

Ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές σε καρδιακές εμφυτεύσιμες ηλεκτρονικές συσκευές

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ,
ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΦΡΑΓΚΑΚΗΣ

Γ' Καρδιολογική Κλινική ΑΠΘ,
Ιπποκράτειο Γενικό Νοσοκομείο Θεσσαλονίκης

Λέξεις ευρετηρίου

Ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή, καρδιακή εμφυτεύσιμη ηλεκτρονική συσκευή, βηματοδότης, απινιδωτής.

Επικοινωνία

Νικόλαος Φραγκάκης
Αναπληρωτής Καθηγητής Καρδιολογίας ΑΠΘ,
Γ' Καρδιολογική Κλινική ΑΠΘ,
Ιπποκράτειο Νοσοκομείο Θεσσαλονίκης

Κωνσταντινουπόλεως 49, 54642, Θεσσαλονίκη
E-mail: fragakis.nikos@googlegmail.com

Η επίδραση των ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών στις καρδιακές εμφυτεύσιμες ηλεκτρονικές συσκευές αποτελεί ένα κλινικό πρόβλημα που απασχολεί τόσο τους ιατρούς όσο και τους ασθενείς. Η παρούσα ανασκόπηση παρουσιάζει τις πηγές ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών, τη συμπεριφορά των καρδιακών συσκευών σε αυτές καθώς και τον τρόπο παρέμβασης για την αποφυγή των επιπτώσεων από την αλληλεπίδρασή τους.

Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μία θεαματική αύξηση της χρήσης τόσο των καρδιακών εμφυτεύσιμων ηλεκτρονικών συσκευών (ΚΕΗΣ) (βηματοδότες, απινιδωτές και υποδόριοι εμφυτεύσιμοι καταγραφείς καρδιακού ρυθμού) όσο και τεχνολογικών συσκευών που εκλύουν ηλεκτρομαγνητική ενέργεια και μπορούν να προκαλέσουν ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή (ΗΜΠ).¹ ΗΜΠ θεωρείται η παρεμπόδιση της φυσιολογικής λειτουργίας μιας ηλεκτρονικής συσκευής λόγω της παρουσίας ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, το οποίο δημιουργείται από παρακείμενη συσκευή. Στην πράξη, αναφέρεται σε απρόσφορη (inappropriate) απάντηση της ΚΕΗΣ σε ηλεκτρομαγνητικά σήματα, που οδηγεί σε αναστολή (inhibition), τροποποίηση (modification) ή μη κατάλληλη (inappropriate) απάντηση στην αίσθηση ή/και στη χορήγηση θεραπείας.² Οι τεχνολογικές εξελίξεις στην κατασκευή των ΚΕΗΣ τόσο με την εφαρμογή ερμπτικής θωράκισης, όσο και τη χρήση προηγμένου λογισμικού με κυκλώματα απόρριψης παρεμβολών, βελτιωμένο φίλτράρισμα σημάτων και επιλογή σχεδόν αποκλειστικά διπολικής αίσθησης, έχουν προσδώσει αξιόπιστη προστασία στις σύγχρονες συσκευές έναντι των συνήθων ΗΜΠ.³ Παρόλα αυτά, οι ΗΜΠ συνιστούν ένα πρόβλημα, το οποίο οι καρδιολόγοι καλούνται συχνά να ανιχνεύσουν και να επιλύσουν στην καθημερινή κλινική πρακτική.

Πηγές ΗΜΠ

- **Ανάλογα με τον τύπο και το φάσμα συχνοτήτων της εκλυόμενης ενέργειας, οι πηγές ΗΜΠ ταξινομούνται σε:**
 1. ηλεκτρομαγνητικά πεδία
 2. ιονίζουσα ακτινοβολία και
 3. ακουστική ακτινοβολία.

Ηλεκτρομαγνητικά πεδία:

Ταξινομούνται ανάλογα με τη συχνότητα και το μήκος κύκλου τους στο φάσμα των ραδιοσυχνοτήτων.⁴ Απαντώνται ευρέως στο σύγχρονο καθημερινό περιβάλλον, συνθηθέστερα λόγω παρουσίας μιας συσκευής τηλεπικοινωνίας (π.χ. κινητό τηλέφωνο) ή ηλεκτρισμού (τροφοδοτικές γραμμές υψηλής τάσης) και αποτελούν το συχνότερο αίτιο ΗΜΠ.

Ιονίζουσα ακτινοβολία:

Προέρχεται τόσο από πηγές του φυσικού περιβάλλοντος όσο και από ιατρικό εξοπλισμό, όπως διαγνωστικές ακτινολογικές συσκευές, αξονικοί τομογράφοι και στα πλαίσια ακτινοθεραπείας. Αν και σπάνια, μπορεί να προκαλέσει δυσλειτουργία της γεννήτριας της ΚΕΗΣ ως αποτέλεσμα βλάβης των συμπληρωματικών κυκλωμάτων ημιαγωγού οξειδίου μετάλλου, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε επαναπρογραμματισμό της συσκευής και απρόσφορη ενεργοποίηση ή αναστολή της λειτουργίας της.⁵ Έτσι, απαιτείται προσεκτική παρακολούθηση των ασθενών που υποβάλλονται σε παρατεταμένη έκθεση σε ακτινοθεραπεία (>80 cGy).⁶

Ακουστική ακτινοβολία:

Σε περίπτωση που εφαρμόζεται απευθείας σε μια ΚΕΗΣ μπορεί να προκαλέσει βλάβη στα ηλεκτρονικά κυκλώματα. Πηγές ακουστικής ακτινοβολίας στο ιατρικό περιβάλλον είναι η επέμβαση εξωτερικής λιθοτριψίας και η διαδερμική ηλεκτρική νευρική διέγερση (TENS).

- **Ανάλογα με το περιβάλλον στο οποίο παρουσιάζονται, οι ΗΜΠ ταξινομούνται σε:**
 1. Προερχόμενες από πηγές του καθημερινού οικιακού
 2. του εργασιακού - βιομηχανικού και
 3. του ιατρικού περιβάλλοντος.

Πηγές ΗΜΠ στο καθημερινό-οικιακό περιβάλλον:

Πλήθος πηγών στο καθημερινό και οικιακό περιβάλλον μπορεί να προκαλέσουν ΗΜΠ με συνέπεια την ενδεχόμενη δυσλειτουργία ή/και αναστολή της λειτουργίας της ΚΕΗΣ. Μεταξύ αυτών, τα κινητά τηλέφωνα και τα συστήματα ηλεκτρονικής επιτήρησης αντικειμένων έχουν συγκεντρώσει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, εγείροντας κατά καιρούς θέματα δημόσιας υγείας. Παρ' όλα αυτά, η εμφάνιση κλινικά σημαντικής ΗΜΠ είναι εξαιρετικά σπάνια. Γενικά όμως, συστήνεται η ανάγνωση των προειδοποιητικών οδηγιών του κατασκευαστή της ΚΕΗΣ από τους ασθενείς πριν τη χρήση ηλεκτρικών συσκευών καθώς και η επικοινωνία με τον ιατρό τους.

Οικιακός ηλεκτρικός εξοπλισμός

Οι περισσότερες οικιακές ηλεκτρικές συσκευές είναι ασφαλείς και γενικά θέτουν σε ελάχιστο κίνδυνο τα άτομα με ΚΕΗΣ, εφόσον συντηρούνται σωστά και βρίσκονται σε καλή κατάσταση λειτουργίας. Βιβλιογραφικά, έχουν αναφερθεί ΗΜΠ κατά τη διάρκεια λειτουργίας ορισμένων ηλεκτρικών συσκευών που οδήγησαν σε απρόσφορες εκφορτίσεις απινιδωτών. Ως γενική σύσταση προτείνεται η τήρηση απόστασης τουλάχιστον 15 εκατοστών από την γεννήτρια της ΚΕΗΣ.

Φούρνος μικροκυμάτων

Οι σύγχρονες συσκευές δεν θεωρούνται πλέον σημαντική πηγή ΗΜΠ, λόγω επαρκούς εξωτερικής θωράκισης και ύπαρξης ασφάλειας διακοπής λειτουργίας όταν η πόρτα είναι ανοικτή.

Οικιακές ηλεκτρικές επαγωγικές εστίες

Αποτελούν πηγή πρόκλησης ΗΜΠ, κυρίως όταν οι ασθενείς βρίσκονται πολύ κοντά στην εστία και αν το μαγειρικό σκεύος δεν βρίσκεται ευθυγραμμισμένο με το επαγωγικό πηνίο. Θα πρέπει να διατηρείται απόσταση τουλάχιστον 30 εκατοστών μεταξύ της επαγωγικής εστίας και της ΚΕΗΣ. Περιπτώσεις διαρροής ρεύματος λόγω δυσλειτουργίας της ηλεκτρικής συσκευής, μπορεί να πυροδοτήσουν απρόσφορη θεραπεία με εκφόρτιση του απινιδωτή. Τα περισσότερα συμβάντα με οικιακές συσκευές έχουν προκληθεί λόγω ελλιπούς γείωσης, ειδικά σε επαφή της συσκευής με υγρό δέρμα.^{7,8}

Κινητά τηλέφωνα

Γενικά, η χρήση των σημερινών κινητών τηλεφώνων με διατήρηση απόστασης ασφαλείας (τουλάχιστον 15 εκατοστά) από την συσκευή δεν οδηγεί σε κλινικά σημαντική ΗΜΠ.⁹ Βασιζόμενοι σε παλαιότερες μελέτες, η μεγαλύτερη πιθανότητα ΗΜΠ εμφανίζεται όταν η συσκευή βρίσκεται σε άμεση επαφή με την ΚΕΗΣ.¹⁰ Ακόμη, κάποιες νέες τεχνολογίες που εφαρμόζονται στις σύγχρονες έξυπνες συσκευές-τηλέφωνα ενδεχομένως να εμφανίζουν αυξημένη πιθανότητα αλληλεπίδρασης με ΚΕΗΣ, όπως για παράδειγμα οι πρόσφατες αναφορές περιπτώσεων αναστολής λειτουργίας του απινιδωτών σε μία νέα σειρά κινητών τηλεφώνων, λόγω της παρουσίας ισχυρού κυκλικού μαγνήτη που χρησιμοποιεί για ασύρματη φόρτιση.¹¹ Τέλος, φαίνεται ότι η χρήση ακουστικών Bluetooth δεν επηρεάζει τη λειτουργία των ΚΕΗΣ.

Συνοπτικά, τρόποι αποφυγής ΗΜΠ κινητών τηλεφώνων με ΚΕΗΣ είναι: 1) σε περίπτωση ομιλίας, διατήρηση της συσκευής στην αντίθετη πλευρά/αυτή από εκείνη της εμφύτευσης, 2) η αποφυγή τοποθέτησης κινητού τηλεφώνου σε λειτουργία, σε τσέπη που βρίσκεται πάνω από την ΚΕΗΣ και 3) η διατήρηση ελάχιστης απόστασης 15 εκατοστών από την ΚΕΗΣ.^{12,13}

Έξυπνα ρολόγια (Smartwatches)

Η ένταση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου που προκαλείται από τη λειτουργία έξυπνων ρολογιών και των φορητών τους είναι εξαιρετικά χαμηλή, ενώ έχει βρεθεί ότι ο κίνδυνος εμφάνισης ΗΜΠ σε ΚΕΗΣ είναι ελάχιστος.^{14, 15} Συνεπώς, υποστηρίζεται η χρήση τους από άτομα που φέρουν ΚΕΗΣ, χωρίς περιορισμούς.

Ραδιοκύματα

Οι συσκευές ραδιοεπικοινωνίας ζώνης πολιτών [Citizen's band (CB) radios] και οι ερασιτεχνικές ραδιοεπικοινωνίες θέτουν σε ελάχιστο ή μηδενικό κίνδυνο τους βηματοδότες. Μπορούν όμως να επηρεάσουν τη λειτουργία των απινιδωτών ανάλογα με το εύρος έντασης λειτουργίας αυτών. Συσκευές που λειτουργούν σε ένταση < 3Watts (W), θα πρέπει να παραμένουν σε απόσταση τουλάχιστον 15 εκατοστών από τον απινιδωτή. Αν λειτουργούν στο εύρος 3-15 W, τουλάχιστον 30 εκατοστά από την ΚΕΗΣ, ενώ αν λειτουργούν στα 15-30 W η απόσταση ασφαλείας είναι τουλάχιστον 60 εκατοστά.

Μαγνήτες

Παρότι τα περισσότερα ηλεκτρομαγνητικά πεδία στο οικιακό περιβάλλον σπάνια επηρεάζουν τη λειτουργία των ΚΕΗΣ, αντικείμενα που τυχόν περιέχουν μαγνήτες συνιστάται να παραμένουν σε απόσταση (τουλάχιστον 15 εκατοστά) από τη συσκευή. Επίσης, θα πρέπει να αποφεύγεται θεραπεία που περιλαμβάνει τη χρήση μαγνητικών βραχιολιών ή περιδέριων κοντά στην ΚΕΗΣ, καθώς και η χρήση μυϊκών διεγερτών και ζυγαριών μέτρησης σωματικού λίπους (ηλεκτρικών και μαγνητικών). Ακόμη, συστήνεται η αποφυγή μαγνητικών στρωμάτων, καλυμμάτων στρώματος και μαξιλαριών, καθώς είναι δύσκολο να διατηρηθεί απόσταση 15 εκατοστών από τη συσκευή.

Ηλεκτρικά Συστήματα Ασφαλείας

Οι ανιχνευτές μετάλλου απαντώνται συχνά στο δημόσιο περιβάλλον, όπως αεροδρόμια, δικαστήρια και φυλακές, ως πύλες ανίχνευσης, ράβδοι χειρός ή σαρωτές απεικόνισης πλήρους σώματος. Χρησιμοποιούνται ως εναλλακτικά μέσα ελέγχου για την ανίχνευση μεταλλικών αντικειμένων, εκπέμποντας ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Αποτελούν ένα από τα συνθεότερα αίτια ανησυχίας για τους ασθενείς με ΚΕΗΣ. Μπορεί να προκαλέσουν παροδική ασύγχρονη βηματοδότηση για 1 ή 2 παλμούς.¹⁶ Γενικά όμως, μπορούν να χρησιμοποιούνται με ασφάλεια, καθώς δεν προκαλούν κλινικά σημαντικές αλληλεπιδράσεις με τις ΚΕΗΣ. Ο κυριότερος λόγος προειδοποίησης των ασθενών με ΚΕΗΣ για τους ανιχνευτές μετάλλου είναι ότι η συσκευή μπορεί να ενεργοποιήσει τον ανιχνευτή. Για να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος προσωρινών παρεμβολών στη συσκευή κατά τη διαδικασία ελέγχου ασφαλείας, συστήνεται το πέρασμα από τις πύλες ανίχνευσης περπατώντας με κανονικό ρυθμό. Θα πρέπει όμως να αποφεύγεται η άσκοπη παραμονή εντός ή πλησίον αυτών. Συστήνεται οι ασθενείς να ταξιδεύουν με την ταυτότητα της συσκευής και να την επιδεικνύουν στο προσωπικό ελέγχου του αεροδρομίου. Ακόμη, μπορούν να αιτούνται κατ' εξαίρεση έλεγχο με μεταλλικούς ανιχνευτές / ράβδους χειρός, οι οποίοι θα πρέπει να κρατούνται κοντά στην ΚΕΗΣ μόνο για το απαραίτητο χρονικό διάστημα ελέγχου.^{17, 18} Οι ηλεκτρονικοί αντικλεπτικοί ανιχνευτές που βρίσκονται στις εισόδους εμπορικών κέντρων, κυ-

βερνητικών κτιρίων και βιβλιοθηκών, εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητικά πεδία και αποτελούν μία ακόμη δυνητική αιτία ΗΜΠ. Το αργό πέρασμα μέσω του συστήματος δεν προκαλεί σημαντικές αλληλεπιδράσεις, όμως η παραμονή για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα εντός ή πλησίον του πεδίου του συστήματος μπορεί να οδηγήσει σε δυσλειτουργία της ΚΕΗΣ. Έχουν αναφερθεί δυσλειτουργίες που περιλαμβάνουν επαναπρογραμματισμό σε εναλλακτική κατάσταση λειτουργίας (backup mode) ή αναστροφή θορύβου (noise reversion), αναστολή λειτουργίας, ακόμη και χορήγηση απρόσφορης εκφόρτισης λόγω φαινομένου υπεραισθησίας (oversensing). Για το λόγο αυτό συστήνεται το πέρασμα μέσω των αντικλεπτικών συστημάτων με φυσιολογικό βάδισμα (δεν απαιτείται ταχύς βηματισμός ή τρέξιμο), θα πρέπει όμως να αποφεύγεται η αναίτια παραμονή εντός ή πλησίον της πύλης.¹⁹

Τείζερ

Η χρήση τείζερ θα πρέπει να αποφεύγεται σε άτομα με ΚΕΗΣ, καθώς μπορεί να προκαλέσει κλινικά σημαντικές ΗΜΠ, όπως υπεραίσθηση (oversensing) με συνέπεια την αναστολή βηματοδότησης ή την απρόσφορη εκφόρτιση απινιδωτή. Έχει επίσης αναφερθεί δυσλειτουργία της ΚΕΗΣ λόγω επαναφοράς σε αρχικές ρυθμίσεις (reset) ή ακόμη και πρόκληση κοιλιακής ταχυκαρδίας λόγω άμεσης επίδρασης της ηλεκτρικής ενέργειας που χορηγείται από τη συσκευή τείζερ στο μυοκάρδιο.²⁰

Πηγές ΗΜΠ στο εργασιακό- βιομηχανικό περιβάλλον:

Οι συνηθέστερες και σημαντικότερες πηγές αυτής της κατηγορίας είναι οι βιομηχανικές ηλεκτροσυγκολλητικές συσκευές που ξεπερνούν τα 500Α, οι συσκευές απομαγνητισμού (degaussing equipment) και οι επαγωγικοί φούρνοι.^{21,22}

Είναι σημαντική η ενημέρωση σχετικά με την εργασία του ασθενή, ώστε να συνυπολογισθεί η πιθανότητα για τυχόν επαγγελματική έκθεση σε ΗΜΠ, πριν από την εμφύτευση της ΚΕΗΣ. Σε περίπτωση που ο ασθενής εργάζεται σε περιβάλλον με αυξημένο κίνδυνο ΗΜΠ, ο χώρος εργασίας θα πρέπει να ελεγχθεί προσεκτικά. Αν ο ασθενής είναι βηματοδοεξαρτώμενος, ο εργα-

σιακός χώρος θα πρέπει να αξιολογηθεί με άμεση μέτρηση ΗΜΠ από κάποιον ειδικό. Αν ο ασθενής δεν είναι βηματοδοεξαρτώμενος, ο έλεγχος μπορεί να γίνει με φορητή συσκευή ηλεκτροκαρδιογραφικής καταγραφής (Holter ρυθμού). Η μέτρηση ΗΜΠ είναι επίσης σημαντική σε άτομα με εμφυτεύσιμο απινιδωτή αμέσως μετά την επιστροφή στην εργασία, ώστε να προληφθούν είτε επεισόδια απρόσφορης θεραπείας είτε αναστολής της αντιταχυκαρδιακής θεραπείας.

Ηλεκτροσυγκόλληση

Στην πράξη, οι περισσότεροι ασθενείς που ασχολούνται με ηλεκτροσυγκόλληση κάνουν χρήση μηχανημάτων χαμηλής ισχύος, στα πλαίσια εργασιακής ενασχόλησης και είναι πολύ σπάνιο να συμβούν ΗΜΠ σε χρήση μηχανημάτων με εύρος ισχύος 100–150 Α. Παρόλα αυτά, πριν την άδεια για επιστροφή στις προηγούμενες δραστηριότητες, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ο τύπος της συσκευής καθώς και ο βαθμός εξάρτησης του ασθενούς από το βηματοδότη. Γενικά, οι ασθενείς με ΚΕΗΣ θα πρέπει να ενημερώνονται να μην χρησιμοποιούν ηλεκτροσυγκόλληση τόξου, χωρίς να έχει προηγηθεί ακριβής εκτίμηση του περιβάλλοντος για ύπαρξη ΗΜΠ, ώστε να αποφευχθεί ο κίνδυνος δυσλειτουργίας και απρόσφορων εκφορτίσεων. Σε περίπτωση που είναι απαραίτητη η χρήση τέτοιων μηχανημάτων θα πρέπει να περιορίζεται η ένταση ρεύματος έως 160 Α, με τήρηση απόστασης τουλάχιστον 60 εκατοστά από τη συσκευή, σε ξηρό περιβάλλον με χρήση καλά γειωμένων συσκευών, καθώς και μονωτικών στεγνών γαντιών και υποδημάτων. Οι ποδιές ή τα γιλέκα δεν θωρακίζουν αποτελεσματικά τη συσκευή από την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια που παράγεται από τον εξοπλισμό ηλεκτροσυγκόλλησης. Συστήνεται η διατήρηση των καλωδίων ηλεκτροσυγκόλλησης σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους, χωρίς να αναδιπλώνονται και όσο το δυνατόν πιο μακριά από την καρδιακή συσκευή. Θα πρέπει να διατηρείται απόσταση τουλάχιστον 60 εκατοστών μεταξύ του τόξου ηλεκτροσυγκόλλησης και της συσκευής, με διατήρηση του σφιγκτήρα γείωσης στο μέταλλο όσο το δυνατόν πλησιέστερα στο σημείο ηλεκτροσυγκόλλησης. Ακόμη, συστήνεται να χορηγούνται μικρής διάρκειας διαλείπουσες εφαρμογές με

την ελάχιστη δυνατή ενέργεια, χωρίς σταθερό ρυθμό και με μεσοδιαστήματα 5-10 δευτερολέπτων μεταξύ των εφαρμογών. Αντίθετα, περιπτώσεις χορήγησης γρήγορων και ταχέως επαναλαμβανόμενων εφαρμογών μπορούν λανθασμένα να εκληφθούν από την ΚΕΗΣ ως φυσιολογική ηλεκτρική καρδιακή δραστηριότητα και να ανασταλεί η λειτουργία της συσκευής. Γενικά, συστήνεται η παράλληλη παρουσία και άλλων ατόμων στο περιβάλλον εργασίας, ενώ θα πρέπει να διακόπτεται άμεσα η ηλεκτροσυγκόλληση και να απομακρύνεται ο ασθενής από το χώρο αν αρχίσει να νιώθει τάση για λιποθυμία, ζάλη ή αν πιστεύει ότι ο απινιδωτής χορήγησε θεραπεία με εκφόρτιση.

Λοιπές πηγές ΗΜΠ σε εργασιακό περιβάλλον

Γενικά συστήνεται η τοποθέτηση ειδικών προειδοποιητικών σημάτων, σε περιβάλλον που υπάρχει ηλεκτρομαγνητικό πεδίο και κίνδυνος εμφάνισης ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών (Εικόνα 1).



Εικόνα 1. Ενδεικτικές προειδοποιητικές σημάνσεις παρουσίας ηλεκτρομαγνητικού πεδίου και κινδύνου εμφάνισης ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών.

Οι γραμμές παροχής υψηλής τάσης είναι πολύ σπάνιο να οδηγήσουν σε ΗΜΠ, εκτός από ακραίες περιπτώσεις, όπως σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας. Ακόμη υπάρχει κίνδυνος ΗΜΠ σε περίπτωση λειτουργίας της ΚΕΗΣ σε μονοπολική αίσθηση, οπότε μπορεί να υπάρξουν προβλήματα υπεραίσθησής ή υπαισθησίας, με συνέπεια την αναστολή βηματοδότησης ή την αλλαγή λειτουργίας της συσκευής σε 'αναστολή θορύβου' (noise-reversion mode).

Η χρήση αλυσοπρίονου παράγει ηλεκτρομαγνητική ενέργεια που είναι παρόμοια με εκείνη άλλων ηλεκτροκίνητων και βενζινοκίνητων εργαλείων. Για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου παρεμβολών θα πρέπει να ακολουθούνται οι απαραίτητες προφυλάξεις ασφαλείας, όπως η διατήρηση απόστασης 15 εκατοστών από το

μοτέρ ηλεκτρικού αλυσοπρίονου και 30 εκατοστών από το σύστημα ανάφλεξης βενζινοκίνητου αλυσοπρίονου. Επιπλέον, είναι απαραίτητη η διασφάλιση ότι ο εξοπλισμός φέρει κατάλληλη γείωση, ενώ συστήνεται να χρησιμοποιείται αλυσοπρίονο κατασκευασμένο με τον σπινθηριστή μακριά από τις χειρολαβές.

Η επιδιόρθωση αυτοκινήτων μπορεί να οδηγήσει σε ΗΜΠ. Δεν υπάρχει κίνδυνος όταν η μηχανή δεν είναι σε λειτουργία, αλλά η ΚΕΗΣ θα πρέπει να βρίσκεται σε απόσταση τουλάχιστον 30 εκατοστά από μηχανή σε λειτουργία ή σε άνοιγμα του διακόπτη ανάφλεξης. Επίσης ο ασθενής δεν θα πρέπει να αγγίζει το πηνίο, τον διανομέα ή τα καλώδια του σπινθηριστή ενός κινητήρα που βρίσκεται σε λειτουργία.

Πηγές ΗΜΠ στο ιατρικό περιβάλλον:

Διάφορες πηγές ΗΜΠ που μπορεί να αλληλεπιδρούν με ΚΕΗΣ έχουν περιγραφεί σε ιατρικό περιβάλλον, τόσο κατά τη διάρκεια κλινικών διαγνωστικών εξετάσεων όσο και σε θεραπευτικές επεμβάσεις.²³

Ιονίζουσα ακτινοβολία και ακτινοθεραπεία

Η χρήση διαγνωστικών ακτινολογικών εξετάσεων, όπως στεφανιογραφία, αγγειογραφία και βαριούχος υποκλυσμός δεν επηρεάζουν την ΚΕΗΣ. Η αξονική τομογραφία αποδείχθηκε ότι σπανίως μπορεί να προκαλέσει υπεραίσθησία της συσκευής.²⁴ Ο κίνδυνος όμως κλινικά σημαντικών ανεπιθύμητων συμβαμάτων είναι εξαιρετικά χαμηλός και η απεικονιστική αυτή τεχνική δεν θα πρέπει να απαγορεύεται σε περίπτωση παρουσίας ΚΕΗΣ. Η ακτινοθεραπεία γενικά δεν προκαλεί ΗΜΠ. Σπανίως όμως μπορεί να οδηγήσει σε δυσλειτουργία και καταστροφή συσκευών με απρόβλεπτο τρόπο.²⁵ Σε περίπτωση απινιδωτών, μπορεί να προκληθεί απρόσφορη εκφόρτιση ή επαναφορά σε αρχικές ρυθμίσεις (reset) της συσκευής, με αποτέλεσμα τη διακοπή της λειτουργίας χορήγησης αντιταχυκαρδιακών θεραπειών και την ανάγκη για επαναπρογραμματισμό, αν και αυτό συμβαίνει πολύ σπάνια.²⁶ Σε περιπτώσεις εμφάνισης δυσλειτουργίας συσκευής, απαιτείται η αντικατάστασή της, αφού παρότι κάποιες μεταβολές στη λειτουργία της μπορεί να επιλυθούν άμεσα, η μακροχρόνια

αξιόπιστη λειτουργία της τίθεται υπό αμφισβήτηση. Σημειώνεται ότι η εφαρμογή ακτινοθεραπείας σε περιοχές του σώματος μακριά από την ΚΕΗΣ δεν προκαλεί πρόβλημα, αλλά θα πρέπει να ληφθούν όλα τα απαραίτητα μέτρα προστασίας της συσκευής για την αποφυγή σκέδασης. Οι συστάσεις για ελάτπωση του κινδύνου ΗΜΠ κατά τη διάρκεια ακτινοθεραπείας περιλαμβάνουν: 1. Έλεγχο της συσκευής πριν και μετά τη θεραπεία (με εβδομαδιαίο έλεγχο των απινιδωτών), αν η δόση ξεπερνά τα 2 Gy, 2. Κλείσιμο των αντιταχυκαρδιακών θεραπειών, 3. Αποφυγή χρήσης γραμμικού επιταχυντή (βήτατρο), 4. Ελαχιστοποίηση της δόσης στη γεννήτρια της ΚΕΗΣ, κρατώντας την εκτός του πεδίου ακτινοβολίας και χρησιμοποιώντας <math><10\text{ MV}</math> ενέργεια δέσμης φωτονίων, 5. Αποφυγή απευθείας ακτινοβολίας της ΚΕΗΣ και 6. Κάλυψη όσο είναι δυνατό της γεννήτριας της συσκευής από την ακτινοβολία. Σε περίπτωση που απαιτείται ακτινοθεραπεία πάνω στη περιοχή που βρίσκεται η ΚΕΗΣ, θα πρέπει να συζητηθεί το ενδεχόμενο αφαίρεσης της γεννήτριας και επανατοποθέτησης της συσκευής σε άλλο σημείο εκτός του πεδίου ακτινοβολίας.²⁷

Διαθερμοπηξία

Αποτελεί μία από τις συχνότερες πηγές ΗΜΠ στο ιατρικό περιβάλλον, που δυνητικά οδηγεί σε άμεση βλάβη της γεννήτριας, απορρύθμιση της συσκευής, αλλαγές στον ουδό βηματόδοτησης και απρόσφορη αίσθηση (υπεραισθησία θορύβου) προκαλώντας αναστολή λειτουργίας ή χορήγηση αντιταχυκαρδιακής θεραπείας. Η πιθανότητα εμφάνισης ΗΜΠ κατά τη χρήση του τυπικού ρεύματος της μονοπολικής χειρουργικής διαθερμίας ελαττώνεται όταν το κύκλωμα ρεύματος δεν περιλαμβάνει την ΚΕΗΣ. Η διπολική διαθερμία επίσης φαίνεται να ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο εμφάνισης ΗΜΠ. Συχνότερα παρατηρούνται ΗΜΠ όταν γίνεται χρήση της διαθερμίας σε απόσταση μικρότερη από 8 εκατοστά από τη συσκευή. Η χρήση διαθερμίας σε περιοχή κάτωθεν του ομφαλού, με την απαιτούμενη γείωση στο μηρό, σπάνια προκαλεί ΗΜΠ.²⁸ Γενικά, προτείνονται τα παρακάτω μέτρα:

1. Υπαρξη πρόσφατου ελέγχου της συσκευής προεγχειρητικά (το τελευταίο 12μνο για βηματοδότες και το τελευταίο 6μνο για απινιδωτές),

2. Ενεργοποίηση ασύγχρονης βηματοδότησης σε βηματοδοεξαρθώμενους ασθενείς, μέσω προεγχειρητικού προγραμματισμού της συσκευής ή εφαρμογής μαγνήτη, 3. Απενεργοποίηση των ταχυθεραπειών περιεγχειρητικά σε ασθενείς με απινιδωτή, 4. Μεγιστοποίηση της απόστασης μεταξύ συσκευής και κυκλώματος της διαθερμίας και επιλογή διπολικής διαθερμίας σε περίπτωση που το χειρουργικό πεδίο βρίσκεται πλησίον της ΚΕΗΣ και 5. Έλεγχος της συσκευής μετεγχειρητικά για τον επαναπρογραμματισμό της συσκευής στις αρχικές ρυθμίσεις.

Εξωτερική ηλεκτρική καρδιοανάταξη και απινίδωση

Η εξωτερική χορήγηση ηλεκτρικού ρεύματος για την αντιμετώπιση ταχυαρρυθμιών ενέχει τον κίνδυνο ανάπτυξης ποικίλων δυσλειτουργιών σε ΚΕΗΣ, όπως α) επαναφορά σε εναλλακτικές ρυθμίσεις λειτουργίας (backup mode), β) απώλεια σύλληψης, λόγω αύξησης του ουδού σύλληψης και γ) άμεση ηλεκτρική και/ή θερμική βλάβη στη γεννήτρια και στο μυοκάρδιο που βρίσκεται σε επαφή με το άκρο του ηλεκτροδίου.

Στρατηγικές ελάτπωσης του κινδύνου περιλαμβάνουν την επιλογή της προσθιο-οπίσθιας τοποθέτησης των εξωτερικών ηλεκτροδίων (patch) απινίδωσης, σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερη απόσταση από τη γεννήτρια της ΚΕΗΣ, τουλάχιστον 10 εκατοστά. Σε περίπτωση εμφυτεύσιμου απινιδωτή, προτιμάται η χρήση της συσκευής για την εφαρμογή της ενέργειας, με αντίτιμο όμως την κατανάλωση ενέργειας και την μείωση της διάρκειας ζωής της γεννήτριας. Σε όλες τις περιπτώσεις θα πρέπει να διενεργηθεί έλεγχος της συσκευής πριν και μετά την επέμβαση, ώστε να επιβεβαιωθεί η ορθή λειτουργία με τις επιθυμητές παραμέτρους. Μπορεί να παρατηρηθεί μία παροδική αύξηση του ουδού βηματοδότησης, η οποία αντιμετωπίζεται με αύξηση της χορήγησης ενέργειας βηματοδότησης από τη συσκευή, αν είναι απαραίτητο.²⁹

Επέμβαση κατάλυσης με υψίσυνο ρεύμα

Οι πιθανές αλληλεπιδράσεις που παρατηρούνται με ΚΕΗΣ είναι όμοιες με αυτές σε χειρουργικές επεμβάσεις με χρήση διαθερμίας. Δεν απαιτείται η λήψη επιπρόσθετων μέτρων περιεμβατικά. Παρόλα αυτά είναι απαραίτητη η συ-

νεχής καρδιολογική παρακολούθηση, ειδικά σε βηματοδο-εξαρτώμενους ασθενείς, όπου πιθανόν να απαιτηθεί ενεργοποίηση ασύγχρονης βηματοδότησης, μέσω προεγχειρητικού προγραμματισμού της συσκευής. Επίσης, σε περίπτωση παρουσίας απινιδωτή, οι θεραπείες θα πρέπει να παραμένουν απενεργοποιημένες.

Εξωσωματική λιθοτριψία

Αν και σπάνια, μπορεί να προκαλέσει βλάβη στα ηλεκτρονικά κυκλώματα της γεννήτριας. Αυτό μπορεί να συμβεί όταν χορηγούνται συσσωρευμένα συνεχή κύματα ενέργειας, με σκοπό τη διάλυση λίθων στο νεφρό και στη χοληδόχο κύστη. Η ενέργεια που παράγεται μπορεί να επεκταθεί στο υπόλοιπο σώμα και να οδηγήσει σε μη κατάλληλη αίσθηση ή ακόμη και σε μηχανική βλάβη της ΚΕΗΣ. Γενικά συστήνεται να αποφεύγεται σε περίπτωση ύπαρξης απινιδωτή, ενώ επί παρουσίας βηματοδότη, η συσκευή θα πρέπει να επανελέγχεται μετά το πέρας της θεραπείας. Επίσης, θα πρέπει να αποφεύγεται σε περίπτωση που ο βηματοδότης βρίσκεται στην περιοχή της κοιλιάς.^{30,31}

Διαδερμική ηλεκτρική νευρική διέγερση (TENS)

Πολλές μελέτες έχουν αποδείξει την ασφάλεια του TENS σε ασθενείς με βηματοδότη, παρά τον θεωρητικό κίνδυνο αναστολής βηματοδότησης, ειδικά σε περιπτώσεις μονοπολικής βηματοδότησης με παράλληλη εφαρμογή της διέγερσης στην περιοχή του κορμού. Συστήνεται όμως η αποφυγή συσκευών TENS σε ασθενείς με απινιδωτή, ειδικά σε βηματοδοεξαρτώμενα άτομα, ενώ σε περίπτωση χρήσης τους απαιτείται προσεκτική και συχνή παρακολούθηση της ΚΕΗΣ.^{32,33}

ΚΕΗΣ και συμβατότητα με Μαγνητική Τομογραφία (MRI)

Την τελευταία δεκαετία σημειώνεται σημαντική αύξηση τόσο του αριθμού των ΚΕΗΣ όσο και των απεικονιστικών εξετάσεων με MRI. Υπολογίζεται επίσης ότι το 50-75% των ασθενών με ΚΕΗΣ θα χρειαστεί να υποβληθεί σε MRI κάποια στιγμή στο μέλλον. Η οδηγία αναφορικά με τη χρήση MRI σε συμβατικές (μη συμβατές με MRI, MRI non-conditional) ΚΕΗΣ είναι να αποφεύγεται και να επιχειρείται μόνο σε ιδιαίτερες περι-

πτώσεις με ένδειξη απειλητική για τη ζωή κατάσταση, όπου δεν υπάρχει εναλλακτική απεικονιστική μέθοδος. Παρόλα αυτά, πολλές από τις μελέτες που καταδεικνύουν αρνητικές επιδράσεις της MRI στις ΚΕΗΣ βασίζονται μόνο σε παλαιότερα δεδομένα πειραματικών μελετών, με παλαιότερης τεχνολογίας συσκευές και ηλεκτρόδια.³⁴ Σταδιακά παρουσιάζεται μία σημαντική συσσώρευση πληροφοριών για ασφαλή χρήση της MRI σε όλες τις περιοχές του σώματος, σε προσεκτικά επιλεγμένους ασθενείς με συμβατικές ΚΕΗΣ, χωρίς την εμφάνιση κλινικά σημαντικών αλλαγών στις παραμέτρους της ΚΕΗΣ ή ανεπιθύμητων συμβαμάτων.^{35,36}

Από το 1997, έχει αρχίσει να εφαρμόζεται η χρήση των όρων 'ασφαλής για MRI' και 'συμβατή με MRI' (MRI conditional), για το χαρακτηρισμό των ΚΕΗΣ. Ένας ασθενής με 'συμβατή για MRI' ΚΕΗΣ μπορεί να υποβληθεί στην απεικονιστική εξέταση με ασφάλεια, χωρίς να επηρεάζεται ουσιαστικά η ποιότητα της διαγνωστικής πληροφορίας της εξέτασης. Θα πρέπει όμως να τηρούνται παράλληλα συγκεκριμένες προϋποθέσεις ασφάλειας όπως:

1. η προσεκτική επιλογή ασθενών, 2. η διενέργεια της εξέτασης σε κέντρα με εμπειρία και πλήρες οργανωμένο πρωτόκολλο εξέτασης, 3. ο έλεγχος της ΚΕΗΣ πριν την εξέταση, 4. η εκτίμηση πιθανής εξάρτησης από το βηματοδότη με προγραμματισμό ασύγχρονης βηματοδότησης σε περιπτώσεις βηματοδοτο-εξαρτώμενων ασθενών και προγραμματισμό απλής ανασταλόμενης βηματοδοτικής λειτουργίας (AAI/VVI/DDI λειτουργία) στους υπόλοιπους ασθενείς, με απενεργοποίηση όλων των λοιπών βηματοδοτικών παραμέτρων, 5. η απενεργοποίηση των αντιταχυκαρδιακών θεραπειών των απινιδωτών, 6. έλεγχος για τα ασφαλή επίπεδα ισχύος του στατικού μαγνητικού πεδίου, 7. η ελαχιστοποίηση του αριθμού και της διάρκειας λήψης των ακολουθιών, 8. ο περιορισμός του ειδικού ποσοστού απορρόφησης (SAR), 9. συνεχής οπτική και ακουστική επαφή με τον ασθενή και αιμοδυναμική παρακολούθηση κατά τη διάρκεια της εξέτασης, 10. παρουσία εξειδικευμένου προσωπικού στον προγραμματισμό ΚΕΗΣ και στην καρδιοαναπνευστική αναζωογόνηση, και 11. επανέλεγχος της ΚΕΗΣ μετά το τέλος της εξέτασης καθώς και 3-6μήνες αργότερα.^{34, 37, 38}

Διάγνωση των ΗΜΠ

Το βασικότερο βήμα στην αντιμετώπιση των ΗΜΠ αποτελεί η ανεύρεση και σωστή διάγνυσή τους στα αποθηκευμένα ηλεκτρογράμματα κατά τον έλεγχο της ΚΕΗΣ. Το λεπτομερές ιστορικό έχει ιδιαίτερη σημασία, καθώς μπορεί να αποκαλύψει τυχόν προηγηθείσα έκθεση σε πηγή ΗΜΠ. Για τη διαφορική τους διάγνωση από άλλες πηγές παρεμβολών με παρόμοια εμφάνιση, όπως μυοδυναμικά, θραύση καλωδίων ή ελλιπής συνδεσμολογία της ΚΕΗΣ, βοηθούν ιδιαίτερα τα παρακάτω χαρακτηριστικά: Οι ΗΜΠ τυπικά προκαλούν υψίσυχνα σήματα με σταθερό ύψος, συνεχή ή κατά ώσεις, που εκτείνονται σε ολόκληρο τον καρδιακό κύκλο (Εικόνα 2). Συνήθως καταγράφονται σε όλα τα ηλεκτρόδια της συσκευής και όχι επιλεκτικά σε κάποιο από αυτά. Στους απινιδωτές, το ύψος των σημάτων συνήθως είναι μεγαλύτερο στο ηλεκτρόγραμμα μακρινού πεδίου (far-field), από το αντίστοιχο του κοντινού πεδίου (near-field). Οι μετρούμενες αντιστάσεις της ΚΕΗΣ βρίσκονται εντός των φυσιολογικών ορίων. Επίσης, κατά την κλινική εξέταση, τα παθολογικά σήματα των ΗΜΠ δεν αναπαράγονται με τις αναπνευστικές κινήσεις, με την ισομετρική μυϊκή σύσπαση των θωρακικών μυών ή με την εξωτερική μετακίνηση της γεννήτριας της ΚΕΗΣ.³⁹



Εικόνα 2. Ηλεκτρογράμματα που λήφθηκαν κατά τον έλεγχο απινιδωτή, όπου φαίνεται η επίδραση ηλεκτρομαγνητικής παρεμβολής η οποία καταγράφεται τόσο στο απινιδωτικό όσο και στο κοιλιακό ηλεκτρόδιο. FF: ηλεκτρόγραμμα μακρινού πεδίου (far-field), A: ηλεκτρόγραμμα κοιλιακού ηλεκτροδίου, V: ηλεκτρόγραμμα κοιλιακού-απινιδωτικού ηλεκτροδίου.

Συνήθης απάντηση των ΚΕΗΣ σε ΗΜΠ και τρόποι αντιμετώπισης

Μολονότι η πιθανότητα ΗΜΠ να επηρεάσουν την ΚΕΗΣ των ασθενών είναι εξαιρετικά περιορισμένη στις συνήθεις δραστηριότητες και επομένως θα πρέπει να ενθαρρύνονται να ακολουθούν έναν φυσιολογικό τρόπο ζωής χωρίς ιδιαίτερους περιορισμούς, δεν θα πρέπει να παραβλέπεται εντελώς η

περίπτωση αυτή και επομένως απαιτείται επαγρύπνηση και επαρκής έλεγχος για την αποφυγή ανεπιθύμητων κλινικών αποτελεσμάτων. Παρά τη συνεχή βελτίωση των ΚΕΗΣ έναντι ΗΜΠ, οι αναδυόμενες τεχνολογικές εξελίξεις δημιουργούν νέες προκλήσεις. Έτσι, κάθε νεότερη τεχνολογική και ασύρματη συσκευή με ηλεκτρομαγνητικό δυναμικό θα πρέπει να εκτιμάται για ΗΜΠ στις ΚΕΗΣ. Σε κάθε περίπτωση, αν ασθενής με ΚΕΗΣ που βρίσκεται κοντά σε ηλεκτρική συσκευή εμφανίζει συμπτώματα ζάλης, τάση για λιποθυμία, αίσθημα παλμών, ταχυκαρδία ή ακούει ηχητικά σήματα από την ΚΕΗΣ ή αντιληφθεί εκφόρτιση του απινιδωτή, θα πρέπει άμεσα να απομακρυνθεί ή να απενεργοποιήσει την ενδεχόμενη πηγή ΗΜΠ και να έρθει σε επικοινωνία με τον θεράποντα καρδιολόγο.

Οι ΗΜΠ μπορεί να εκληφθούν από την ΚΕΗΣ ως ηλεκτρικός 'θόρυβος' ή φυσιολογική καρδιακή δραστηριότητα. Οι περισσότερες συσκευές έχουν ειδικούς αλγορίθμους απάντησης σε θόρυβο (noise response – noise reversion algorithms), οι οποίοι ενεργοποιούνται σε περίπτωση αίσθησης ΗΜΠ και δίνουν έναυσμα για ασύγχρονη βηματοδότηση. Αυτός ο τύπος βηματοδότησης μπορεί θεωρητικά να πυροδοτήσει κακοήθη αρρυθμία, λόγω κοιλιακής βηματοδότησης στην ευάλωτη περίοδο, αν και στην πράξη ο κίνδυνος αυτός είναι ελάχιστος.

Η υπεραισθησία των ΗΜΠ μπορεί όμως συχνότερα να οδηγήσει σε απρόσφορη αναστολή της βηματοδοτικής λειτουργίας, σε απρόσφορη πυροδοτούμενη κοιλιακή βηματοδότηση στη μέγιστη προγραμματισμένη συχνότητα (maximum tracking rate) ή σε μεταβολή των παραμέτρων και του τρόπου βηματοδότησης (mode switch ή safety pacing). Δεν οδηγούν όλα τα επεισόδια ΗΜΠ σε κλινικά σημαντικές καταστάσεις για το άτομο με ΚΕΗΣ. Η εξάρτηση από το βηματοδότη αποτελεί καθοριστικό παράγοντα, αφού οι ασθενείς που δεν έχουν έναν αξιόπιστο ρυθμό διαφυγής μπορεί να επηρεαστούν σημαντικά, παρουσιάζοντας περιόδους μακράς αναστολής βηματοδότησης και κατά συνέπεια παρατεταμένη ασυστολία που εμφανίζεται κλινικά με συμπτώματα ζάλης, συγκοπή ή ακόμη και θάνατο.

Σε περίπτωση απινιδωτικής συσκευής, η υπεραισθησία μη καρδιακών σημάτων μπορεί επιπλέον να προκαλέσει αναστολή δυνατότητας χορήγησης αντιταχυκαρδιακής βηματοδοτικής θεραπείας (ΑΤΡ) ή λανθασμένη ανίχνευση ταχυαρρυθμίας και κατά

συνέπεια χορήγηση απρόσφορης θεραπείας (αντιταχυκαρδιακή βηματοδότηση ή εκφόρτιση), αν και στην κλινική πράξη παρουσιάζεται σπάνια (<1% ανά έτος).⁴⁰ Οι θεραπείες αυτές μπορεί να προκαλέσουν ιδιαίτερη δυσφορία (έντονο πόνο στην περίπτωση απρόσφορης εκφόρτισης) στον ασθενή, ενώ φέρουν τον επιπρόσθετο κίνδυνο πυροδότησης αληθούς αρρυθμίας λόγω της κοιλιακής βηματοδότησης και της εκφόρτισης σε ευάλωτη περίοδο του μυοκαρδίου. Σε περίπτωση ανίχνευσης ισχυρού ηλεκτρομαγνητικού πεδίου από τον απινιδωτή, η συσκευή μπορεί να ειδοποιεί τον ασθενή, εφόσον αυτή η λειτουργία είναι ενεργοποιημένη, εκπέμποντας έναν σταθερό ηχητικό τόνο 10 δευτερολέπτων, υπενθυμίζοντας ότι βρίσκεται πολύ κοντά σε μαγνήτη. Σε αυτήν την περίπτωση, το άτομο θα πρέπει να απομακρυνθεί αμέσως από το αντικείμενο που προκαλεί ΗΜΠ και να γνωστοποιήσει στο γιατρό του το περιστατικό.

Σπανιότερα, μπορεί να προκληθούν: αδυναμία επικοινωνίας με την ΚΕΗΣ, μόνιμη βλάβη στα κυκλώματα της συσκευής, απενεργοποίηση των αντιπαχυκαρδιακών θεραπειών του απινιδωτή (magnet reversion) ή επαναπρογραμματισμός της λειτουργίας της με επαναφορά σε εργοστασιακές ρυθμίσεις (power-on reset). Συχνότερα αίτια ΗΜΠ που μπορούν να προκαλέσουν 'power-on reset' είναι η χρήση διαθερμίας σε χειρουργικές επεμβάσεις και η χορήγηση εξωτερικής απινιδώσης. Κάθε κατασκευαστής παρουσιάζει ιδιαίτερες λειτουργικές ρυθμίσεις σε περίπτωση ενεργοποίησης του power-on reset, με συνηθέστερη την αλλαγή του τρόπου βηματοδότησης από DDD σε VVI. Σε κάποιους βηματοδότες η λειτουργία προσομοιάζει τη λειτουργία της περιόδου προγραμματισμένης αντικατάστασης γεννήτριας λόγω εξάντλησης (ERIElective replacement indicator). Σε περίπτωση απινιδωτή, το 'power-on reset' μετατρέπει τη συσκευή σε λειτουργία "shock box", όπου η βηματοδότηση είναι VVI και οι αντιπαχυκαρδιακές θεραπείες περιλαμβάνουν μόνο εκφορτίσεις, στο μέγιστο αριθμό τους και με τη χορήγηση της μέγιστης ενέργειας, χωρίς τη δυνατότητα αντιπαχυκαρδιακής βηματοδότησης (ATP). Αφού προκληθεί 'power-on reset', όταν η ΗΜΠ παύει να υφίσταται, η συσκευή δεν επανέρχεται αυτόματα στις πιο πρόσφατες ρυθμίσεις λειτουργίας, αλλά απαιτείται να επαναπρογραμματισθεί στις επιθυμητές ρυθμίσεις με τη χρήση προγραμματιστή.

Οι επιδράσεις των ΗΜΠ στις ΚΕΗΣ είναι συνήθως παροδικές και με την απενεργοποίηση ή την απομάκρυνση από την πηγή ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, η ΚΕΗΣ επανέρχεται συνήθως σε φυσιολογική λειτουργία. Σπανίως όμως μπορεί να παρατηρηθεί μη αναστρέψιμη δυσλειτουργία της συσκευής ή μόνιμη αλλαγή λειτουργικών παραμέτρων ('hard' ή 'cold' reset), ιδίως σε περιπτώσεις μόνιμης βλάβης στον μικροεπεξεργαστή του απινιδωτή, οπότε είναι απαραίτητη η αντικατάσταση της γεννήτριας της συσκευής.

Συνοπτικά, οι γενικές στρατηγικές αντιμετώπισης των ΗΜΠ εστιάζονται βασικά: 1. στον περιορισμό της πιθανότητας έκθεσης σε ΗΜΠ, αποφεύγοντας ή διατηρώντας τη μεγαλύτερη δυνατή απόσταση από γνωστές πηγές ΗΜΠ και μειώνοντας το χρόνο έκθεσης σε αυτές, και 2. στην ελαχιστοποίηση των συνεπειών των ΗΜΠ.²³ Αυτό στοχεύει κυρίως ενάντια στην υπεραίσθησία των ΗΜΠ και επιτυγχάνεται είτε με την εφαρμογή ενός μαγνήτη πάνω από την ΚΕΗΣ είτε με επαναπρογραμματισμό της. Η τοποθέτηση μαγνήτη σε βηματοδότη προκαλεί την αλλαγή στον τρόπο βηματοδότησης σε ασύγχρονο (DOO ή VOO), ενώ σε περίπτωση απινιδωτή απενεργοποιεί την ανίχνευση ταχυκαρδίας και κατ'έκταση τη χορήγηση θεραπείας. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να υπάρχει διαθέσιμος εξωτερικός απινιδωτής για την παροχή θεραπείας σε περίπτωση ανάγκης. Αντί της εφαρμογής μαγνήτη, οι παραπάνω αλλαγές στις λειτουργίες μπορούν να επιτευχθούν με επαναπρογραμματισμό της συσκευής.

Συμπεράσματα

Πλήθος συσκευών στο οικιακό, εργασιακό και ιατρικό περιβάλλον, με τις οποίες έρχεται καθημερινά σε επαφή ο ασθενής με ΚΕΗΣ, μπορεί να αποτελέσουν πηγή ΗΜΠ. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, οι κλινικές συνέπειες των ΗΜΠ είναι ελάχιστες. Σπανίως όμως μπορούν να προκαλέσουν σύνθετα προβλήματα στη λειτουργία των ΚΕΗΣ. Για το λόγο αυτό απαιτείται συνεχής επαγρύπνηση και επιστημονική κατάρτιση των καρδιολόγων, αλλά και επαρκής ενημέρωση των ασθενών για το θέμα.

Πίνακες ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας καρδιακών εμφυτεύσιμων ηλεκτρονικών συσκευών

1. ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΟΙΚΙΑΚΟΥ ΚΑΙ ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΑΣΦΑΛΗΣ ΧΡΗΣΗ (χωρίς περιορισμούς)	ΧΡΗΣΗ ΜΕ ΠΡΟΣΟΧΗ (τήρηση ασφαλούς απόστασης από την ΚΕΗΣ)	ΝΑ ΑΠΟΦΕΥΓΕΤΑΙ Η ΧΡΗΣΗ
<p>Ηλεκτρικός φούρνος Φούρνος μικροκυμάτων Μικρές ηλεκτρικές συσκευές κουζίνας \\(Μπλέντερ, μίξερ, τοστιέρα, φρυγανιέρα, ηλεκτρικό ανοιχτήρι για κονσέρβες, ηλεκτρικό μαχαίρι, καφετιέρα, βραστήρας) Ψυγείο Πλυντήριο πιάτων Πλυντήριο ρούχων Στεγνωτήριο Ηλεκτρική σκούπα Ηλεκτρικό σίδερο Ραπτομηχανή Ηλεκτρική σόμπα Ηλεκτρική κουβέρτα Ιονιστής Συσκευές απομάκρυνσης εντόμων/ παρασίτων Καλώδια ισχύος χαμηλής τάσης οικιακών δικτύων Σύστημα ανοίγματος πόρτας γκαράζ Ηλεκτρικά κλειδιά αυτοκινήτου Φορτιστές μπαταριών οικιακής χρήσης Τηλεόραση Ραδιόφωνο Κεραίες ραδιοφώνου/ τηλεόρασης Δορυφορική κεραία Συσκευή αναπαραγωγής ή εγγραφής CD/DVD Ψηφιακή συσκευή αναπαραγωγής μουσικής (όχι σε μετάδοση) Τηλεχειριστήριο Δείκτες λέιζερ Ηλεκτρονικός υπολογιστής (Επιτραπέζιος/ Φορητός) Φωτοτυπικό μηχάνημα Μηχάνημα φαξ/ εκτυπωτής/ σαρωτής Βομβητής, μπιंपερ (ηλεκτροδομητές) Ηλεκτρονική ζυγαριά Ηλεκτρική ξυριστική/ κουρευτική μηχανή Ηλεκτρική οδοντόβουρτσα Θερμαντικό επίθεμα Στεγνωτήρας μαλλιών Ηλεκτρικό ψαλίδι για μπουκλες/ ίσιωμα μαλλιών Συσκευές αποτρίκωσης με θερμότητα Συσκευές χειρός μασάζ Καρέκλα/Μαξιλάρι μασάζ Κρεβάτια σολάριουμ Σάουνα Υδρομασάζ/ Τζακούζι Κολιέ για έκτακτη ιατρική ανάγκη Κουμπί έκτακτης ανάγκης/ συναγερμού ασθενή Ηλεκτρονικά ρολόγια Βραχιόλια σωματικής δραστηριότητας Ρολόι παρακολούθησης καρδιακής συχνότητας Έξυπνο ρολόι Ασύρματο τοπικό δίκτυο υπολογιστών (WLAN) (2.4 GHz) Συσκευές με χρήση συστήματος επικοινωνίας κοντινού πεδίου (near field communication, NFC) Συσκευές GPS Σαρωτής ραβδωτού κώδικα Ηλεκτρική κιθάρα Βιντεοπαιχνίδια</p>	<p>15 cm Μαγνήτες οικιακής χρήσης Συσκευές με χρήση Bluetooth Κεραίες Wi-Fi Συσκευές ασύρματης επικοινωνίας (Walkie-talkie) Οικιακές γεννήτριες Ασύρματα ελεγχόμενα ηλεκτρονικά αντικείμενα Βάσεις φόρτισης οικιακών συσκευών Κεραίες εκπομπής Τηλεχειριστήρια με κεραίες Παιχνίδια που περιέχουν μαγνήτες Κινητό τηλέφωνο Ασύρματο τηλέφωνο (από συσκευή και βάση) Ασύρματο μικρόφωνο Μόντεμ Ασύρματο τοπικό δίκτυο υπολογιστών- WLAN (5.1-5.7 GHz) Ηλεκτρονικές ταμπλέτες Ηλεκτρονικές συσκευές ανάγνωσης Ψηφιακή συσκευή αναπαραγωγής μουσικής- σε μετάδοση Ακουστικά κεφαλής Μηχάνημα δερματοστιξίας Συστήματα ασφαλείας αεροδρομίου Πομποί ραδιοσυχνοτήτων*</p> <p>30 cm Επαγωγικές εστίες μαγειρικής Στερεοφωνικά ηχεία Αντικλεπτικές συσκευές Ηλεκτρική περίφραξη Κιβώτιο μετασχηματιστή Σύστημα αδιάλειπτης παροχής ισχύος (UPS) Ηλεκτροκίνητο αμαξίδιο Αυτοκίνητο/Μοτοσυκλέτα – από τα εξαρτήματα του συστήματος ανάφλεξης Ηλεκτρικό/ υβριδικό Αυτοκίνητο† Ηλεκτρικό ποδήλατο/ Ηλεκτρικό πατίνι/ Διάδρομος γυμναστικής – από το μοτέρ Ποδήλατο γυμναστικής/ Ελλειπτικό μηχάνημα – από τον μαγνήτη Φορητός Ανιχνευτής μετάλλων Κουλοχέρης σε καζίνο</p> <p>1m Κεραία ραντάρ ναυσιπλοΐας</p> <p>3m Μετασχηματιστής φωτοβολταϊκού συστήματος</p>	<p>Μηχάνημα διέγερσης κοιλιακών μυών Ηλεκτρονική ζυγαριά σωματικού λίπους Συσκευές αποτρίκωσης με ηλεκτρούση Τείζερ</p>

* Τήρηση απόστασης ανάλογη με την ισχύ ραδιομετάδοσης: <3W = 15 cm, 3 – 15W = 30 cm, 15 – 30W = 60 cm, 30 – 50W = 1 m, 50 – 125W = 2 m, 125 – 250W = 3 m, 250 – 500W = 5 m, 500 – 1000W = 6 m, 1000 – 2000W = 9 m
†Ο ασθενής δεν πρέπει να βρίσκεται μέσα στο αυτοκίνητο όταν φορτίζει από πύργο φόρτισης.

ΑΡΘΡΟ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗΣ

2. ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΕΡΓΑΣΙΑΚΟΥ – ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΑΣΦΑΛΗΣ ΧΡΗΣΗ (χωρίς περιορισμούς)	ΧΡΗΣΗ ΜΕ ΠΡΟΣΟΧΗ (με τήρηση ασφαλούς απόστασης από την ΚΕΗΣ)	ΝΑ ΑΠΟΦΕΥΓΕΤΑΙ Η ΧΡΗΣΗ
<p>Φακός- μπαταρίας Συσκευή εντοπισμού καρφιών Αλφάδι λέιζερ Παχύμετρα- μπαταρίας</p>	<p>15 cm Ασύρματα ή με καλώδιο ηλεκτρικά εργαλεία- μπαταρίας & ηλεκτροκίνητα Κατσαβίδια/ τρυπάνια- μπαταρίας & ηλεκτροκίνητα Ηλεκτρικό πριόνι Αλυσοπρίονο Δισκοπρίονο/ Τροχός (χειρός) Κουρευτική μηχανή γκαζόν Χλοκοπτικό Ηλεκτρικός φυσστήρας φύλλων/ χιονιού</p> <p>30 cm Συσκευές συγκόλλησης με μέταλλα Οξυγονοκόλληση</p> <p>60εκ. Εξοπλισμός ηλεκτροσυγκόλλησης (με ρεύμα <160 Amp) Γεννήτριες υψηλής ενέργειας Κινητήρας αυτοκινήτου/ σκάφους σε λειτουργία Φορτιστής μπαταριών αυτοκινήτου Εργαλεία πάγκου (πριόνι, τροχός, αεροσυμπιεστής, πρέσα)</p>	<p>Κομπρεσέρ Εξοπλισμός ηλεκτροσυγκόλλησης (με ρεύμα >160 Amp)</p>

3. ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΙΑΤΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΑΠΟΔΕΚΤΗ ΧΡΗΣΗ ΧΩΡΙΣ ΤΗ ΛΗΨΗ ΕΙΔΙΚΩΝ ΜΕΤΡΩΝ	ΑΠΟΔΕΚΤΗ ΧΡΗΣΗ ΜΕ ΛΗΨΗ ΕΙΔΙΚΩΝ ΜΕΤΡΩΝ	ΔΕΝ ΣΥΝΙΣΤΑΤΑΙ Η ΧΡΗΣΗ
<p>Σύστημα παρακολούθησης καρδιακού ρυθμού Ηλεκτροκαρδιογράφημα Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα Διαγνωστικό υπερηχογράφημα Ηλεκτρονικές συσκευές μέτρησης αρτηριακής πίεσης βραχίονα Διαγνωστικές ακτινογραφίες Αξονική τομογραφία Μαστογραφία Τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων (PET) Μέτρηση οστικής πυκνότητας Εξετάσεις πυρηνικής ιατρικής Οδοντιατρικές επεμβάσεις Βελονισμός – χωρίς ηλεκτρική διέγερση ή με συνεχές ρεύμα (DC) Ενδοσκόπηση με κάψουλα Κολονοσκόπηση Ηλεκτρονυσταγμογραφία Ακουστικό βαρηκοΐας/ κοχλιακό εμφύτευμα Χειρουργική με λέιζερ Μπλάνημα υπινικής άπνοιας</p>	<p>Επέμβαση με χρήση διαθερμίας Επεμβάσεις κατάλυσης (με μικροκύματα ή ραδιοσυχνότητες) Βελονισμός με διέγερση μέσω εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) Ηλεκτροσπασμοθεραπεία Ηλεκτρομυογραφία Εξωτερική απινίδωση/ καρδιομετατροπή Θεραπεία με υπερβαρικό οξυγόνο Λιθοτριψία Μαγνητική θεραπεία Μυοδιεγέρτες Θεραπεία με ακτινοβολία Ακτινοθεραπεία Θεραπευτικοί υπέρηχοι Διακρανιακή μαγνητική διέγερση Δαδερμικοί ηλεκτρικοί νευρικοί διεγέρτες (TENS) Μαγνητική τομογραφία (σε παρουσία MRI-compatible ΚΕΗΣ) Σύστημα συνεχούς καταγραφής γλυκόζης</p>	<p>Μαγνητική τομογραφία (σε παρουσία MRI-compatible ΚΕΗΣ)</p>

Βιβλιογραφία

- Greenspon AJ, Patel JD, Lau E, et al: Trends in permanent pacemaker implantation in the United States from 1993 to 2009: increasing complexity of patients and procedures. *J Am Coll Cardiol* 2012; 60:1540–1545.
- Beinart R, Nazarian S: Effects of external electrical and magnetic fields on pacemakers and defibrillators: from engineering principles to clinical practice. *Circulation* 2013; 128:2799–2809.
- Tiikkaja M, Aro AL, Alanko T, et al: Electromagnetic interference with cardiac pacemakers and implantable cardioverter-defibrillators from low-frequency electromagnetic fields in vivo. *Europace* 2013; 15:388–394.
- Napp A, Stunder D, Maytin M, et al. Are patients with cardiac implants protected against electromagnetic interference in daily life and occupational environment? *Eur Heart J* 2015;36(28): 1798–1804.
- Hirose M, Tachikawa K, Ozaki M, et al: X-ray radiation causes electromagnetic interference in implantable cardiac pacemakers. *Pacing Clin Electrophysiol* 2010; 33:1174–1181.
- Carrillo R: Radiation therapy and cardiac rhythm devices: should you relocate? *Heart Rhythm* 2012; 9:1969.
- Irnich W, Bernstein AD. Do induction cooktops interfere with cardiac pacemakers? *Europace* 2006; 8:377–84.
- Binggeli C, Rickli H, Ammann P, et al. Induction ovens and electromagnetic interference: what is the risk for patients with implantable cardioverter defibrillators? *J Cardiovasc Electrophysiol* 2005; 16:399–401.
- Tandogan I, Ozin B, Bozbas H, et al. Effects of mobile telephones on the function of implantable cardioverter defibrillators. *Ann Noninvasive Electrocardiol* 2005; 10: 409–13.
- Burri H, MondouagneEngkolo LP, Dayal N, et al. Low risk of electromagnetic interference between smartphones and contemporary implantable cardioverter defibrillators. *Europace* 2016;18(5):726–731.
- Nadeem F, Nunez Garcia A, Thach Tran C, Wu M. Magnetic Interference on Cardiac Implantable Electronic Devices From Apple iPhone MagSafe Technology. *J Am Heart Assoc.* 2021 Jun 15;10(12):e020818.
- Trigano A, Blandeau O, Dale C, et al: Reliability of electromagnetic filters of cardiac pacemakers tested by cellular telephone ringing. *Heart Rhythm* 2005; 2:837–841.
- Ismail MM, Badreldin AM, Heldwein M, Hekmat K: Third generation mobile phones (UMTS) do not interfere with permanent implanted pacemakers. *Pacing Clin Electrophysiol* 2010; 33:860–864.
- Lacour P, Parwani AS, Schuessler F, Hohendanner F, Heinzel FR, Trippel TD, Boldt LH, Pieske B, Blaschke F. Are Contemporary Smartwatches and Mobile Phones Safe for Patients With Cardiovascular Implantable Electronic Devices? *JACC Clin Electrophysiol.* 2020 Sep;6(9):1158-1166.
- Tzeis S, Asvestas D, Moraitis N, et al. Safety of smartwatches and their chargers in patients with cardiac implantable electronic devices. *Europace.* 2021 Jan 27;23(1):99-103
- Kolb C, Schmieder S, Lehmann G, et al. Do airport metal detectors interfere with implantable pacemakers or cardioverter-defibrillators? *J Am Coll Cardiol* 2003; 41: 2054–9.
- Boivin W, Coletta J, Kerr L. Characterization of the magnetic fields around walk-through and hand-held metal detectors. *Health Phys.* 2003;84:582–593.
- Jilek C, Tzeis S, Vrazic H, et al. Safety of screening procedures with hand-held metal detectors among patients with implanted cardiac rhythm devices: a cross-sectional analysis. *Ann Intern Med.* 2011;155:587–592.
- Gimbel JR, Cox JW Jr. Electronic article surveillance systems and interactions with implantable cardiac devices: risk of adverse interactions in public and commercial spaces. *Mayo ClinProc* 2007; 82:318–22.
- Vanga SR, Bommana S, Kroll MW, et al. TASER conducted electrical weapons and implanted pacemakers and defibrillators. *ConfProc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2009;2009:3199–3204.
- Trigano A, Deloy P, Blandeau O, Levy S: Arc welding interference recorded by an implanted cardiac pacemaker. *Int J Cardiol*2006; 109:132–134,.
- Fetter JG, Benditt DG, Stanton MS: Electromagnetic interference from welding and motors on implantable cardioverter defibrillators as tested in the electrically hostile work site. *J Am CollCardiol*1996; 28:423–427,.
- Crossley GH, Poole JE, Rozner MA, et al. The Heart Rhythm Society (HRS)/American Society of Anesthesiologists (ASA) Expert Consensus Statement on the perioperative management of patients with implantable defibrillators, pacemakers and arrhythmia monitors: facilities and patient management. *Heart Rhythm* 2011;8(7):1114–1154.
- McCollough CH, Zhang J, Primak AN, Clement WJ, Buysman JR. Effects of CT irradiation on implantable

- cardiac rhythm management devices. *Radiology* 2007; 243:766–74.
25. Hurkmans CW, Scheepers E, Springorum BG, Uiterwaal H: Influence of radiotherapy on the latest generation of pacemakers. *Radiother Oncol* 2005; 76:93–98.
 26. Kapa S, Fong L, Blackwell CR, Herman MG, Schomberg PJ, Hayes DL. Effects of scatter radiation on ICD and CRT function. *Pacing Clin Electrophysiol* 2008; 31:727–32.
 27. Gelblum DY, Amols H: Implanted cardiac defibrillator care in radiation oncology patient population. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2009; 73:1525–1531.
 28. Cheng A, Nazarian S, Spragg DD, et al. Effects of surgical and endoscopic electrocautery on modern-day permanent pacemaker and implantable cardioverter-defibrillator systems. *Pacing Clin Electrophysiol* 2008;31:344–350.
 29. Waller C, Callies F, Langenfeld H. Adverse effects of direct current cardioversion on cardiac pacemakers and electrodes: is external cardioversion contraindicated in patients with permanent pacing systems? *Europace*.2004; 6:165–168.
 30. Ubee SS, Kasi VS, Bello D, Manikandan R: Implications of pacemakers and implantable cardioverter defibrillators in urological practice. *J Urol* 2011; 186:1198–1205.
 31. Platonov MA, Gillis AM, Kavanagh KM. Pacemakers, implantable cardioverter-defibrillators, and extracorporeal shockwave lithotripsy: evidence-based guidelines for the modern era. *J Endourol* 2008; 22:243–7.
 32. Pyatt JR, Trenbath D, Chester M, Connelly DT. The simultaneous use of a biventricular implantable cardioverter defibrillator (ICD) and transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) unit: implications for device interaction. *Europace* 2003; 5:91–9.
 33. Holmgren C, Carlsson T, Mannheimer C, Edvardsson N: Risk of interference from transcutaneous electrical nerve stimulation on the sensing function of implantable defibrillators. *Pacing Clin Electrophysiol* 2008; 31:151–158.
 34. Indik JH, Gimbel JR, Abe H, et al. 2017 HRS Expert Consensus Statement on magnetic resonance imaging and radiation exposure in patients with cardiovascular implantable electronic devices. *Heart Rhythm* 2017;14(7):e97–e153.
 35. Dahiya, G., Wetzel, A., Kyvernitakis, A., et al. Impact of magnetic resonance imaging on functional integrity of non-conditional cardiovascular implantable electronic devices. *Pacing Clin Electrophysiol* 2021; 44(8), 1312–1319.
 36. Munawar DA, Chan JEZ, Emami M, et al. Magnetic resonance imaging in non-conditional pacemakers and implantable cardioverter-defibrillators: a systematic review and meta-analysis. *Europace*. 2020 Feb 1;22(2):288-298.
 37. Nordbeck P, Ertl G, Ritter O. Magnetic resonance imaging safety in pacemaker and implantable cardioverter defibrillator patients: how far have we come? *Eur Heart J*. 2015; 36:1505–1511.
 38. Muthalaly RG, Nerlekar N, Ge Y, et al. MRI in Patients with Cardiac Implantable Electronic Devices. *Radiology*. 2018 Nov;289(2):281-292.
 39. Schoenfeld MH: Contemporary pacemaker and defibrillator device therapy: challenges confronting the general cardiologist. *Circulation* 2007; 115:638–653.
 40. Kolb C, Zrenner B, Schmitt C: Incidence of electromagnetic interference in implantable cardioverter defibrillators. *Pacing Clin Electrophysiol* 2001; 24:465–468.

Electromagnetic interference in cardiac implantable electronic devices

Konstantinos Triantafyllou, Nikolaos Fragakis

'Ippokratio' General Hospital of Thessaloniki

Abstract: The impact of electromagnetic interference on cardiac implantable electronic devices is a clinical issue that concerns both patients and physicians. This review paper presents the potential sources of electromagnetic interference and their effects on cardiac devices.

Keywords: Electromagnetic interference, cardiac implantable electronic device, pacemaker, defibrillator.