

Πρόσφατες εξελίξεις και δυνατότητες στην υπερηχογραφική απεικόνιση των δομών του μυοσκελετικού

Ραφανλίδης Δ.

• Ακτινολογικό Εργαστήριο Νοσοκομείου Γ.Ν.ΓΕΝΝΗΜΑΤΑΣ, Θεσ/νίκης

Οι πρόσφατες, ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις δεν άφησαν ανεπηρέαστο τον τομέα της διαγνωστικής υπερηχογραφίας στο μυοσκελετικό σύστημα. Τα διαγνωστικά όρια επεκτάθηκαν και οι αδυναμίες της μεθόδου υπερκαλύφθηκαν. Οι εξελίξεις, στο λογισμικό και το ηλεκτρομηχανολογικό μέρος των συστημάτων υπερηχογραφίας, αφορούν όλους τους μέχρι σήμερα γνωστούς τρόπους υπερηχογραφικής απεικόνισης, αλλά και επιπροσθέτουν νέους, ενδιαφέροντες και χρησιμότερους τρόπους, με αποτέλεσμα η μέθοδος να αντιπροσωπεύει μια πρώτη γραμμής τεχνική στη μελέτη του μυοσκελετικού συστήματος.

Κατά την τελευταία δεκαετία οι βασικές κατευθύνσεις της τεχνολογικής εξέλιξης αφορούν την εκλεπτυσμένη κατασκευή των μεταλλακτών, όσο αφορά τον αριθμό των κρυστάλλων -που ανέρχεται πλέον σε χιλιάδες-. Οι σύγχρονοι μεταλλάκτες παρέχουν δυνατότητες εκπομπής υπερήχων ευρείας ζώνης πολλαπλών συχνοτήτων, σύνθετης χωρικής απεικόνισης, βελτιωμένης απεικόνισης πολλαπλών εστιών, αλλά και εξειδίκευσης στην τρισδιάστατη απεικόνιση. Οι αυξημένες δυνατότητες των σύγχρονων μεταλλακτών βελτίωσαν την αντίθεση και τη λεπτομέρεια απεικόνισης στο συμβατικό δισδιάστατο β- τρόπο απεικόνισης αλλά και στο έγχρωμο Doppler, το οποίο έγινε περισσότερο ευαίσθητο. Ο συνδυασμός των μεταλλακτών υψηλής διακριτικής ικανότητας με το έγχρωμο Doppler τε-

λευταίας γενεάς επιτρέπει την με ακρίβεια διάγνωση, ακόμη και μικρής αύξησης της αιμάτωσης σε αρκετές φλεγμονώδεις καταστάσεις, όπως η τενονοελυτρίτις και η ενθεσοπάθεια. Νέες δυνατότητες παρέχονται με η χρήση σκιαγραφικών ουσιών, στην μελέτη των αρθρίτιδων ιδιαίτερα, με εξειδικευμένα πλέον λειτουργικά συστήματα των υπερηχογραφικών συστημάτων, αλλά και με την προσθήκη της ελαστογραφίας, μιας νεοεμφανισθείσας τεχνολογίας που μελετά την σκληρότητα των ανατομικών δομών αλλά και ογκόμορφων εξεργασιών.

Η απεικόνιση στο εγγύς πεδίο των επιφανειακά εντοπισμένων δομών του μυοσκελετικού, όπως οι τένοντες, οι μύς, τα νεύρα, οι σύνδεσμοι, οι αρθρικοί θύλακοι και υμένες βελτιώθηκε με τη χρήση υψίσυχων μεταλλακτών.¹ Σήμερα είναι διαθέσιμοι μεταλλάκτες πολύ υψηλής συχνότητας (έως 18 MHz) που επιτρέπουν την με μεγάλη ακρίβεια εξέταση των μικρών αρθρώσεων των φαλάγγων και των μετακαρποφαλαγγικών.²

Η εμφάνιση των μεταλλακτών πολλαπλών συχνοτήτων άνοιξε τον δρόμο στην εμφάνιση της υπερηχογραφικής απεικόνισης αρμονικών συχνοτήτων.³ Η προσθήκη των αρμονικών συχνοτήτων, σε σχέση με την συμβατική απεικόνιση του δισδιάστατου υπερηχογράφου στην κλίμακα των τόνων του γκριζου, βελτίωσε σημαντικά την αντίθεση και τη λεπτομέρεια, αλλά και μείωσε τα τεχνικά σφάλματα ιδιαίτερα σε εύσωμους ασθενείς. Αποδείχθηκε

Εικ. 1 Απεικόνιση του μυοτενοντίου πετάλου με υψηύχνο γραμμικής διάταξης μεταλλάκτη, συχνότητας 12 MHz. Με τη χρήση της τεχνολογίας αρμονικών συχνοτήτων η εικόνα σχηματίζεται από επιστρέφουσες συχνοτήτες 24 MHz που ενισχύόμενες μεταφέρουν υψηλότερο σήμα και εξαλείφουν το θόρυβο. Η δομή απεικονίζεται με αυξημένη αντίθεση και λεπτομέρεια. Απεικονίζεται μικρή επασβέστωση στο καταφυτικό άκρο του υπερακανθίου τένοντα.



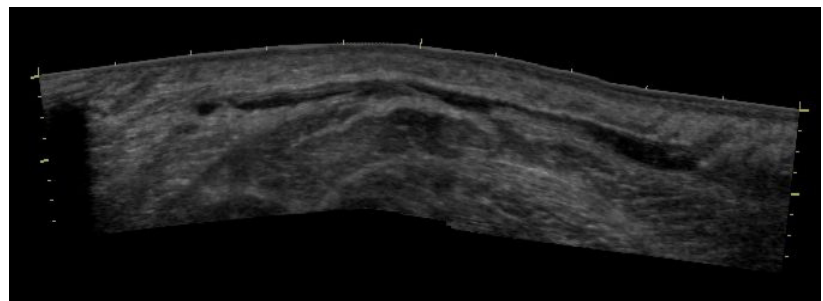
ιδιαίτερα στην απεικόνιση του μυοτενοντίου πετάλου των στροφών του ώμου (Εικ.1).

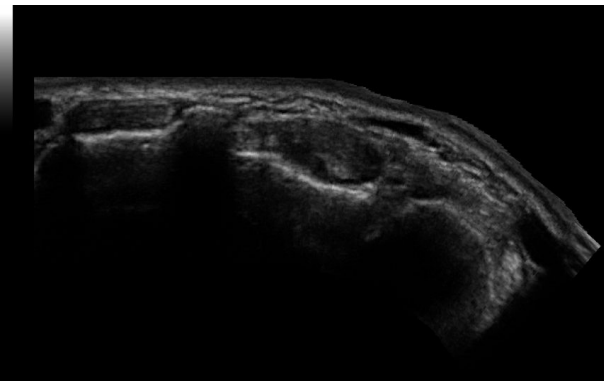
Με τη χρήση της σύνθετης χωρικής απεικόνισης (**spatial compound**) και την **αποστολή υπερηχητικών δεσμών** από διάφορες γωνίες κατά τη διάρκεια της σε πραγματικό χρόνο υπερηχογραφίας, οι παρυφές των ογκομορφων εξεργασιών σε κάθε τομή απεικονίζονται σε μεγαλύτερο μήκος και με μεγαλύτερη ακρίβεια. Επιπρόσθετα ελαχιστοποιούνται τα προβλήματα που δημιουργεί η συνοδός ακουστική σκιά, πίσω από επασβεστωμένα μορφώματα ή έντονα ανακλαστικές επιφάνειες όπως οι παρυφές των οργάνων, οι περιτονίες και τα τοιχώματα των αγγείων. Η δυνατότητα αυτή αποδείχθηκε ιδιαίτερα χρήσιμη σε δομές με ινιδιακή ηχομορφολογία όπως οι τένοντες. Η απεικόνισή τους από διαφορετικές γωνίες ταυτόχρονα, παρέχει συνεχώς κάθετες δέσμες προς τις ινιδιακές μεσεπιφάνειες, αποφεύγοντας το ενοχλητικό τεχνικό σφάλμα του μυοσκελετικού, την «ανισοτροπία», που οφείλεται στη λοξή πρόπτωση της δέσμης των υπερήχων. Η τεχνική αυτή βοηθάει στη διάκριση των ενθεσοπαθών και των τενοντιδίων από τους φυσιολογικούς τένοντες, όπου η γωνίωση των ινών τους στην περιοχή της ένθεσης προκαλεί με το συμβατικό υπερηχογράφημα ψευδώς, παθολογική υποηχογένεια.

Σύγχρονοι μεταλλάκτες νέας τεχνολογίας, με τις χιλιάδες των κρυστάλλων εκπομπής σε πολλές σειρές, απεικονίζουν ταυτόχρονα με τομές σε δύο επίπεδα τις βλάβες του μυοσκελετικού, π.χ. ταυτόχρονα σε επίμηκες και εγκάρσιο επίπεδο, σε πραγματικό χρόνο. Τα δύο επίπεδα αποδίδονται στην διαχωρισμένη στα δύο εικόνα στο monitor. Η ιδιότητα αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την διενέργεια καθοδηγούμενων από τους υπερήχους βιοψιών.

Το περιορισμένο πεδίο εξέτασης των υπερήχων αποτέλεσε πάντα σοβαρό μειονέκτημα της απεικόνισης των δομών του μυοσκελετικού, που συνήθως έχουν αρκετό μήκος. Η πανοραμική απεικόνιση επέλυσε το πρόβλημα από τα τέλη της δεκαετίας του '90. Η τεχνολογία χρησιμοποιεί ειδική ανάλυση καταγραφών των εικόνων, που προέρχονται μετά από την κίνηση του μεταλλάκτη προς μία διεύθυνση και ανασυνθέτουν μια μακριά σύνθετη εικόνα, κατά τη διάρκεια της κίνησης, σε πραγματικό χρόνο, σκανάροντας μεγάλα μήκη (Εικ. 2) και κυρτές επιφάνειες (Εικ.3), χωρίς τη χρήση εξωτερικών συσκευών εντόπισης της θέσης. Αφού αρχικά ο εξεταστής επιλέξει το επίπεδο τομής, «γλιστράει» ένα κοινό γραμμικό μεταλλάκτη κατά μήκος του υπερκείμενου δέρματος επιμήκως ή εγκάρσια της εξεταζόμενης δομής, παρακολουθώντας ταυτόχρονα την εικόνα στο monitor. Ειδικά στις εξετάσεις του μυ-

Εικ. 2 Απεικόνιση εκτεταμένου υποδορίου αιματώματος έμπροσθεν του ορθού μηριαίου με πανοραμική τεχνική. Με τη συνήθη συμβατική υπερηχογραφία η συλλογή θα απεικονίζονταν τμηματικά, σε μήκη ανάλογα με την επιφάνεια επαφής του μεταλλάκτη.





Εικ. 3 Καμπυλόγραμμη σάρωση της εκτατικής επιφάνειας του καρπού, με χαρακτηριστική απεικόνιση των εγκάρσιων τομών των τενόντων του 2ου διαμερίσματος, του επάρματος του Lister, των τενόντων του 3ου, 4ου και 5ου διαμερίσματος μέχρι την ανάκλαση της ωλένης (από αριστερά προς τα δεξιά).

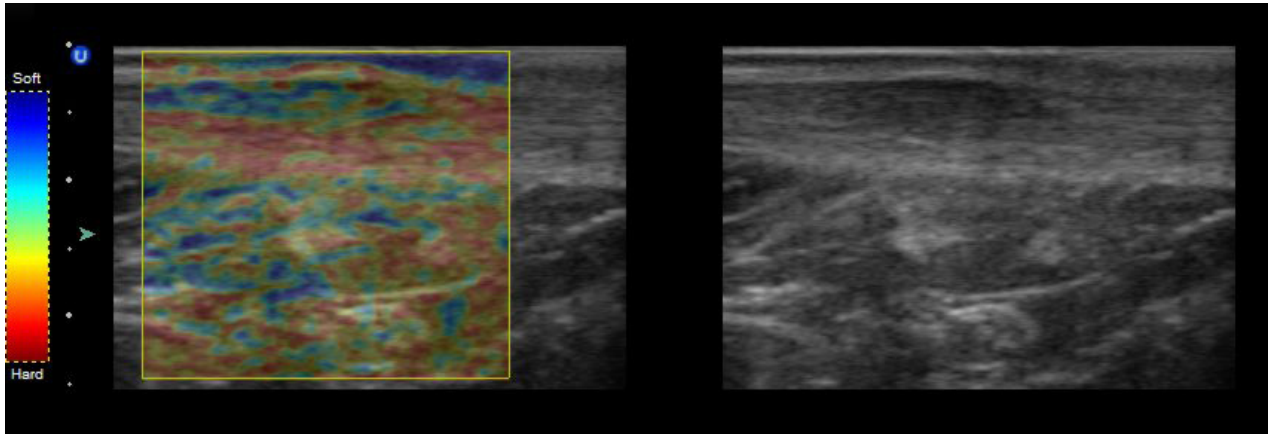
οσκελετικού η τεχνική φαίνεται ότι παρέχει ακριβή δεδομένα, ένεκα της έλλειψης αναπνευστικών κινήσεων ή σφύξεων μεγάλων αγγείων που υποβαθμίζουν το αποτέλεσμα.⁴ Η τεχνική στο μυοσκελετικό απεικονίζει ευμεγέθεις βλάβες όπως συλλογές υγρών, κακώσεις μυών, όγκους κλπ, σε σχέση με τις παρακείμενες δομές όπως οι αρθρώσεις, οι μύς και οι τένοντες. Η τεχνική απαιτεί σχετική εκπαίδευση και εμπειρία για να παρέχει στους παραπέμποντες κλινικούς υψηλής ποιότητας απεικονίσεις.

Η δυναμική τεχνική εξακολουθεί και σήμερα να αποτελεί πλεονέκτημα της υπερηχογραφίας έναντι της αξονικής τομογραφίας και του μαγνητικού συντονισμού. Με τον τρόπο αυτό μια βλάβη απεικονίζεται σε πραγματικό χρόνο και κατά την κίνηση των παρακείμενων δομών τενόντων, θυλάκων μυών ή αρθρώσεων. Έτσι εξακριβώνεται η προέλευσή της.

Τα μαξιλάρια γέλης (**gel pads**), που έχουν αντικαταστήσει τις παλαιότερες «διαδρομές ύδατος», χρησιμοποιούνται για τη μελέτη πολύ επιφανειακών δομών του μυοσκελετικού, αποφεύγοντας την σημαντική πίεση του μεταλλάκτη επί των ιστών, των αγγείων και των συλλογών υγρών. Τα μαξιλάρια γέλης αυξάνουν τη διακριτική ικανότητα στο υπερηχογράφημα στους τόνους του γκριζού αλλά και στο έγχρωμο.⁵ Μαξιλάρια γέλης πάχους 10mm χρησιμοποιούνται επιβοηθητικά στους υψίσυχνους μεταλλάκτες με φάσμα συχνοτήτων 10 -14 MHz. Σε πλέον υψίσυχνους μεταλλάκτες χρησιμοποιούνται μικρότερου πάχους.

Η υπερηχογραφική ελαστογραφία αποτελεί πρόσφατη τεχνολογική εξέλιξη, που επιτρέπει τον μη επεμβατικό προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων των ιστών. Εμφανίστηκε το 1991 και χρησιμοποιείται σήμερα στην δημιουργία έγχρωμων χαρτών κατανομής συμπίεσης των ζωντανών ιστών σε πραγματικό χρόνο⁶ που επιπροστίθενται στην απεικόνιση β- τρόπου. Εξασκώντας διακοπτόμενη συμπίεση με το μεταλλάκτη στους υποκείμενους ιστούς του μυοσκελετικού, είτε με ελευθερο χέρι (**freehand elastography**) είτε με μηχανικό τρόπο (**transient elastography**), ανάλογα με την ελαστικότητα τους, προκαλείται μεταβολή στη διάδοση της ταχύτητας των εγκαρσίων υπερηχητικών κυμάτων. Από τη διαφορά των λαμβανόμενων σημάτων, πριν και μετά την συμπίεση, υπολογίζεται η δυνατότητα παραμόρφωσης ενός ιστού. Εάν η παραμόρφωση είναι χαμηλή, ο εξεταζόμενος ιστός είναι σκληρός ενώ εάν είναι υψηλή ο ιστός είναι μαλακός. Οι πληροφορίες της ελαστογραφίας συμπεριβάλλονται με τη δισδιάστατη, β-τρόπου απεικόνιση, με αποτέλεσμα την απεικόνιση περιοχών (χαρτών) χρώματος με διαφορετική κωδικοποίηση, ανάλογα με τη σκληρότητα του εξεταζόμενου υποκείμενου ιστού. Η υπερηχογραφική ελαστογραφία πραγματικού χρόνου σήμερα έχει προστεθεί στη μεγάλη πλειονότητα των σύγχρονων υπερηχογραφικών μηχανημάτων.

Με τη συμβατική υπερηχογραφία πολλές φορές είναι αδύνατη η διάκριση παθολογικών περιοχών από τους παρακείμενους ιστούς, λόγω της παραπλήσιας ηχογένειας. Σήμερα αναδεικνύονται με την ελαστογραφία ισοηχογενείς προς τους περιβάλλοντες ιστούς περιοχές ή παθολογικές δομές. Οι περιοχές που διακρίνονται με την ελαστογραφία, είτε οφείλονται σε φλεγμονές, είτε σε νεοπλασίες. Αρχικά η μέθοδος εφαρμόστηκε στον προστάτη, το μαστό και τα λεμφογάγγλια. Οι πρώτες αναφορές από μελέτες μυοσκελετικού δείχνουν ότι είναι δυνατή η διάκριση μεταξύ ενός εκφυλισμένου από έναν μερικώς ραγέντα τένοντα –πράγμα αδύνατο με τη συμβατική τεχνική. Είναι δυνατό να αποκαλυφθούν παθολογικές καταστάσεις σε όργανα που απεικονίζονται φυσιολογικά με τη συμβατική τεχνική, όπως στο σύνδρομο διαμερίσματος. Και είναι προφανές ότι ιστοί που περιέχουν λίπος, υγρό ή αρθρικό υμένα θα είναι μαλακότεροι από άλλους που περιέχουν ινώδες ή κολλαγό-



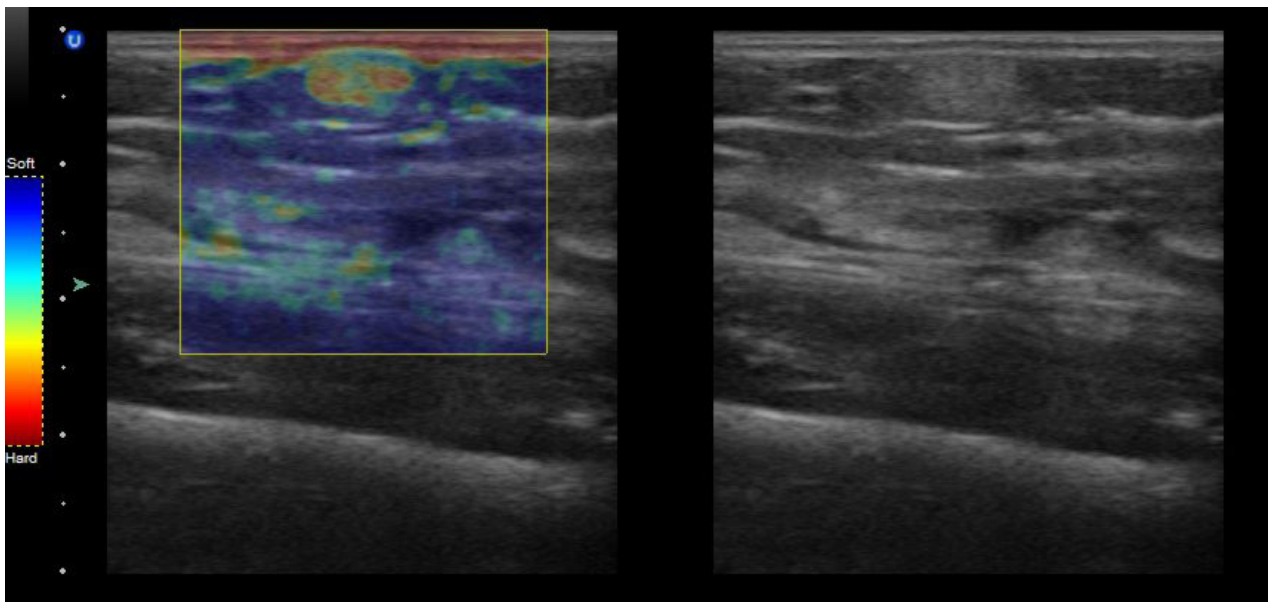
Εικ. 4 Επιμήκης τομές του αχιλλείου τένοντος σε περίπτωση μυξοειδούς εκφύλισης του οπίσθιου τμήματος του μέσου τριτημορίου του. Η απεικόνιση ελαστογραφίας πραγματικού χρόνου με την ταυτόχρονη απεικόνιση β τρόπου απεικονίζει την αυξημένη ιστική συμπίεστικότητα (μπλέ κωδικοποίηση) του διογκωμένου και υποηχογενούς τμήματος του τένοντος.

νο, αφού θα προσλαμβάνουν διαφορετικούς χρωματισμούς (Εικ. 4).

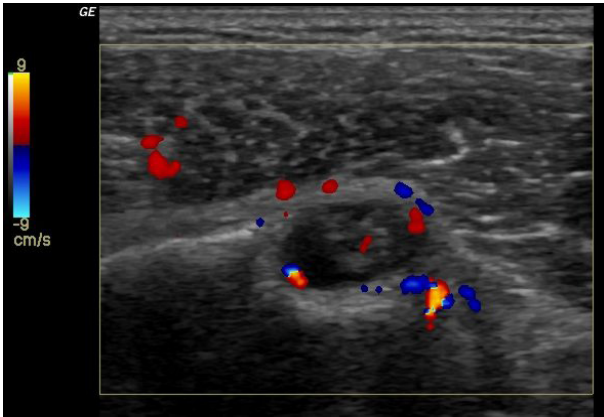
Πρώτη εφαρμογή στο μυοσκελετικό αποτέλεσε η μελέτη των ελαστικών ιδιοτήτων του Αχιλλείου τένοντα⁷ με σκοπό την διαφορική διάγνωση ισοηχογενών παθολογικών περιοχών του τένοντα που παρουσιάζουν οίδημα, αιμορραγίες, τενοντοπάθεια ή εκφυλιστική αλλοίωση (Εικ. 5). Μελετήθηκαν δύο τύποι ελαστογραφικής απεικόνισης του φυσιολογικού Αχιλλείου τένοντα –οι τύποι 1 και 2. Στον τύπο 1 επικρατούν τα μπλέ και πράσινα χρώ-

ματα ενώ στον τύπο 2 εμφανίζονται ερυθρές περιοχές μέσα στον τένοντα. Η μέθοδος έχει εφαρμοσθεί επίσης επί επικονδυλίτιδας του έξω κονδύλου⁸ για την απεικόνιση των τενόντιων αλλοιώσεων.

Η τεχνολογική εξέλιξη του έγχρωμου Doppler και του Doppler ισχύος (Power Doppler) οδήγησε στην εμφάνιση του πλέον «ευαίσθητου» Doppler, που είναι ικανό να απεικονίσει πολύ χαμηλές ροές σε πολύ επιφανειακά και λεπτά αγγεία. Σε αντίθεση με το έγχρωμο Doppler η ευαισθησία του Doppler ισχύος για τις χαμηλές ροές δεν εξαρτά-

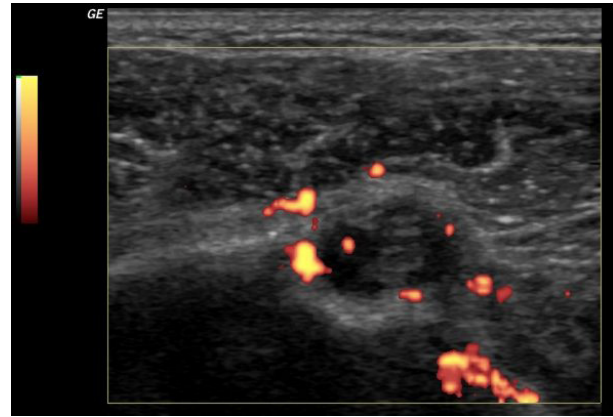


Εικ. 5 Ελαστογραφική απεικόνιση μόλις διαγραφόμενου λιπώματος του υποδοριού. Το μόρφωμα απεικονίζεται με κίτρινα και μπλέ χρώματα λόγω της ύπαρξης του σκληρότερου συνδετικού ιστού εντός αυτού. Το περιβάλλον του ογκιδίου, αποτελούμενο από μωσαϊκό μπλέ και πράσινων τόνων σχηματίζεται από τον λιπώδη ιστό του υποδοριού.



A

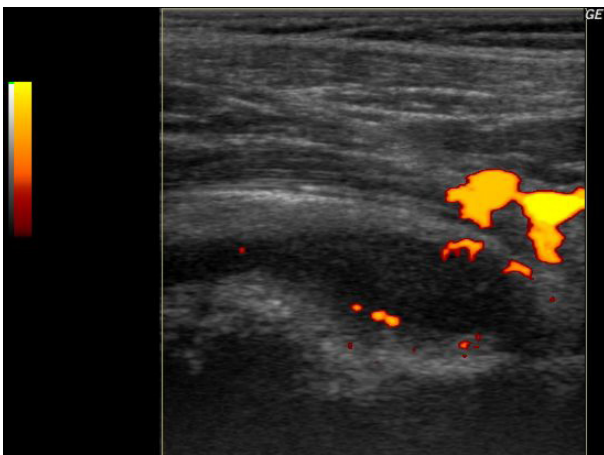
Εικ. 6 Εγκάρσια τομή του τένοντα του δικεφάλου ο οποίος είναι διογκωμένος και υποηχογενής, στο ύψος της αύλακος μεταξύ των βραχιονίων ογκωμάτων. Με το έγχρωμο Doppler (α) αλλά και το ευαίσθητο Doppler ισχύος (β) απεικονίζεται υπεραϊμία στα έλυτρα του τένοντα.



B

ται από τη γωνία πρόπτωσης (Εικ.6). Οι πληροφορίες που λαμβάνονται είναι χρήσιμες στην διάγνωση και παρακολούθηση ασθενών με ρευματοειδή αρθρίτιδα, νεοπλασίες ή με σύνδρομο υπερχρήσης. Στους ασθενείς με ρευματοειδή αρθρίτιδα το «ευαίσθητο» έγχρωμο Doppler αναδεικνύει την αυξημένη αιμάτωση στον παχυμένο αρθρικό υμένα της κατ' ισχίον άρθρωσης (Εικ.7), της κατά γόνυ άρθρωσης⁹, καθώς και των μικρών δακτύλων¹⁰, αναδεικνύοντας τις εξάρσεις της νόσου με μεγαλύτερη ευαισθησία από την κλινική εξέταση. Η μέθοδος επίσης, αναδεικνύει την βελτίωση που προκύπτει μετά την θεραπευτική αγωγή.

Το «ευαίσθητο» Doppler ισχύος χρησιμοποιείται επίσης στην διάγνωση της νεοαγγείωσης των τενόντων, όπως σε περιπτώσεις χρόνιου άλγους

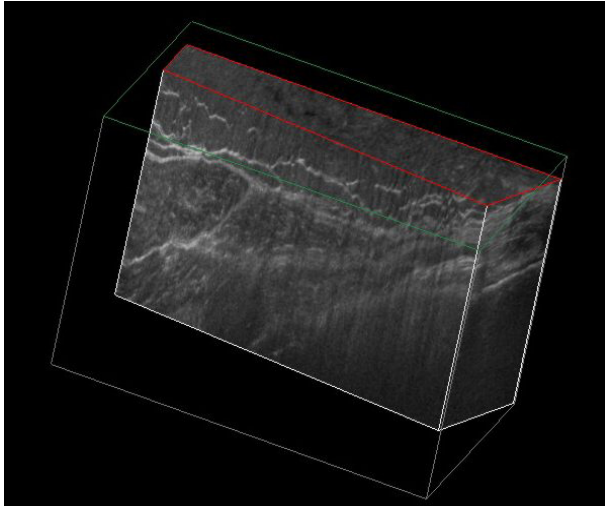


Εικ. 7 Απεικόνιση της χαμηλής ροής στον αρθρικό υμένα της κατ' ισχίον άρθρωσης παιδιού, σε περίπτωση υμενίτιδας του ισχίου.

του Αχιλλείου. Η παρουσία αυξημένης αιμάτωσης συσχετίζεται με αύξηση του πόνου και περιορισμό της κινητικότητας.¹¹

Και το «ευαίσθητο» όμως Doppler ισχύος έχει περιορισμούς στην ανίχνευση πάρα πολύ χαμηλών ροών ή ροών σε πολύ μικρά αγγεία, πράγμα που ενδιαφέρει στην ανάδειξη των παθήσεων, όπου υπάρχει αγγειογένεση. Οι δυνατότητες αυξάνονται στις περιπτώσεις αυτές με την έγχυση ηχοενισχυτικών ουσιών που δημιουργούν μικροφουσαλίδες, αυξάνοντας με τον τρόπο αυτό το λόγο σήματος προς θόρυβο και ανιχνεύοντας ακόμη χαμηλότερες ροές. Οι ηχοενισχυτικές ουσίες του τύπου των μικροφουσαλίδων αυξάνουν γενικά την ευαισθησία της υπερηχογραφικής εξέτασης, ενισχύοντας τις ανακλάσεις που προέρχονται από τα κινούμενα αιμοσφαίρια. Οι ηχοενισχυτικές ουσίες που εκλύουν μικροφουσαλίδες, απεικονίζοντας τις πολύ χαμηλές ροές, αναδεικνύουν την δραστηριότητα της ρευματικής αρθρίτιδας επί του αρθρικού υμένα, ο οποίος αποτελεί και το στόχο στη σύγχρονη θεραπευτική αντιμετώπιση. Σήμερα η αυξημένη αγγείωση του υπερτροφικού αρθρικού υμένα συνδυάζεται με τις εξάρσεις της νόσου.¹²

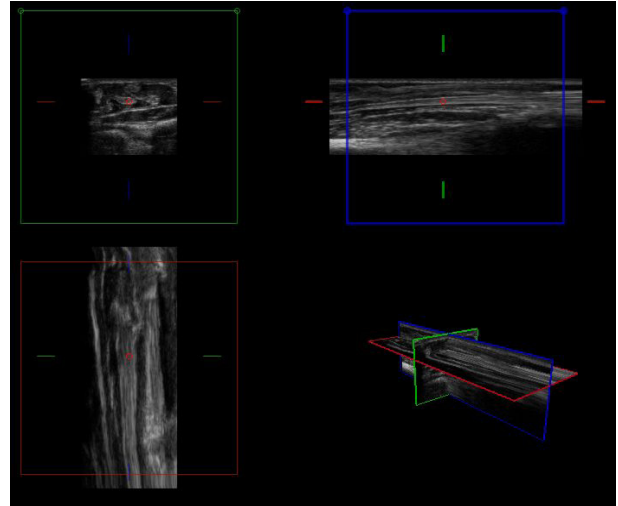
Με τις ηχοενισχυτικές ουσίες πρώτης γενεάς και με υπερηχογραφικές τεχνικές με υψηλό Μηχανικό δείκτη (MI), οι μικροφουσαλίδες καταστρέφονται σε σύντομο χρονικό διάστημα. Με της δεύτερης γενεάς ηχοενισχυτικές ουσίες που βασίζονται στις μη γραμμικές ιδιότητες των μικροφουσαλίδων παράγονται ενισχυμένα σήματα στην υπερηχογραφική απεικόνιση β-τρόπου. Η αρμονι-



Εικ. 8 Απεικόνιση τρισδιάστατου όγκου δεδομένων των μυών του μηρού, μετά την απόκτηση με ελεύθερο χέρι, με κοινό μεταλλάκτη γραμμικής σάρωσης.

κή απεικόνιση αντίθεσης εκμεταλλεύεται την ιδιότητα των μικροφουσαλίδων να συντονίζονται με την ηχητική δέσμη και να παράγουν στη συνέχεια επιστρέφουσες δέσμες σε αρμονικές συχνότητες, διαφορετικές της προσπίπτουσας. Οι αρμονικές συλλαμβάνονται από τους κρυστάλλους των μεταλλακτών πολλαπλών συχνοτήτων απεικονίζοντας αντιηχήσεις. Οι προαναφερθείσες τεχνικές με τη χρήση δεύτερης γενεάς ηχοενισχυτικών ουσιών επιτυγχάνουν απεικονίσεις στην κλίμακα του γκριζου, αποφεύγοντας τα τεχνικά σφάλματα του έγχρωμου Doppler όπως το σφάλμα ανεπαρκούς δειγματοληψίας του φάσματος Doppler (aliasing). Με τη χρήση επιπρόσθετα υπερηχογραφικής δέσμης χαμηλής ισχύος (δηλαδή χαμηλού MI) επιτυγχάνεται η συνεχής εξέταση, διότι οι ανακλώσες μικροφουσαλίδες δεν καταστρέφονται γρήγορα. Η τεχνική αυτή μεγιστοποιεί την αντίθεση και την χωρική διακριτική ικανότητα, καθιστώντας την ικανή να απεικονίσει την ιστική μικροκυκλοφορία.

Γίνεται εκμετάλλευση της δυνατότητας χορήγησης infusion των ηχοενισχυτικών ουσιών δεύτερης γενεάς όπου απαιτείται εξέταση αρκετής διάρκειας. Οι προαναφερόμενες τεχνικές -πιθανόν μαζί με το MRI-, θα οδηγήσουν σε ταχύτερη διάγνωση των πρώιμων αλλοιώσεων της ρευματοειδούς αρθρίτιδας σε σχέση με την συμβατική ακτινογραφία, επιτυγχάνοντας και την έγκαιρη θεραπευτική της αντιμετώπιση.⁵



Εικ. 9 Πολυεπίπεδη απεικόνιση τενόντων κατώτερου πήχη (δεξιά κάτω). Ανασυντίθενται ταυτόχρονα τομές σε εγκάρσιο, επίμηκες και στεφανιαίο.

Αντί της υποκειμενικής από τον χειριζόμενο τον υπέρηχο ιατρό αντίληψης της αυξημένης αιμάτωσης, η ανάπτυξη λογισμικών ποσοτικοποίησης των υπερηχογραφικών ευρημάτων, μπορεί να φανεί ιδιαίτερα χρήσιμη στην διαχρονική παρακολούθηση των ασθενών με ρευματολογικές παθήσεις¹³.

Η τεχνολογία 3D είτε αυτή αφορά την απεικόνιση στην κλίμακα των τόνων του γκριζου, είτε την έγχρωμη απεικόνιση, αποτέλεσε τη σημαντικότερη ίσως νέα τεχνολογία που ενσωματώθηκε στα υπερηχογραφικά συστήματα. Βοηθάει στην κατανόηση παθολογικών καταστάσεων των δομών του μυοσκελετικού, εντοπίζοντάς τες με ακρίβεια στο χώρο και σε σχέση με τα παρακείμενα όργανα. Για τις τρισδιάστατες απεικονίσεις παλαιότερα χρησιμοποιούντο οι συνήθεις μεταλλάκτες γραμμικής διάταξης, που κινούνταν κάθετα επί της κατεύθυνσης που επρόκειτο να σαρωθεί, με ελεύθερο χέρι (Εικ. 8)¹⁴. Σήμερα χρησιμοποιούνται εξειδικευμένοι 3D μεταλλάκτες –λίγο παχύτεροι από τους συνήθεις – που κρατούνται σταθερά επάνω στην προς εξέταση δομή. Οι μεταλλάκτες σαρώνουν την εξεταζόμενη περιοχή αυτόματα σε πολλά επίπεδα συλλογής δεδομένων. Τα δεδομένα αποθηκεύονται άμεσα στη μνήμη των συστημάτων δημιουργώντας τρισδιάστατους όγκους –πρακτικά κύβους- δεδομένων, που στη συνέχεια μπορούν να αναλυθούν σε τομές κατά τους άξονες x , y και z . Έτσι λαμβάνονται τομές με ανασύνθεση ταυτόχρονα σε εγκάρσιο, επίμηκες, στεφανιαίο.

νιαίο ή οποιοδήποτε άλλο επίπεδο της εξεταζόμενης δομής (Εικ.9). Οι τομές ανασύνθεσης όχι μόνο σε επίμηκες και εγκάρσιο αλλά και σε στεφανιαίο (που δεν είναι παντού εφικτές με το συμβατικό υπερηχογράφημα) προσθέτουν πληροφορίες χρήσιμες στην πλήρη κατανόηση της μορφολογίας μιας βλάβης.

Τα δεδομένα μπορούν να παρουσιαστούν σήμερα σαν αληθοφανείς τρισδιάστατες απεικονίσεις με τη χρήση πολλών αλγόριθμων όπως η απόδοση επιφάνειας (**surface rendering**), οι **διαφανείς αποδόσεις (transparent rendering)** η **προβολή μέγιστης έντασης MIP (Maximum intensity projection)** κλπ.⁵ Η τρισδιάστατη τεχνική αποδείχθηκε χρήσιμη στην αξιολόγηση της υμενικής υπερπλασίας. Η μέθοδος συνδυασμένη με το **Doppler ισχύος** παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για την αξιολόγηση της υμενίτιδας¹⁵ σε γόνατα με οστεοαρθρίτιδα, αλλά και στις μυϊκές κακώσεις.¹⁶

Η απεικόνιση **Fusion αποτελεί υβριδική απεικόνιση**, που συνδυάζει τις απεικονίσεις μέσω των με έξοδο συμβατή με τα πρωτόκολλα **Dicom**. Έτσι δημιουργούνται εικόνες από την επακριβή αλληλεπικάλυψη των υπερηχογραφικών εικόνων με αυτές που προέρχονται από αξονικό ή μαγνητικό τομογράφο.⁵ Η επαναστατική αυτή τεχνολογία επιτυγχάνει την σχεδόν ταυτόχρονη συλλογή δεδομένων των εικόνων και ακριβέστατη καταγραφή των δύο ανατομικών **data-sets από δύο μέσα**. Η **διαχείριση** του μεγάλου όγκου πληροφορίας που διακινεί η τεχνική αυτή παρέχει νέες δυνατότητες στην έρευνα και την κλινική πράξη. Στο μυοσκελετικό σύστημα έχει ήδη εφαρμοσθεί υπερηχογραφικά καθοδηγούμενη ενδοαρθρική έγχυση κορτικοστεροειδών στην ιερολαγόνιο άρθρωση, με επιβεβαίωση της ακρίβειας τοποθέτησης με αξονική τομογραφία.¹⁷ Έχει επίσης αναφερθεί η ταυτόχρονη απεικόνιση που προέρχεται από τον αξονικό τομογράφο της οστικής διάβρωσης κεφαλής μετακαρπίου μαζί με τεχνική **Doppler**, **προκακούμενου να συνδυαστεί** η απεικόνιση του οστού με την αυξημένη αιμάτωση που απεικονίζεται από το **Doppler**.²

Συμπερασματικά οι σύγχρονες τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα της απεικόνισης του μυοσκελετικού συστήματος ανοίγουν καθημερινά νέες διαγνωστικές – απεικονιστικές δυνατότητες στο μυοσκελετικό, σε όλους τους τομείς της έρευνας και της κλινικής εφαρμογής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Claudon M, Tranquart F, Evans DH et al. **Advances in ultrasound**. Eur Radiol. 2002,9:331-3.
2. Cimino MA, Grassi W. What is new in ultrasound and magnetic resonance imaging for musculoskeletal disorders? Best practice & research Clinical rheumatology 2008, 22(6):1141-8.
3. Whittingham TA. Broadband transducers. Eur Radiol 1999,9:298-303.
4. Lin EC, Middleton WD, Teefey SA. Extended field of view sonography in musculoskeletal imaging. J Ultrasound Med 1999, 18:147-52.
5. Klausner A, Peetrons P. Developments in musculoskeletal ultrasound and clinical applications. Skeletal Radiol. 2010,39:1061-1071.
6. Ophir J, Cespedes I, Ponnekanti H et al. Elastography: a quantitative method for imaging the elasticity of biological tissues. Ultrason Imaging 1991, 13:111-34.
7. Drakonaki EE, Allen GM, Wilson DJ. Real-time ultrasound elastography of the normal Achilles tendon: reproducibility and pattern description. Clinical Radiology 2009, 64(12):1196-1202.
8. De Zordo T, Lill SR, Fink C, et al. Value of real-time sonoelastography in lateral epicondylitis : comparison of findings between patients and healthy volunteers. AJR Am J Roentgenol 2009, 193(1):180-5.
9. Walther M, Harms H, Krenn V et al. Synovial tissue of the hip at power Doppler US: correlation between vascularity and Power Doppler US signal. Radiology 2002,225(1):225-31.
10. Hau M, Kneitz C, Tony HP et al. High resolution ultrasound detects a decrease in pannus vascularization of small finger joints in patients with rheumatoid arthritis receiving treatment with soluble tumour necrosis factor alpha receptor (etanercept) . Ann Rheum Dis 2002,61(1):55-8.
11. Zanetti M, Metzendorf A, Kundert HP et al. Achilles tendons: clinical relevance of neovascularization diagnosed with power Doppler US. Radiology. 2003, 227(2):556-60.

12. Bodolay E, Koch A, Kim J et al. **Angiogenesis and chemokines in rheumatoid arthritis and other systemic inflammatory rheumatic diseases.** *J Cell Mol Med.* 2002,6(3):357-76.
13. Adler RS, Fealy S, Rudzki JR et al. **Rotator cuff in asymptomatic volunteers: contrast-enhanced US depiction of intratendinous and peritendinous vascularity.** *Radiology.* 2008,248(3):954-61.
14. Ραφαηλίδης Δ, Γκιθκόπουλος Γ, Χριστόπουλος Σ. **Τρισδιάστατη υπερηχογραφία: Βασικές αρχές και πρώτες κλινικές εφαρμογές.** *Ακτινολογικά Χρονικά* 2003. 7(4):254-63.
15. Ju JH, Kang KY, Kim IJ. et al. **Three-dimensional ultrasonographic application for analyzing synovial hypertrophy of the knee in patients with osteoarthritis.** *J. Ultrasound Med.* 2008,27(5):729-36.
16. Serafin-Król M, Król R, Ziolkowski M et al. **Potential value of three-dimensional ultrasonography in diagnosing muscle injuries in comparison to two-dimensional examination: preliminary results.** *Orthop Traumatol Rehabil.* 2008,10(2):137-45.
17. Klauser A, De Zordo T, Feuchtner G et al. **Feasibility of ultrasound guided sacroiliac joint injection considering sonoanatomic landmarks at two different levels in cadavers and patients.** *Arthritis Rheum* 2008, 15;59(11):1618-24.