από τις προαναφερόμενες ενέργειες.

Προετοιμασία για διάσωση ασθενούς:

Σε περίπτωση που απαιτείται διάσωση ασθενούς, πρέπει να είναι άμεσα διαθέσιμος ένας εξωτερικός απινιδωτής.

ΛΙΣΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΚΤΙΝΟΛΟΓΟΥ σε ένα πλήρες σύστημα ασφαλές(υπό όρους) Medtronic επιβεβαιωμένο από καρδιολόγους ή από τα αρχεία ασθενών

Ο Τύπος σαρωτή σε οριζόντιο πεδίο, κυλινδρική οπή, κλινικό σύστημα για απεικόνιση πρωτονίων υδρογόνου. Χαρακτηριστικά :

- Στατικό μαγνητικό πεδίο ενός από τα παρακάτω δυνατά σημεία: –

1,5T (η μαγνητική τομογραφία EnRhythm είναι μόνο 1,5T) –

Στα 3T

- Μέγιστη χωρική κλίση $\leq 20 \text{ T/m}$ (2.000 gauss/cm)

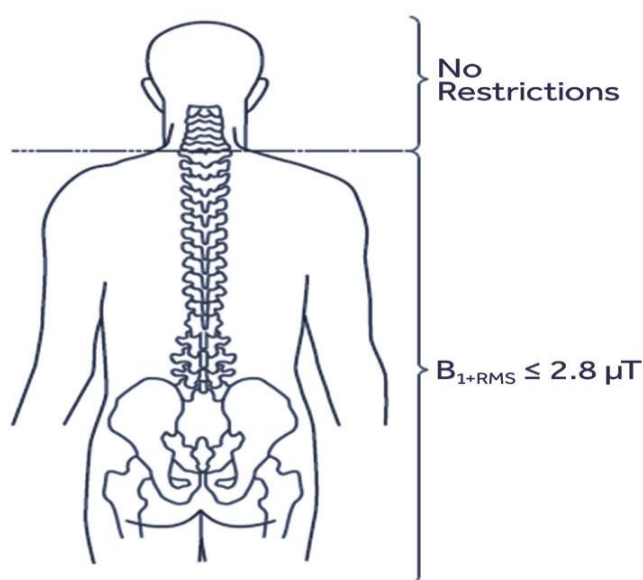
Συστήματα διαβάθμισης με μέγιστη κλίση ρυθμός απόδοσης ανά άξονα $\leq 200 \text{ T/m/s}$
Λειτουργία σαρωτή μαγνητικής τομογραφίας 1,5T—Ισχύς ραδιοσυχνοτήτων (RF) MRI—

- Κανονικός τρόπος λειτουργίας
- Ο μέσος όρος ειδικής απορρόφησης σε ολόκληρο το σώμα (SAR) πρέπει να είναι $\leq 2,0 \text{ W/kg}$
- Το SAR της κεφαλής πρέπει να είναι $\leq 3,2 \text{ W/kg}$ Ισχύς ραδιοσυχνοτήτων (RF) 3T—

MRI

- Χωρίς περιορισμούς για ειδικό ρυθμό απορρόφησης (SAR)

Οι σαρώσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν χωρίς περιορισμό όταν το ισόκεντρο (κέντρο της οπής μαγνητικής τομογραφίας) βρίσκεται στο ή ανώτερο από τον σπόνδυλο C7 (δείτε την παρακάτω εικόνα)



- B_{1+RMS} πρέπει να είναι $\leq 2,8 \mu T$ όταν το ισόκεντρο είναι κατώτερο από τον C7 σπόνδυλο

Για ασθενείς με βηματοδότη:

- Απαιτείται συνεχής παρακολούθηση του ασθενούς κατά τη διάρκεια της μαγνητικής τομογραφίας

Σε περίπτωση που απαιτείται διάσωση ασθενούς, εξωτερική ο απινιδωτής πρέπει να είναι άμεσα διαθέσιμος

Ο ασθενής σε μαγνητικό τομογράφο φέροντας συσκευή EnRhythm μπορεί να μην είναι τοποθετημένος πάνω του πλευρά εντός της οπής του μαγνήτη (πλάγια θέση

κατάκλισης). Η χρήση πηνίων τοπικής εκπομπής μόνο ή τοπικών πηνίων εκπομπής-λήψης. Η τοποθέτηση απευθείας πάνω από το σύστημα βηματοδότησης αντενδείκνυται. (16)

Αρχικά υπήρξε σημαντική ανησυχία σχετικά με την ασφάλεια της διεξαγωγής αυτών των απεικονιστικών μελετών σε ασθενείς με καρδιακές εμφυτεύσιμες ηλεκτρονικές συσκευές, οι οποίες έχουν τη δυνατότητα να επηρεαστούν από τα έντονα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία της μαγνητικής τομογραφίας. Πιο πρόσφατα, υπάρχουν αυξανόμενες ενδείξεις ότι η μαγνητική τομογραφία μπορεί να πραγματοποιηθεί με ασφάλεια σε ασθενείς με συσκευές που έχουν επισημανθεί ειδικά από ρυθμιστικούς φορείς ως ασφαλείς για χρήση σε περιβάλλον μαγνητικής τομογραφίας όχι μόνο στα 1,5 T αλλά πλέον και στα 3 T. Προκειμένου όμως να εκτελείται μια μαγνητική τομογραφία, απαιτείται αυστηρή τήρηση του πρωτοκόλλου και των οδηγιών που προκρίνουν οι εκάστοτε εταιρείες που πρέπει να ακολουθηθούν, και που αναγνωρίζουν ότι υπάρχουν ακόμη οι πιθανές αρνητικές επιπτώσεις στις οποίες αναφερθήκαμε πιο πάνω

Ιδιαίτερα , για τον ασκούμενο κλινικό ιατρό, μπορεί να μην είναι προφανές ότι ένα εγκαταλειμμένο καλώδιο βηματοδότη μπορεί να προκαλέσει δυνητικά κίνδυνο για έναν ασθενή που υποβάλλεται σε σάρωση με μαγνητική τομογραφία. Συνεπώς η ιατρική κοινότητα θα πρέπει να μην μπορεί να πραγματοποιήσει μαγνητική τομογραφία σε ασθενείς με εμφυτεύσιμες συσκευές αλλά θα πρέπει και η αξιολόγηση των δυνητικών κινδύνων από εγκαταλελημμένες απαγωγές βηματοδότησης, να διασφαλίζουν την ασφάλεια του ασθενή και της συσκευής.

ΜΕΛΕΤΕΣ

Η δημοσιευμένη βιβλιογραφία τα τελευταία 10 χρόνια που αξιολόγησε ή επανεξέτασε την ασφάλεια της μαγνητικής τομογραφίας για ασθενείς με Καρδιακές εμφυτεύσιμες ηλεκτρονικές συσκευές παρουσιάζονται με τα ευρήματα, τα βασικά σημεία, τα συμπεράσματα και τις συστάσεις στις παρακάτω μελέτες

Οι Han et al. (29). Han D, Kang SH, Cho Y, Oh IY. Experiences of magnetic resonance imaging scanning in patients with pacemakers or implantable cardioverter-defibrillators. *Korean J Intern Med (Korean Assoc*

Intern Med) 2019; 34:99–107

Στόχος της μελέτης: να αξιολογηθεί η πραγματική ασφάλεια της μαγνητικής τομογραφίας για ασθενείς με εμφυτεύσιμες συσκευές σε ένα μόνο κέντρο. Πληθυσμός μελέτης: 35 ασθενείς με εμφυτεύσιμες συσκευές

Μέθοδοι: Χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα της μαγνητικής τομογραφίας και συλλέχθηκαν πριν και μετά τη διενέργεια της εξέτασης και μετά από 1 μήνα παρακολούθησης. Αυτά τα δεδομένα περιελάμβαναν το προβάδισμα σύνθετης αντίστασης και μετρημένα πλάτη κυμάτων P και R και το κατώφλι σύλληψης του ερεθίσματος

Αποτελέσματα: Πραγματοποιήθηκαν 43 εξετάσεις μαγνητικής τομογραφίας. η μέση παρακολούθηση ήταν 5 μήνες

Συμπέρασμα: η μελέτη διαπίστωσε ότι η μαγνητική τομογραφία μπορεί να πραγματοποιηθεί με ασφάλεια σε ασθενείς με εμφυτεύσιμες συσκευές, εφόσον ληφθούν οι κατάλληλες προφυλάξεις

Nyotowidjojo et al. (30). Nyotowidjojo IS, Skinner K, Shah AS, et al. Thoracic versus nonthoracic MR imaging for patients with an MR nonconditional cardiac implantable electronic device. *Pacing Clin Electrophysiol* 2018; 41:589–596

Στόχος της μελέτης: να εξεταστεί η ασφάλεια της θωρακικής και μη θωρακικής μαγνητικής τομογραφίας ασθενών με εμφυτεύσιμες συσκευές Πληθυσμός μελέτης: 238 ασθενείς Υποβλήθηκαν σε 339 εξετάσεις μαγνητικής τομογραφίας, συμπεριλαμβανομένων 99 εξετάσεων μαγνητικής τομογραφίας της θωρακικής περιοχής

Μέθοδοι: Ιδρυματικό πρωτόκολλο μαγνητικής τομογραφίας. Οι μεταβλητές περιελάμβαναν τιμή ανίχνευσης, κατώφλι σύλληψης βηματοδότησης, σύνθετη αντίσταση ηλεκτροδίου και τάση της μπαταρίας

Αποτελέσματα: Οι διαφορές των εμφυτεύσιμων συσκευών αμέσως μετά τη μαγνητική τομογραφία ή στη μακροχρόνια παρακολούθηση δεν ήταν σημαντικά διαφορετικές. δεν υπήρχε εξάρτηση στην περιοχή που σαρώθηκε, χρόνος από την εμφύτευση έως την εξέταση.

Συμπέρασμα: δεν υπήρχαν κλινικές ανεπιθύμητες ενέργειες σε αυτήν την μελέτη

Oi Celentano et al. (31). Celentano E, Caccavo V, Santamaria M, et al. Access to magnetic resonance imaging of patients with magnetic resonance-conditional pacemaker and implantable cardioverter-defibrillator systems: results from the Really ProMRI study. *Europace* 2018; 20:1001–1009

Στόχος της μελέτης: να αξιολογηθεί η πρόσβαση σε μαγνητική τομογραφία για ασθενείς με εμφυτεύσιμες συσκευές και η απόδοση των απαγωγών με μαγνητική τομογραφία υπό όρους. Πληθυσμός της μελέτης: Συμμετείχαν 555 ασθενείς, εκ των οποίων το 49% είχε βηματοδότη και το 51% είχε σύστημα ICD. Η παρακολούθηση ολοκληρώθηκε σε 510 ασθενείς

Μέθοδοι: ασθενείς που είχαν είτε βηματοδότη υπό συνθήκες μαγνητικής τομογραφίας είτε σύστημα απινιδωτή ή που είχαν τουλάχιστον ένα εξάρτημα (μία συσκευή ή ένας ή περισσότεροι υποψήφιοι) από ένα σύστημα μαγνητικής τομογραφίας υπό όρους ζητήθηκε να συμπληρώσουν ένα ερωτηματολόγιο όταν παραπέμφθηκαν για μαγνητική τομογραφία εξέταση; το ποσοστό συνταγογράφησης, άρνησης ή εκτέλεσης εξετάσεων μαγνητικής τομογραφίας αξιολογήθηκε σε παρακολούθηση 1 έτους Αποτελέσματα: ο αριθμός των παραπομπών μαγνητικής τομογραφίας δεν ήταν στατιστικά διαφορετικός μεταξύ των ομάδων βηματοδότη και απινιδωτή. Ο ρυθμός των σαρώσεων ήταν υψηλότερος για άτομα με βηματοδότη, αλλά ήταν παρόμοια μεταξύ ασθενών με ή χωρίς πλήρη μαγνητική τομογραφία

Συμπέρασμα: πολλές εξετάσεις απορρίφθηκαν, παρά τα συστήματα μαγνητικής τομογραφίας, ειδικά σε ασθενείς με απινιδωτή. Απαιτούνται πολιτισμικές αλλαγές για να επιτραπεί ευρύτερη πρόσβαση στη μαγνητική τομογραφία σε ασθενείς με εμφυτεύσιμες συσκευές με σύστημα μαγνητικής τομογραφίας υπό όρους

Cavallo et al. (32). Cavallo JJ, Zhang Y, Staib LH, Lampert R, Weinreb JC. Disparities in care among patients with cardiac implantable electronic devices undergoing MRI. *J Am Coll Radiol* 2017; 14:1566–1571
Downloaded from

Στόχος της μελέτης: να προσδιοριστεί εάν οι διαφορές στην αποζημίωση μεταξύ εμπορικών ασφαλιστικών φορέων και CMS επηρεάζουν τα ποσοστά ολοκλήρωσης μαγνητικής τομογραφίας που παραγγέλθηκαν για ασθενείς με εμφυτεύσιμες συσκευές χωρίς μαγνητική τομογραφία υπό όρους. Πληθυσμός μελέτης: 127 συμμετέχοντες στη μελέτη

Μέθοδοι: αξιολογήθηκαν αναδρομικά ασθενείς με εμφυτεύσιμες συσκευές χωρίς μαγνητική τομογραφία υπό όρους για τους οποίους ζητήθηκε εξέταση μαγνητικής τομογραφίας. Αποτελέσματα: οι εξωτερικοί ασθενείς με εμπορική ασφάλιση είχαν σημαντικά περισσότερες πιθανότητες να ολοκληρώσουν τις εξετάσεις μαγνητικής τομογραφίας σε σύγκριση με ασθενείς με ασφάλιση Medicare ή Medicaid. Δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά στο περιβάλλον νοσηλείας

Συμπέρασμα: λόγω των πολιτικών κάλυψης των εταιρειών που βασίζονται σε έννοιες σχετικά με την ασφάλεια της μαγνητικής τομογραφίας που είναι πλέον ξεπερασμένες, οι ασθενείς με μαγνητική τομογραφία (υπό όρους) σε σχέση με τους ασθενείς με εμφυτεύσιμες συσκευές που έχουν ασφάλιση Medicare ή Medicaid υποβάλλονται σε σημαντικά λιγότερες διαγνωστικές εξετάσεις μαγνητικής τομογραφίας από ασθενείς με εμπορική ασφάλιση.

Οι Russo et al. (33). Russo RJ, Costa HS, Silva PD, et al. Assessing the risks associated with MRI in patients with a pacemaker or defibrillator. *N Engl J Med* 2017; 376:755–764

Στόχος της μελέτης: η δημιουργία ενός μελλοντικού μητρώου για τον προσδιορισμό των κινδύνων που σχετίζονται με εμφυτεύσιμες συσκευές χωρίς μαγνητική τομογραφία υπό όρους σε ένταση πεδίου 1,5 T. Πληθυσμός μελέτης: 1000 ασθενείς, 500 από τους οποίους είχαν βηματοδότη και 500 από τους οποίους είχαν απινιδωτή

Μέθοδοι: οι ασθενείς παραπέμφθηκαν για κλινικά ενδεδειγμένη μη θωρακική μαγνητική τομογραφία που πραγματοποιήθηκε σε ένταση πεδίου 1,5 T. Οι συσκευές που έφεραν οι ασθενείς πριν και μετά τη διεξαγωγή της μαγνητικής τομογραφίας (χρησιμοποιώντας ένα τυποποιημένο πρωτόκολλο) προγραμματίστηκαν και επαναπρογραμματίστηκαν κατάλληλα πριν και μετά από την εξέταση. Τα κύρια τελικά σημεία ήταν αστοχία γεννήτριας ή ηλεκτροδίου, προκληθείσα αρρυθμία, απώλεια σύλληψης ή ηλεκτρική επαναφορά κατά τη διάρκεια της σάρωσης. Τα δευτερεύοντα τελικά σημεία ήταν αλλαγές στις ρυθμίσεις της συσκευής

Αποτελέσματα: δεν σημειώθηκαν θάνατοι, αποτυχίες ηλεκτροδίου, απώλειες σύλληψης ή κοιλιακές αρρυθμίες κατά τη διάρκεια της μαγνητικής τομογραφίας.

Μία γεννήτρια απινιδωτή δεν μπορούσε να είναι λειτουργική μετά από τη μαγνητική τομογραφία και απαιτήθηκε άμεση αντικατάσταση. Η συσκευή δεν είχε προγραμματιστεί κατάλληλα σύμφωνα με το πρωτόκολλο πριν την εξέταση. Υπήρξαν έξι περιπτώσεις αυτοτελούμενης κολπικής μαρμαρυγής ή πτερυγισμού και έξι περιπτώσεις μερικής ηλεκτρικής επαναφοράς, αλλαγές στο μόλυβδο, αλλαγή στην αντίσταση του ηλεκτροδίου, η ουδός βηματοδότησης, η τάση της μπαταρίας και το πλάτος των κυμάτων P και R ξεπέρασαν τα προκαθορισμένα όρια σε ένα μικρό αριθμό περιπτώσεων· επαναλαμβανόμενη μαγνητική τομογραφία δεν συσχετίστηκε με αύξηση των ανεπιθύμητων ενεργειών. Συμπέρασμα: κανένας ασθενής που υποβλήθηκε σε κατάλληλο έλεγχο και επαναπρογραμματίστηκε η καρδιακή συσκευή σύμφωνα με το πρωτόκολλό του δεν είχε αστοχία συσκευής ή ηλεκτροδίου. ουσιαστικές αλλαγές στις ρυθμίσεις της συσκευής ήταν σπάνιες

Μαγνητική τομογραφία καρδιάς σε ασθενείς με εμφυτεύσιμες καρδιακές συσκευές

Η συγκεκριμένη εξέταση είναι η μέθοδος εκλογής για τη διάγνωση και διαχείριση καρδιαγγειακών ασθενειών.

Συνοπτικά, οι κυριότερες ενδείξεις της μαγνητικής τομογραφίας καρδιάς είναι:

- Η διερεύνηση της υποκείμενης αιτίας καρδιακής ανεπάρκειας ή δυσλειτουργίας
- Η μυοκαρδίτιδα (φλεγμονή της καρδιάς συνήθως από ιώσεις) και οι μυοκαρδιοπάθειες (παθήσεις του καρδιακού μυός που ορισμένες φορές έχουν κληρονομικό χαρακτήρα)
- Η στεφανιαία νόσος: διαπίστωση διαταραχών στην αιμάτωση του μυοκαρδίου (ισχαιμία) και ανίχνευση ουλής μετά από έμφραγμα του μυοκαρδίου (εκτίμηση βιωσιμότητας).
- Διάφορες βαλβιδοπάθειες (όταν δεν είναι ικανοποιητικές οι εικόνες και οι μετρήσεις από τον υπέρηχο καρδιάς)
- Οι παθήσεις του περικαρδίου (υποτροπιάζουσα φλεγμονή του περικαρδίου-περικαρδίτιδα, πάχυνση του περικαρδίου-συμφοριτική περικαρδίτιδα)

- Οι όγκοι της καρδιάς (πχ. μύζωμα) και η αντιδιαστολή τους από τη παρουσία θρόμβου στις καρδιακές κοιλότητες
- Οι συγγενείς καρδιοπάθειες (ανωμαλίες της διάπλασης της καρδιάς που συχνά χρήζουν απεικονιστικής μελέτης τόσο πριν όσο και μετά από τυχόν χειρουργική διόρθωση)
- Η διάγνωση και παρακολούθηση ανευρυσμάτων και διαχωρισμού της αορτής
- Η διερεύνηση της αιτίας καρδιακών αρρυθμιών, και η εκτίμηση της ανατομίας των πνευμονικών φλεβών πριν από επέμβαση κατάλυσης κολπικής μαρμαρυγής
- Η εκτίμηση της καρδιακής δομής και λειτουργίας (μεγάλη είναι η βοήθειά της μαγνητικής στη μελέτη τόσο της αριστερής όσο και της δεξιάς κοιλίας της καρδιάς ειδικά όταν δεν είναι ικανοποιητικές οι πληροφορίες που παίρνουμε από τον υπέρηχο)

Ένας αρκετά μεγάλος αριθμός από αυτούς τους ασθενείς θα χρειαστούν μαγνητική καρδιάς μετά την εμφύτευση της συσκευής

Ωστόσο, η παρουσία μιας εμφυτεύσιμης συσκευής σε αυτούς τους ασθενείς αντιμετωπίζονται ως σχετική αντένδειξη για μαγνητική καρδιάς λόγω των παρακάτω κινδύνων:

- θέρμανση των καλωδίων.
- ηλεκτρομαγνητικός παρεμβολή της συσκευής, η οποία οδηγεί σε εκφορτίσεις ή αλλαγές προγραμματισμού.
- Αποτυχία βηματοδότησης σε βηματοεξαρτώμενους ασθενείς .

Επομένως, είναι σημαντικό να κατανοήσουμε την ασφάλεια των ιατροτεχνολογικών προϊόντων σε περιβάλλον μαγνήτη. Ένα αντικείμενο που είναι ασφαλές για μαγνητική τομογραφία ορίζεται ως αντικείμενο που δεν ενέχει κανένα κίνδυνο σε οποιοδήποτε περιβάλλον μαγνητικής τομογραφίας

Τα ζωτικά σημεία των ασθενών, όπως κορεσμός οξυγόνου, αρτηριακή πίεση, και τα ευρήματα του ΗΚΓ παρακολουθούνται συνεχώς κατά τη σάρωση όπως παρακολουθούνται και μετά τη σάρωση μέχρι να υπάρξει επιστροφή στις αρχικές ρυθμίσεις ή σε μια σταθερή κατάσταση που δεν δικαιολογεί παρακολούθηση από

νοσηλευτή ή άλλο επαγγελματία υγείας πιστοποιημένο για προχωρημένη καρδιακή υποστήριξη της ζωής. Αφού γίνει η μαγνητική τομογραφία, η συσκευή εξετάζεται ξανά και επαναπρογραμματίζεται στις αρχικές της ρυθμίσεις .

Ο επανέλεγχος προγραμματίζεται σε 1 εβδομάδα έως και 3 μήνες μετά την εξέταση.

Η ποιότητα απεικόνισης και η διαγνωστική αξία των εικόνων καθορίζεται από το θράποντα ακτινολόγο, ανάλογα με την συγκεκριμένη ερώτηση που έκανε ο παραπέμπων ιατρός. Λόγοι αδυναμίας απάντησης σε διαγνωστικές ερωτήσεις θα πρέπει να είναι τεκμηριωμένες. Οι ακτινολόγοι θα πρέπει να είναι εξοικειωμένοι με διαφορετικά σενάρια που δεν εξετάζονται να είναι αντενδείξεις με βάση τον ειδικό έγγραφο συναίνεσης καθώς και με αντενδείξεις που πρέπει να ληφθούν υπόψη ώστε να διασφαλιστεί η ασφαλής μαγνητική τομογραφία. Υπάρχουν πέντε σενάρια περιπτώσεων που δεν θεωρούνται πλέον αντένδειξη.

Το πρώτο σενάριο αφορά μια πρόσφατη εμφύτευση, η οποία ορίζεται να είναι οποιοδήποτε εμφυτεύσιμη συσκευή για μια περίοδο από 6 εβδομάδες έως 3 μήνες. Υπήρχαν μελέτες εκτίμησης κινδύνου που απέκλειαν ασθενείς με εμφυτεύσιμες συσκευές που είχαν εμφυτευθεί σε διάστημα λιγότερο των 6 εβδομάδων. Ωστόσο, οι Friedman et al. αξιολόγησαν το αποτέλεσμα της απεικόνισης σε οκτώ πρόσφατες εμφυτευμένες συσκευές σε σύγκριση με παλαιότερα εμφυτεύματα (μέση χρόνος εμφύτευσης, 1150 ημέρες) ως μέρος του Μητρώου MagnaSafe και δεν βρήκαν κανένα σημαντικό στοιχείο επιπλοκών. Τα ευρήματα της μελέτης από τον Friedman και τους συναδέλφους είναι καθησυχαστικά σε περιπτώσεις όπου υπάρχει επείγουσα ανάγκη εκτέλεσης απεικόνιση ασθενών με συσκευές που έχουν εμφυτευθεί για λιγότερο από 6 εβδομάδες. (18) Τα επόμενα δύο σενάρια περιπτώσεων αφορούν προσωρινές επικαρδιακές απαγωγές και ασθενείς με προσωρινή αποκόλληση. Οι επικαρδιακές απαγωγές είναι επίσης ασφαλείς ώστε να υποβληθούν σε μαγνητική τομογραφία. Μελέτες επίσης δεν έχουν δείξει καμία σημαντική κλινική επίπτωση σε ασθενείς με εμφυτεύσιμες συσκευές που υποβάλλονται σε σειριακή μαγνητική τομογραφία .

Το τέταρτο σενάριο περιλαμβάνει εξαρτώμενους από βηματοδότη ασθενείς, που θεωρούνται υψηλού κινδύνου για μαγνητική τομογραφία γιατί υπάρχει δυνατότητα για ακατάλληλη αναστολή του βηματοδότη καθώς επίσης και δραστηριότητα με επακόλουθη ασυστολία. Αν και αυτό εξακολουθεί να είναι μια σημαντική

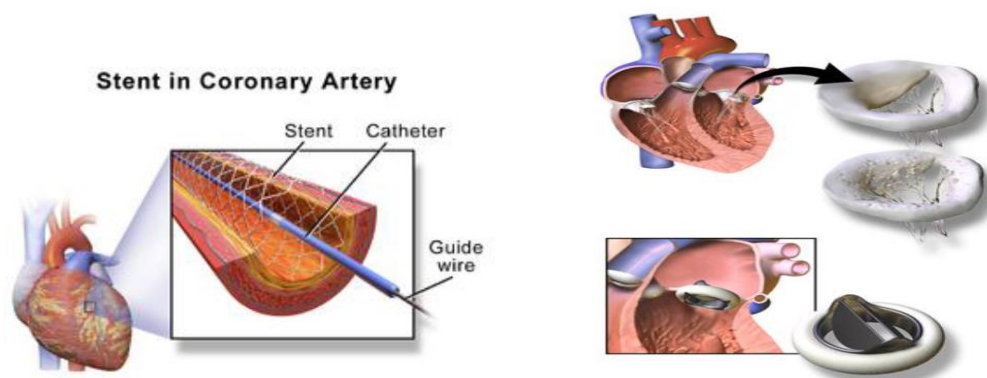
παράμετρος, υπάρχουν περιορισμένα δεδομένα σχετικά με την ασφαλή χρήση της μαγνητικής καρδιάς για ασθενείς που εξαρτώνται από βηματοδότη χωρίς επιπλοκές. Σύμφωνα με το έγγραφο συναίνεσης εμπειρογνομόνων της Rhythm Society, η μαγνητική καρδιάς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τέτοιους ασθενείς, αλλά υπάρχουν ειδικές κατευθυντήριες γραμμές για την παρακολούθηση και τη διαχείριση της συσκευής κατά τη διάρκεια και μετά την απεικόνιση αυτών. Για τη συσκευή υπό όρους στη μαγνητική τομογραφία το όριο του SAR αναφέρεται ξεκάθαρα στην απεικόνιση ποιες οδηγίες για τη συγκεκριμένη συσκευή θα πρέπει να ακολουθούνται. Αν και οι περισσότερες μελέτες περιορίζουν το SAR σε λιγότερο από 2,0 W/kg, ορισμένες μελέτες αφαίρεσαν πρόσφατα τον περιορισμό SAR από την ομάδα τους λόγω έλλειψης ενδείξεων βλάβης από υψηλότερο SAR. Συνήθως όμως, εξακολουθούμε να ακολουθούμε το όριο SAR των 2,0 W/kg για μαγνητική τομογραφία σε ασθενείς που φέρουν υπό όρους εμφυτεύσιμες συσκευές. Σύμφωνα με τη συναίνεση των εμπειρογνομόνων του HRS η μόνη πραγματική εναπομείνασα αντένδειξη είναι οι μόνιμα προσαρτημένες επικαρδιακές και εγκαταλειμμένες απαγωγές.

Ασθενείς με προσκολλημένες επικαρδιακές και εγκαταλειμμένες απαγωγές αποκλείστηκαν από την μαγνητική καρδιάς σχεδόν σε όλες τις μελέτες εκτός από μερικές μελέτες που δεν παρουσίασαν επιπλοκές (18). Υπάρχουν περιορισμένα δεδομένα για την ασφάλεια της μαγνητικής τομογραφίας για τους ασθενείς με χειρουργικά εμφυτευμένες μόνιμες επικαρδιακές απαγωγές και περιορισμένα δεδομένα για ασφαλή μαγνητική τομογραφία σε ασθενείς με εγκαταλελειμμένες απαγωγείς. Οι παραπάνω τομείς απαιτούν περαιτέρω έρευνα και συνδέονται με απεικόνιση ασθενών με εμφυτεύσιμες συσκευές. Ο πρώτος τύπος συσκευής σχετίζεται με απώλεια σήματος στην περιοχή γύρω από αυτή τη συσκευή ως αποτέλεσμα μη συντονισμού. Μια σειρά από τεχνικές μαγνητικής τομογραφίας έχουν αναπτυχθεί που ελαχιστοποιούν το μηδενισμό σήματος. Οι τεχνικές αυτές βελτιώνουν τη διαγνωστική αξία των αποκτηθέντων εικόνων. Ένα ζευγάρι από Τεχνικές μαγνητικής τομογραφίας που κέρδισαν πρόσφατα την προσοχή σε αυτή την κατηγορία περιλαμβάνουν πολλαπλή απόκτηση εικόνων μεταβλητού συντονισμού και κωδικοποίηση slice και τα δύο βασίζονται στην απεικόνιση **spin-echo**.

Τα σφάλματα κωδικοποίησης ελαχιστοποιούνται με τη λήψη μιας σειράς από φασματικά επικαλυπτόμενα 3D εξαγορές από τις οποίες μια πλήρης σύνθετη εικόνα περιλαμβάνει το εμφύτευμα .

Συνοψίζοντας η μαγνητική τομογραφία αποτελεί εξέταση πρότυπο για την αξιολόγηση της θέσης και της έκτασης του μυοκαρδιακού ουλώδους ιστού ως όργανο στόχο ιδιαίτερα όταν πρόκειται να προχωρήσουμε σε κατάλυση λόγω VT. Ωστόσο, ένα μεγάλο ποσοστό από αυτούς τους ασθενείς που έχουν εμφυτεύσιμες συσκευές, εγείρει ανησυχίες για την ασφάλεια των ασθενών αυτών με τις επακόλουθες επιπλοκές. Με βάση τις μελέτες στις οποίες αναφερθήκαμε , η χρήση της μαγνητικής τομογραφίας για ασθενείς με εμφυτεύσιμες συσκευές είναι ασφαλής για τους περισσότερους ασθενείς εφόσον υπάρχει πρωτόκολλο απεικόνισης και λαμβάνονται ορισμένες προφυλάξεις. Οι μελλοντικές μελέτες θα πρέπει να προσπαθήσουν να προχωρήσουν περαιτέρω στη μείωση των επιπλοκών που δεν μπορούν να εξαλειφθούν με τις ακολουθίες ευρείας ζώνης και να διερευνηθούν οι δυνατότητες των νέων τεχνικών μαγνητικής τομογραφίας στην απεικόνιση ασθενών με εμφυτεύσιμες συσκευές (π.χ. τεχνικές απόρριψης αρρυθμίας). Θα πρέπει επίσης να επικεντρωθεί η ανάπτυξη τεχνικών μαγνητικής τομογραφίας για ταχύτερη σάρωση που ελαχιστοποιεί τον ασθενή στην έκθεση στο περιβάλλον μαγνητικής τομογραφίας. Απαιτούνται περισσότερες προσπάθειες για τη μελέτη της διασταυρούμενης συμβατότητας διαφορετικής μαγνητικής τομογραφίας . Ακόμη με την εξέλιξη των συσκευών θα μπορούσε στο μέλλον και με τη χρήση τεχνητής νοημοσύνης να υπάρχουν αλγόριθμοι που θα επιτρέπουν την αυτόματη διαμόρφωση συσκευής, καθώς και ενεργοποίηση , παρακολούθηση και προγραμματισμός της συσκευής ενώ η ο ασθενής βρίσκεται στο σαρωτή .Τέλος, **πεδίων δόξης λαμπρό** η ανάπτυξη από την επιστήμη των υλικών συσκευών χωρίς μόλυβδο .Η ανάπτυξη τέτοιων υλικών θα προσφέρει μια διαφορετική προσέγγιση στην παρακολούθηση ασθενών .κατά τη σάρωση με μαγνητική τομογραφία και την απεικόνιση ασθενών με εμφυτεύσιμες συσκευές με χρήση υψηλότερου μαγνητικού πεδίου αντοχή (π.χ. 3 και 7 T).

ΚΑΡΔΙΑΚΕΣ ΒΑΛΒΙΔΕΣ-STENTS



<https://en.wikipedia.org/>

Οι ασθενείς που φέρουν προσθετικές βαλβίδες (μηχανικές ή βιοπροσθετικές) ή κάποιου είδους ενδοστεφανιαία πρόθεση (stent) ενδέχεται να χρειαστούν στη διάρκεια της ζωής τους να υποβληθούν σε μαγνητική τομογραφία που μπορεί να αφορά την ίδια την καρδιά ή οποιοδήποτε άλλο όργανο ή μέρος του σώματος τους. Συχνά οι ασθενείς αυτοί αποκλείονται από τη διενέργεια μαγνητικής τομογραφίας με την πρόφαση ότι φέρουν μεταλλικό εμφύτευμα που τους καθιστά ακατάλληλους για την «ασφαλή» διενέργεια της εξέτασης.

Στην ουσία όλες οι προσθετικές βαλβίδες, μεταλλικές και βιολογικές καθώς και όλες οι ενδοστεφανιαίες προθέσεις (coronary stents), είναι απόλυτα ασφαλείς για διενέργεια μαγνητικής τομογραφίας σε μαγνητικό πεδίο 1.5&3 Tesla.

Στην συντριπτική πλειοψηφία το ίδιο ισχύει και σε μεγαλύτερο μαγνητικό πεδίο των 3- Tesla, αν και για ορισμένες βαλβίδες εκκρεμεί ο σχετικός έλεγχος.

Ακόμη και στην περίπτωση που οι ασθενείς φέρουν πολύ παλιές μεταλλικές βαλβίδες, όπως οι Starr-Edwards μπάλας-κλωβού, είναι ασφαλείς για διενέργεια μαγνητικής τομογραφίας καρδιάς στα 1.5 Tesla, πολύ δε περισσότερο για απεικόνιση άλλου οργάνου ή μέρους του σώματός τους.

Η αλληλεπίδραση των μεταλλικών τμημάτων των βαλβίδων και των ενδοστεφανιαίων προθέσεων με το μαγνητικό πεδίο είναι ουσιαστικά μηδαμινή. Αρκεί να αναλογιστεί κανείς την πίεση που ασκείται στη βαλβίδα ή το stent από το ίδιο το μυοκάρδιο ή την ροή του αίματος.

Δεν έχουν αναφερθεί προβλήματα αυξημένης θερμότητας ή κάποιες άλλες επιπλοκές από τους παλμούς ραδιοσυχνότητας που εκπέμπονται κατά τη λήψη των εικόνων.

Σήμερα οι προσθετικές βαλβίδες και ενδοστεφανιαίες προθέσεις υποβάλλονται σε έλεγχο για την ασφάλεια τους σε μαγνητικό περιβάλλον 1.5-Tesla και πλέον και στα 3 -Tesla. Όταν υπάρχει αμφιβολία εάν μία συγκεκριμένη πρόθεση είναι ασφαλής για απεικόνιση με μαγνητική τομογραφία, υπάρχουν δύο επιλογές. Καταρχήν ο κατασκευαστής της βαλβίδας ή του stent αναφέρει στο φυλλάδιο οδηγιών κατά πόσον είναι ασφαλής, και υπό ποιές προϋποθέσεις, η διενέργεια μαγνητικής τομογραφίας (MRI labeling information) σε ασθενείς που φέρουν τη συγκεκριμένη βαλβιδική ρόθεση ή ενδοστεφανιαία πρόθεση. Μία άλλη επιλογή είναι να ανατρέξει ο ιατρός στο διαδίκτυο στο **www. mrisafety.com** όπου υπάρχουν διαθέσιμες πληροφορίες για όλα τα ιατρικά εμφυτεύματα / συσκευές. Συνεπώς κανένας ασθενής που φέρει προσθετική βαλβίδα ή ενδοστεφανιαία πρόθεση δεν πρέπει να απορρίπτεται από την απεικόνιση με μαγνητική τομογραφία στα 1.5-Tesla ως επί το πλείστον αλλά πλέον και στα 3-Tesla. Πρέπει να τονιστεί ότι δεν έχει αναφερθεί κανένα ανεπιθύμητο σύμβαμα σε ασθενή που έφερε προσθετική βαλβίδα ή ενδοστεφανιαία πρόθεση.

Η μαγνητική τομογραφία καθίσταται μία απόλυτα ασφαλής απεικονιστική τεχνική σε ασθενείς με προσθετικές καρδιακές βαλβίδες και ενδοστεφανιαίες προθέσεις. Η απεικόνιση είναι ασφαλής ακόμη και αμέσως μετά την τοποθέτηση / εμφύτευση αυτών των βαλβίδων – ενδοστεφανιαίων προθέσεων,1-2 ενώ ασφαλείς θεωρούνται όλες οι βαλβίδες που τοποθετούνται διαδερμικά όπως και το mitraclip.

Θεωρητικά ακόμη και όταν δεν υπάρχει σαφής οδηγία(MRI labeling information) για μία προσθετική βαλβίδα ή ενδοστεφανιαία πρόθεση, θεωρείται ασφαλής η απεικόνιση με μαγνητικό τομογράφο όταν ακολουθούνται οι παρακάτω κανόνες:

- Η μαγνητική τομογραφία θα λάβει χώρα σε τομογράφο 1.5 ή 3- Tesla
- Ρυθμός ειδικής απορρόφησης (specific absorption rate -SAR) 2-W/kg με τον τομογράφο σε normal operating mode
- Μέγιστη απεικόνιση ανά παλμική ακολουθία 15min (που πρακτικά επιτρέπει τη διενέργεια πολλαπλών ακολουθιών σε κάθε ασθενή).

Η ποιότητα των εικόνων σε ασθενείς με προσθετικές βαλβίδες που υποβάλλονται σε μαγνητική τομογραφία της ίδιας της καρδιάς μπορεί να επηρεαστεί δυσμενώς. (22)

Σε αντίθεση με ό,τι πιστεύουν οι περισσότεροι, δεν είναι δεδομένο ότι η ποιότητα της εικόνας είναι χειρότερη σε ασθενείς με μεταλλικές μηχανικές βαλβίδες σε σύγκριση με τις βιοπροσθετικές βαλβίδες.(21)

Την τελευταία δεκαετία, έγινε μελέτη και σε βιοαπορροφήσιμα stents, τα οποία έχουν και αυτά μεταλλικούς δείκτες. Λόγω των μεταλλικών υλικών, αυτά τα εμφυτεύματα μπορεί δυνητικά να παρουσιάσουν προβλήματα σε ασθενείς που υποβάλλονται σε μαγνητική τομογραφία. Ως εκ τούτου, ο στόχος αυτής της μελέτης ήταν να αξιολογήσει θέματα μαγνητικής τομογραφίας (δηλαδή, αλληλεπιδράσεις μαγνητικού πεδίου, θέρμανση που σχετίζεται με τη μαγνητική τομογραφία και τεχνουργήματα στα 3 T) για ένα νέο βιοαπορροφήσιμο ικρίωμα στεφανιαίας αρτηρίας με μεταλλικούς δείκτες. Χρησιμοποιήθηκε βιοαπορροφήσιμο ικρίωμα στεφανιαίας αρτηρίας (Mirage Microfiber Scaffold) και υποβλήθηκε σε αξιολογήσεις για αλληλεπιδράσεις μαγνητικού πεδίου, θέρμανση που σχετίζεται με τη μαγνητική τομογραφία και τεχνουργήματα στο 3-Tesla χρησιμοποιώντας τυπικές τεχνικές. Η θέρμανση που σχετίζεται με τη μαγνητική τομογραφία αξιολογήθηκε με το ικρίωμα τοποθετημένο σε φάντασμα γεμάτο με πηκτωματώδη φυσιολογικό ορό και πραγματοποιήθηκε μαγνητική τομογραφία σε ένα σύστημα μαγνητικής τομογραφίας που αναφέρθηκε, με μέσο όρο SAR για ολόκληρο το σώμα 2,9 W/kg για 15 λεπτά. Τα τεχνουργήματα χαρακτηρίστηκαν χρησιμοποιώντας T1-σταθμισμένη ηχώ περιστροφής και ηχώ διαβάθμισης, ακολουθίες παλμών. Αποτελέσματα: Δεν υπήρχαν αλληλεπιδράσεις μαγνητικού πεδίου. Η υψηλότερη άνοδος θερμοκρασίας ήταν 1,6°C (η υψηλότερη άνοδος θερμοκρασίας περιβάλλοντος, 1,6°C). Τα τεχνουργήματα ήταν σχετικά μικρά σε σχέση με το μέγεθος και το σχήμα αυτού του ικριώματος της στεφανιαίας αρτηρίας. Συγκεκριμένα, ο αυλός του ικριώματος μπορούσε να απεικονιστεί στην ακολουθία παλμών GRE. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το ικρίωμα της στεφανιαίας αρτηρίας είναι αποδεκτό για έναν ασθενή που υποβάλλεται σε διαδικασία MRI στα 3 T ή λιγότερο. Από όσο γνωρίζουμε, αυτό είναι το πρώτο βιοαπορροφήσιμο ικρίωμα στεφανιαίας αρτηρίας που έχει αξιολογηθεί για θέματα μαγνητικής τομογραφίας.(34)

Εκείνο που επηρεάζει την ποιότητα της απεικόνισης είναι το κατά πόσον ο μεταλλικός σκελετός της βαλβίδας ή του stents είναι φτιαγμένος από σιδηρομαγνητικά υλικά (ferromagnetic material). Υπάρχουν μηχανικές βαλβίδες που κατασκευάζονται με ελάχιστα υλικά σιδηρομαγνητικής προέλευσης και σχετίζονται με λιγότερα προβλήματα στην εικόνα (artifacts) από βιοπροσθετικές βαλβίδες με δακτυλίους έντονα σιδηρομαγνητικούς που προκαλούν μεγάλη τοπική παραμόρφωση. Σίγουρα την καλύτερη ποιότητα εικόνας έχουν οι stentless βιοπροσθετικές βαλβίδες. Πολύ πρόσφατα η Ευρωπαϊκή Εταιρεία Καρδιαγγειακής Απεικόνισης (EACVI) συμπεριλαμβάνει και τη μαγνητική τομογραφία καρδιάς στις τελευταίες κατευθυντήριες συστάσεις για την απεικονιστική εκτίμηση ασθενών με προσθετικές καρδιακές βαλβίδες, αναφέροντας ότι πρόκειται μία χρήσιμη διαγνωστική εξέταση με συνεχώς αυξανόμενο ρόλο (the use of CMR is not yet routine practice but is increasing). Είναι γεγονός ότι τα βιβλιογραφικά δεδομένα για τη κλινική χρησιμότητα της μαγνητικής τομογραφίας καρδιάς σε ασθενείς που εμφανίζουν δυσλειτουργία της προσθετικής βαλβίδας συνεχώς αυξάνονται, καταρρίπτοντας ταυτόχρονα τον μύθο ότι η μαγνητική τομογραφία δεν είναι ασφαλής σε αυτούς τους ασθενείς. Δεν προκύπτουν προβλήματα στην ποιότητα των εικόνων σε ασθενείς με ενδοστεφανιαίες προθέσεις, με εξαίρεση την απεικόνιση των ίδιων των στεφανιαίων αρτηριών, αλλά βέβαια η στεφανιαία αγγειογραφία δεν αποτελεί πεδίο ευρείας κλινικής εφαρμογής της μαγνητικής τομογραφίας.

Η Μαγνητική καρδιάς έχει συμπληρωματικό ρόλο στην αξιολόγηση της λειτουργίας των προσθετικών καρδιακών βαλβίδων (ΠΚΒ). Οι ΠΚΒ μπορούν να απεικονιστούν με ασφάλεια χρησιμοποιώντας μαγνήτες 1.5 και 3 T, οι οποίοι και χρησιμοποιούνται συχνότερα στην κλινική πράξη. Οι διάφορες τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην μαγνητική καρδιάς και οι εφαρμογές τους στην αξιολόγηση των προσθετικών βαλβίδων περιγράφονται λεπτομερώς στο παρακάτω σχήμα.

Cardiac Magnetic Resonance of Prosthetic Valves, Homografts & Conduits

1.5T and 3T both suitable

Anatomy & Flow visualization	Quantification Flow/Velocity	3D anatomy	Fibrosis
SSFP - Standard cine - Multiple planes – Ventricles and valves - Quantify chamber volumes - Assess leaflet motion/thickening in bioprosthetic valves and conduits - Valvular planimetry - Challenging with large signal void PHV	2D Phase Contrast - Measure Flow and Velocity - Place 0.25 to 0.44 mm downstream from PHV - May be challenging in MV/TV due to through plane motion; Indirect quantification using ventricular SV and Aortic/pulmonary flow may improve assessment in these situations 3D phase contrast may better characterise eccentric stenotic jets	3D MRA - Assessment of aorta and pulmonary arteries - Assessment of Conduit size and stenosis	Tissue Characterization - Assessment of myocardial fibrosis - Evaluation for conduit fibrosis/inflammation
Gradient Echo - Decreases flow artifact - Multiple planes - Challenging with large signal void PHV	4D Phase Contrast - Measure Flow and Velocity in 3 planes simultaneous of entire heart and vasculature - Flow visualization, Flow quantification, and advance hemodynamics - Feasible in low signal void PHV		
Spin Echo - Still images only - Multiple planes - Not affected by signal void of PHV			

Journal of the American Society of Echocardiography
Volume 37 Number 1

Η παρουσία στένωσης ή παλινδρόμησης της προσθετικής βαλβίδας μπορεί να αναγνωριστεί, ωστόσο η τεχνική steady-state free precession (SSFP) ακολουθιών είναι επιρρεπής σε τεχνουργήματα (artifacts) και είναι λιγότερο ευαίσθητες στη ροή. Οι ακολουθίες ηχούς ταχείας κλίσης (spin-echo sequences) μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση των artifacts που σχετίζονται με τη ροή, και οι ακολουθίες spin-echo μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μείωση των αυτών των ΠΚΒ.

Ο βαθμός των artifacts σχετίζεται με τον τύπο της βαλβίδας (δηλαδή, μηχανική έναντι βιοπροσθετικής, δίφυλλη έναντι μονόφυλλης, με στεντ έναντι χωρίς στεντ) και μπορεί να είναι μικρός ή σοβαρός, με το τελευταίο να αποκλείει τη διαγνωστική αξιολόγηση. Όταν υπάρχουν ελάχιστα artifacts. Η μαγνητική καρδιάς μπορεί να βοηθήσει στην οπτικοποίηση της έκτασης της κίνησης της βιοπροσθετικής βαλβίδας ή τυχόν μηχανικής απόφραξης, την πλανιμέτρηση του ανοίγματος της ΠΚΒ. Επίσης η συγκεκριμένη εξέταση είναι το πρότυπο αναφοράς για τον ποσοτικό προσδιορισμό της έκτασης και της σοβαρότητας της βαλβιδικής καρδιακής νόσου καθώς συμβάλλει και στην αναγνώριση της υπερβολικής κίνησης όταν υπάρχει αποκόλληση αυτής. (23)

Η μαγνητική καρδιάς είναι χρήσιμη για την αποκάλυψη στενωτικών βλαβών ή παραβαλβιδικών διαφυγών (phase-contrast τεχνική), αλλά και για τον ποσοτικό προσδιορισμό των μέγιστων ταχυτήτων/κλίσεων μέσω της ΠΚΒ. Αυτό ωστόσο συνήθως δεν είναι εφικτό για μηχανικές προθέσεις στη θέση της μιτροειδούς και της τριγλώχινας λόγω παρουσίας τεχνουργημάτων, όπως επίσης και για βιοπροσθετικές βαλβίδες. Αν και η δυσδιάστατη απεικόνιση φάσης αντίθεσης με κωδικοποίηση

φάσης σε δύο κατευθύνσεις (2D phase contrast imaging with phase encoding in two directions) θεωρείται το πρότυπο αναφοράς, η δυσδιάστατη απεικόνιση φάσης αντίθεσης με κωδικοποίηση τριών κατευθύνσεων και τώρα οι προσεγγίσεις 4D είναι σε κοινή χρήση, αφαιρώντας τον αντίκτυπο της γωνίωσης πεδίου (plane angulation) στην ακρίβεια της μεθόδου.(27) Οι αλληλουχίες παλμών που χρησιμοποιούνται σε ασθενείς με εμφυτεύσιμες ηλεκτρονικές καρδιακές συσκευές είναι οι ίδιες. Για την αξιολόγηση της βαλβιδικής ή παραβαλβιδικής διαφυγής, η μαγνητική καρδιάς μπορεί να παράσχει ποσοτικοποίηση του συνολικού όγκου παλμού, του όγκου παλινδρόμησης και του κλάσματος παλινδρόμησης για ΠΚΒ στη θέση της αορτικής και πνευμονικής βαλβίδας. Η θέση της γεννήτριας μπορεί να επηρεάσει τις μετρήσεις της ρίζας της αορτής, της ανιούσας αορτής, του άπω τμήματος της πνευμονικής και των κλάδων της. Ωστόσο, οι μετρήσεις στο επίπεδο των καρδιακών βαλβίδων συνήθως δεν επηρεάζονται. Τα διαφλέβια ηλεκτρόδια που διέρχονται από το επίπεδο της τριγλώχινας βαλβίδας επηρεάζουν τις μετρήσεις της ροής δια της τριγλώχινας αλλά και την εκτίμηση της μέγιστης ταχύτητας ροής δια της βαλβίδας. Η αιματική ροή μεταξύ των αναστομών, ανώμαλων πνευμονικών φλεβών, και άλλων συνδέσεων μπορεί να ποσοτικοποιηθεί υπό την προϋπόθεση ότι η γεννήτρια ή τα τεχνουργήματα από τα ηλεκτρόδια δεν οδηγούν σε απώλεια σήματος στην περιοχή ενδιαφέροντος (24)

Για τη μιτροειδή και την τριγλώχινα βαλβίδα, απαιτείται μια έμμεση προσέγγιση που χρησιμοποιεί συνδυασμό του όγκου παλμού και εικόνων που λαμβάνονται στις θέσεις της αορτικής ή της πνευμονικής βαλβίδας. Η ποιότητα των εικόνων στις εξετάσεις μαγνητική καρδιάς ποικίλει ανάλογα με το υλικό της βαλβιδικής πρόθεσης, αλλά σε κέντρα με ανάλογη εμπειρία παραμένει διαγνωστική.

ΕΜΦΥΤΕΥΣΙΜΟ HOLTER ΡΥΘΜΟΥ(ILR Implantable Loop Recorder)

Το **εμφυτεύσιμο Holter** είναι μία πολύ μικρή συσκευή καταγραφής ρυθμού, μεγάλης χρονικής διάρκειας (2-3 χρόνια), με μέγεθος περίπου όσο ένα USB Stick.



In.gr

Η διαδικασία εμφύτευσης είναι απλή και μπορεί να πραγματοποιηθεί ακόμα και σε απλό θάλαμο νοσηλείας αρκεί βέβαια να πληρούνται οι συνθήκες αντισηψίας. Η συσκευή τοποθετείται κάτω από το δέρμα, στο στήθος, κοντά στην καρδιά ώστε να καταγράφει την καρδιακή δραστηριότητα. Οι συσκευές αυτές είναι συμβατές με τη διενέργεια μαγνητικής τομογραφίας (MRI) και δεν επηρεάζουν οποιαδήποτε άλλη διαγνωστική ή θεραπευτική δοκιμασία χρειαστεί.(25)



Εικόνα από προσωπικό αρχείο (kit εμφύτευσης)

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Υπάρχει ένας συνεχώς αυξανόμενος πληθυσμός που απολαμβάνει τη ζωή χάρη στις εμφυτεύσιμες συσκευές. Παρόλα αυτά, πολλοί από αυτούς μπορεί να χρειαστούν εξέταση μαγνητικής τομογραφίας κατά τη διάρκεια της ζωής τους. Η εξέταση μαγνητικής τομογραφίας, , αποτελεί το χρυσό διαγνωστικό εργαλείο, ειδικά για απεικόνιση μαλακών ιστών για πολλές ειδικότητες. Για να έχουν τη δυνατότητα όλοι οι ασθενείς με εμφυτεύσιμες συσκευές για την πραγματοποίηση αυτής της εξέτασης, η βιοιατρική τεχνολογία εργάζεται σκληρά για να βελτιώσει τις υπάρχουσες συσκευές που είναι μέχρι τώρα συμβατές(υπό όρους) με μαγνητική τομογραφία. Πολλές μελέτες αναφέρουν πολύτιμες και σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τις επιπτώσεις του περιβάλλοντος του μαγνήτη σε εμφυτεύσιμες συσκευές με διαφορετικές ρυθμίσεις σάρωσης και προγραμματισμού των συσκευών, αλλά οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ περιβάλλοντος μαγνήτη και εμφυτεύσιμων συσκευών δεν έχουν έχει ακόμη αξιολογηθεί πλήρως. Ως αποτέλεσμα επιστημονικών μελετών, η Ευρωπαϊκή Καρδιολογική Εταιρεία αναφέρει προτάσεις για τις συσκευές που προγραμματίζονται όταν απαιτείται μαγνητική τομογραφία. Όταν η εμφυτευμένη συσκευή επισημαίνεται ως ασφαλής (υπό όρους)στη μαγνητική τομογραφία, ο χειριστής ενημερώνεται μέσω των οδηγιών χρήσης του εμφυτεύματος σχετικά με την ασφάλεια και τις πιθανές συνθήκες που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τη σάρωση. Στις αρχές του 2013, το πρώτο σύστημα καρδιακής συσκευής(βηματοδότης) υπό όρους σε περιβάλλον μαγνητικής τομογραφίας 1,5 T εγκρίθηκε από τον FDA. Ο σχολιασμός ειδικών ήταν ο εξής:

«Η μαγνητική τομογραφία είναι αναμφίβολα το σύγχρονο» διαγνωστικό εργαλείο για ανίχνευση και διάγνωση ανωμαλιών και ασθενειών στους μαλακούς ιστούς. Οι εμφυτεύσιμες συσκευές έχουν αποδείξει την αποτελεσματικότητά τους αντικειμενικά όσον αφορά παραμέτρους που περιλαμβάνουν την ποιότητα ζωής του ασθενούς, τη νοσηρότητα και θνησιμότητα».

Η τεχνολογία των εμφυτεύσιμων συσκευών συνεχίζει να βελτιώνεται σημαντικά για να προσφέρει στους ασθενείς τα πλεονεκτήματα και των δύο τεχνολογιών. Με την κυκλοφορία της πρώτης μαγνητικής τομογραφίας υπό όρους με σήμανση FDA, ήδη περισσότεροι ασθενείς έχουν πρόσβαση στις διαγνωστικές δυνατότητες της μαγνητικής τομογραφίας. Η πρόοδος στην τεχνολογία των εμφυτεύσιμων συσκευών-συνεχίζει να βελτιώνει την ποιότητα ζωής για όλους τους ασθενείς, επιτρέποντάς μας

να διαγνώσουμε και να τα αντιμετωπίσουμε τα προβλήματα πιο αποτελεσματικά από ποτέ. Είμαστε βέβαιοι ότι ο ανταγωνισμός μεταξύ των κατασκευαστών θα φέρει πιο εντυπωσιακά αποτελέσματα στο εγγύς μέλλον, με απώτερο στόχο της δημιουργία συσκευών ασφαλών σε περιβάλλον μαγνητικής τομογραφίας χωρίς όρους και περιορισμούς. Η τεχνολογία προχωρά τώρα πιο γρήγορα από ποτέ. Στα επόμενα χρόνια, περιμένουμε από τα συστήματα μαγνητικής τομογραφίας προόδους σε τομογραφίες με υψηλότερη ένταση πεδίου, ή στην κλίση, το RF και το ψηφιακό σύστημα. Αναμένουμε επίσης ταχεία πρόοδο στα συστήματα των συσκευών. Το μέλλον ξεκινά τώρα με τη νέα γενιά συσκευών που θα οδηγεί χωρίς περιορισμούς τοποθέτησης στην ασφαλή σάρωση τουλάχιστον στο 1,5 T. Το ζήτημα του κόστους αυτής της τεχνολογίας τίθεται ιδιαίτερα σε χώρες που βρίσκονται σε ύφεση. Ωστόσο, ο στόχος πρέπει να είναι: « Όλοι οι ασθενείς να έχουν την ευκαιρία και τη δυνατότητα να απολαύσουν την ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ.

Η τεχνητή νοημοσύνη από τη μια και η εξέλιξη στην επιστήμη των υλικών θα καταστήσουν την χωρίς όρους υποβολή σε μαγνητική τομογραφία όλων των ασθενών με εμφυτεύσιμες συσκευές στις οποίες μέχρι σήμερα υπάρχει είτε απαγόρευση είτε υπό όρους δυνατότητα.

Βιβλιογραφία

1. Mond HG, Proclemer A. The 11th world survey of cardiac pacing and implantable cardioverter-defibrillators: calendar year 2009—a World Society of Arrhythmia's project. *Pacing Clin Electrophysiol* 2011; 34: 10131027.
2. Smith T, Jordaens L, Theuns DA, et al. The cost-effectiveness of primary prophylactic implantable defibrillator therapy in patients with ischaemic or non-ischaemic heart disease: a European analysis. *Eur Heart J*.2013; 34: 211–219.
- 3.<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B1%CE%B3%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%B9%>
4. *J Cardiovasc Electrophysiol*, (Τόμος 24, σελ. 1059-1065, Σεπτέμβριος 2013)
5. Nazarian S, Hansford R, Roguin A et al (2011) A prospective evaluation of a protocol for magnetic resonance imaging of patients with implanted cardiac devices. *Ann Intern Med* 155(7):415–424 with implanted cardiac devices. *Ann Intern Med* 155(7):415–424
6. Mattei E, Triventi M, Calcagnini G, Censi F, Kainz W, Mendoza G, et al. Complexity of MRI induced heating on metallic leads: experimental measurements of 374 configurations. *Biomed Eng Online* 2008;7:11.
7. Chow GV, Nazarian S (2014 May) MRI for patients with cardiac implantable electrical devices. *Cardiol Clin* 32(2):299–304
8. Nazarian S, Halperin HR. How to perform magnetic resonance imaging on patients with implantable cardiac arrhythmia devices *Heart Rhythm* 2009 6: 138-143
9. Russo RJ, Costa HS, Silva PD et al (2017) Assessing the risks associated with MRI in patients with a pacemaker or defibrillator. *N Engl J Med* 376(8):755–764
10. Moss AJ, Kutiyfa V (2015) Safe MRI in patients with an upgraded (conditional) implantable cardioverter-defibrillator: the beneficial tip of a troublesome iceberg*. *J Am Coll Cardiol* 65(24):2589–2590

11. Langman DA et al (2011) Pacemaker lead tip heating in abandoned and pacemaker-attached leads at 1.5 tesla MRI. *J Magn Reson Imaging* 33:426–431
12. Σκεύος Σιδεράς Καρδιαγγειακές εμφυτεύσιμες συσκευές Αθήνα 2020 σελ101
13. Levine GN, Gomes AS, Arai AE, Bluemke DA, Flamm SD, Kanal E, et al. Safety of magnetic resonance imaging in patients with cardiovascular devices: an American Heart Association scientific statement from the Committee on Diagnostic and Interventional Cardiac Catheterization, Council on Clinical Cardiology and the Council on Cardiovascular Radiology and Intervention: endorsed by the American College of Cardiology Foundation, the North American Society for Cardiac Imaging, and the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance. *Circulation* 2007;116(24):2878–91.
14. GimpelJR The safety of MRI scanning of pacemaker and ICDs: What are the critical elements of safe scanning? Ask me again at 10.000.Europace 2010 12: 915-917
15. Langman DA, Goldberg IB, Finn JP, Ennis DB. Pacemaker lead tip heating in abandoned and pacemaker-attached leads at 1.5 Tesla MRI. *J. Magn. Reson. Imaging* 2011;33(2):426–31.
16. Europe mentronic.com
17. Savouré A, Mechulan A, Burban M, Olivier A, Lazarus A (2015) imaging. *Clin Med Insights Cardiol* 9:85–90
18. Friedman HL, Acker N, Dalzell C, et al. Magnetic resonance imaging in patients with recently implanted pacemakers. *Pacing Clin Electrophysiol* 2013; 36:1090–1095
- 19 . Horwood L, Attili A, Luba F, et al. Magnetic resonance imaging in patients with cardiac implanted electronic devices: focus on contraindications to 2017; 19:812–817
20. Karamitsos TD, Myerson SG. The role of cardiovascular magnetic resonance in the evaluation of valve disease. *Prog Cardiovasc Dis.* 2011;54:276-86.
21. Sucha D, Symersky P, Tanis W, et al. Multimodality Imaging Assessment of Prosthetic Heart Valves. *Circ Cardiovasc Imaging.* 2015;8:e003703.

22. Ribeiro HB, Orwat S, Hayek SS, et al. Cardiovascular Magnetic Resonance to Evaluate Aortic Regurgitation After Transcatheter Aortic Valve Replacement. *J Am Coll Cardiol*. 2016;68:577-85.
23. Burstow DJ, Nishimura RA, Bailey KR, et al. Continuous wave Doppler echocardiographic measurement of prosthetic valve gradients: a simultaneous Doppler-catheter correlative study. *Circulation* 1989;80:504-14
24. Suh YJ, Im DJ, Hong YJ, et al. Absolute-delay multiphase reconstruction reduces prosthetic valve-related and atrial fibrillation-related artifacts at cardiac CT. *AJR Am J Roentgenol* 2017;208:W160-7
25. cardiacrhythm.gr
26. biotronic.com/en-int/patients/mri-scans
27. Burstow DJ, Nishimura RA, Bailey KR, et al. Continuous wave Doppler echocardiographic measurement of prosthetic valve gradients: a simultaneous Doppler-catheter correlative study. *Circulation* 1989;80:504-14
28. radiologycommunity.gr/2019/07/42.ht
29. Han D, Kang SH, Cho Y, Oh IY. Experiences of magnetic resonance imaging scanning in patients with pacemakers or implantable cardioverter-defibrillators *Korean J Intern Med (Korean Assoc Intern Med)* 2019; 34:99–107
30. Nyotowidjojo IS, Skinner K, Shah AS, et al. Thoracic versus nonthoracic MR imaging for patients with an MR nonconditional cardiac implantable electronic device. *Pacing Clin Electrophysiol* 2018; 41:589–596
31. Celentano E, Caccavo V, Santamaria M, et al. Access to magnetic resonance imaging of patients with magnetic resonance-conditional pacemaker and implantable cardioverter-defibrillator systems: results from the Really ProMRI study. *Europace* 2018; 20:1001–1009
32. Cavallo JJ, Zhang Y, Staib LH, Lampert R, Weinreb JC. Disparities in care among patients with cardiac implantable electronic devices undergoing MRI. *J Am Coll Radiol* 2017; 14:1566–1571 Downloaded from

33. Russo RJ, Costa HS, Silva PD, et al. Assessing the risks associated with MRI in patients with a pacemaker or defibrillator. *N Engl J Med* 2017; 376:755–764
34. Frank G Shellock , Cristen J Giangarra 014 Feb;32(2):163-7. doi: 10.1016/j.mri.2013.10.009. Epub 2013 Oct 18.

