



ΕΕΙ



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΝΤΑΤΙΚΗ ΙΑΤΡΙΚΗ

ΣΥΝΤΟΜΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Χρήση υπερήχου στην εκτίμηση της Οξείας Νεφρικής Βλάβης: τι νεότερο

Μαρία Παπαϊωάννου, Βασίλειος Βουτσάς
Α Μονάδα Εντατικής Θεραπείας, Γ.Ν.Θ. «Γ. Παπανικολάου»

Διεύθυνση Επικοινωνίας: Μαρία Παπαϊωάννου
Α Επιμελήτρια ΕΣΥ
Α Μονάδα Εντατικής Θεραπείας, Γ.Ν.Θ. «Γ. Παπανικολάου»
e-mail: mariappnn@yahoo.com

Λέξεις-Κλειδιά: Υπέρηχος, Οξεία Νεφρική Βλάβη, renal Resistive Index, B-mode υπέρηχος, Power Doppler, VExUS, CEUS

Key words: Ultrasound, Acute Kidney Injury, renal Resistive Index B-mode ultrasound, Power Doppler, VExUS, CEUS



ΕΕΙ



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΝΤΑΤΙΚΗ ΙΑΤΡΙΚΗ

Περίληψη

Η εμφάνιση Οξείας Νεφρικής Βλάβης είναι πολύ συχνή σε ασθενείς που νοσηλεύονται σε Μονάδα Εντατικής Θεραπείας με ποσοστά που φθάνουν το 50% των νοσηλευόμενων και με σημαντική επίπτωση στη νοσηρότητα και θνητότητα. Η διάγνωση και σταδιοποίηση της Οξείας Νεφρικής Βλάβης γίνεται με βάση την τιμή της κρεατινίνης και την ποσότητα των αποβαλλόμενων ούρων σύμφωνα με τα κριτήρια της Kidney Disease Improving Global Outcome, όμως ο υπερηχογραφικός έλεγχος μπορεί να προσφέρει σημαντικές πληροφορίες για την αιτιολογία της Οξείας Νεφρικής Βλάβης (προνεφρικά, νεφρικά ή μετανεφρικά αίτια), τη χρονιότητα της βλάβης, τη βαρύτητα, αλλά και την πρόγνωση. Ο υπερηχογραφικός έλεγχος περιλαμβάνει το Δισδιάστατο Υπερηχογράφημα, το Δείκτη Νεφρικής Αρτηριακής Αντίστασης, την ημιποσοτική εκτίμηση της νεφρικής άρδευσης με το Power Doppler, την εκτίμηση με κυματομορφή Doppler των νεφρικών φλεβών, καθώς και τον υπερηχογραφικό έλεγχο με χρήση σκιαγραφικής ουσίας.



EEI



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΝΤΑΤΙΚΗ ΙΑΤΡΙΚΗ

Use of ultrasound in the assessment of Acute Kidney Injury: What is new

Abstract

Acute Kidney Injury (AKI) is a common problem in Intensive Care Unit (ICU) patients. In this brief review we will examine the evolving role of ultrasound in the diagnosis and prognosis of AKI in ICU patients, and the ultrasound methods implicated. Point of Care Ultrasound of Heart, Lungs, Inferior Vena Cava, Kidneys and Urinary Bladder can provide important information for pre- renal, intrinsic renal or post- renal causes of AKI. Renal Resistive Index (using Color and Pulsed Doppler) and Semiquantitative Power Doppler Ultrasound Score provide useful information on severity and possibly prognosis of AKI.

Venous Doppler allows the clinician to obtain real time semiquantitative data on the degree of venous congestion. Doppler alterations in hepatic, portal, and intra-renal veins reflect transmission of Right Atrial Pressure (RAP) to the peripheral organs and have been clearly associated with adverse clinical outcomes. Imaging with contrast enhanced ultrasound – CEUS, is a new method for detecting changes of microperfusion of kidneys in the early stages of AKI, which may help determine a clinical diagnosis and predict progression and prognosis of AKI.



ΕΕΙ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΝΤΑΤΙΚΗ ΙΑΤΡΙΚΗ

Εισαγωγή

Σε ασθενείς των Μονάδων Εντατικής Θεραπείας (ΜΕΘ) είναι πολύ συχνή η εμφάνιση Οξείας Νεφρικής Βλάβης (ΟΝΒ) με ποσοστά που φθάνουν το 50% των νοσηλευόμενων και με σημαντική επίπτωση στη νοσηρότητα και θνητότητα [1,2,3]. Ο υπερηχογραφικός έλεγχος μπορεί να προσφέρει σημαντικές πληροφορίες για την αιτιολογία της ΟΝΒ (προνεφρικά, νεφρικά ή μετανεφρικά αίτια), τη χρονιότητα, τη βαρύτητα, αλλά και την πρόγνωση της βλάβης [4]. Στη συνέχεια θα αναφέρουμε τα είδη και τις μεθόδους υπερηχογραφικού ελέγχου σε ασθενείς ΜΕΘ με εμφάνιση ΟΝΒ, αλλά και τη χρησιμότητά τους στην εκτίμηση και τη θεραπεία των ασθενών.

Δισδιάστατο Υπερηχογράφημα (B-mode)

Το B-mode παρέχει σημαντικές πληροφορίες σε περίπτωση μετανεφρικής απόφραξης, με χαρακτηριστικές εικόνες υδρονέφρωσης ή /και διάτασης της ουροδόχου κύστεως [5]. Επίσης, ενδεικτικά στοιχεία για την αιτία και τη χρονιότητα της νεφρικής βλάβης μπορούμε να έχουμε από το μήκος των νεφρών (μειωμένο συνήθως σε χρόνιες βλάβες), την ηχοανακλαστικότητα του νεφρικού φλοιού (αυξημένη συνήθως σε χρόνιες βλάβες) και το πάχος του νεφρικού φλοιού (μειωμένο συνήθως σε χρόνιες βλάβες) [6,7,8]. Σε πρόσφατη μελέτη ασθενών με ΟΝΒ το μέγεθος του νεφρού φάνηκε να είναι σημαντικά αυξημένο [9], όμως η διαφοροποίηση του μεγέθους ανάλογα με το ύψος, τη μάζα σώματος, την ηλικία και τη φυλή, καθιστούν δύσκολη την εκτίμηση του ευρήματος, αν δεν υπάρχει πρόσφατος υπερηχογραφικός έλεγχος. Ενδεικτικά στοιχεία Οξείας Σωληναριακής Νέκρωσης είναι η μειωμένη κινητικότητα του νεφρού κατά τις αναπνευστικές κινήσεις, η αύξηση του μεγέθους του νεφρού, η πάχυνση της νεφρικής κάψας και η αυξημένη ηχοανακλαστική διαφοροποίηση φλοιού - μυελού στα αρχικά στάδια [10].

Ο βασικός υπερηχογραφικός έλεγχος της καρδιάς, των πνευμόνων και των αγγείων (κάτω κοίλη φλέβα, έσω σφαγίτιδα) παρέχει εξαιρετικά σημαντικές πληροφορίες σε βαρέως πάσχοντες ασθενείς που εμφανίζουν ΟΝΒ [11]. Ο συνδυασμός μικρού μεγέθους κάτω κοίλης φλέβας και έσω σφαγίτιδας, με μικρές καρδιακές κοιλότητες με καλή συσταλτικότητα και πνευμονικά πεδία χωρίς Β-γραμμές, θέτει έντονα την υποψία υποογκαιμικής αιτιολογίας προνεφρικής ΟΝΒ [5].

Δείκτης Νεφρικής Αρτηριακής Αντίστασης (renal Resistive Index- rRI)



ΕΕΙ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΝΤΑΤΙΚΗ ΙΑΤΡΙΚΗ

Εκτιμάται με τη χρήση του Pulsed Wave Doppler, αφού πρώτα ανιχνευθούν ροές στις μεσολόβιες ή τοξοειδείς αρτηρίες του νεφρού με το Color Doppler. Υπολογίζεται με τη βοήθεια του τύπου: $rRI = [(\text{μέγιστη συστολική ταχύτητα} - \text{τελοδιαστολική ταχύτητα}) / \text{μέγιστη συστολική ταχύτητα}]$, με βάση τις τιμές συστολικής και διαστολικής ταχύτητας από την κυματομορφή του Pulsed Wave Doppler στις προαναφερθείσες αρτηρίες του νεφρικού παρεγχύματος. Η μέτρησή του θεωρείται ότι μπορεί να γίνει με σημαντική ακρίβεια μετά από σχετικά σύντομη εκπαίδευση των χρηστών [12]. Αποτελεί έναν από τους περισσότερο μελετημένους υπερηχογραφικούς δείκτες νεφρικής άρδευσης και αντίστασης σε ασθενείς ΜΕΘ. Η φυσιολογική τιμή του είναι 0,5- 0,7 .

Ο δείκτης rRI θεωρείται ότι αντανάκλα τις αντιστάσεις στη νεφρική κυκλοφορία και έχει υψηλότερες τιμές σε ONB [13,14,15,16,17]. Επίσης, η τιμή του είναι αυξημένη σε προχωρημένα στάδια ONB (αντικατοπτρίζοντας τη βαρύτητα της νεφρικής δυσλειτουργίας) και σε εμμένουσα ONB [13,15,16,17,18,19], ενώ η παραμονή υψηλής τιμής (>0,85) είναι προγνωστικός δείκτης για εγκατάσταση μόνιμης βλάβης [20]. Η αυξημένη τιμή του δείκτη σχετίζεται με αυξημένη θνητότητα και εμμένουσα νεφρική βλάβη [21]. Φυσιολογική τιμή του δείκτη σε ONB είναι ενδεικτική προνεφρικής αιτιολογίας και χρησιμοποιείται συμπληρωματικά στη διαφορική διάγνωση, καθιστώντας πιθανότερη μια νεφρική ή μετανεφρική αιτιολογία, ιδίως στα αρχικά στάδια της ONB [5].

Σε πρόσφατη μελέτη ο δείκτης ήταν υψηλότερος σε ασθενείς σε shock και είχε θετική συσχέτιση με τη δόση των αγγειοσυσπαστικών και την Κεντρική Φλεβική Πίεση, και αρνητική συσχέτιση με τη Μέση Αρτηριακή πίεση [22]. Θεωρείται ότι θα μπορούσε υπό προϋποθέσεις να χρησιμοποιηθεί για την τιτλοποίηση της δόσης των αγγειοσυσπαστικών, καθώς η αύξησή του από κάποια δοσολογία αγγειοσυσπαστικών και μετά σχετίζεται με αρνητικές πλέον επιπτώσεις στη νεφρική κυκλοφορία, παρά την ενδεχόμενη αύξηση της Μέσης Αρτηριακής πίεσης. Επιπλέον, σε μελέτη του 2015 η διούρηση μετά από τη χορήγηση υγρών φάνηκε να έχει καλύτερη συσχέτιση με τις αλλαγές στην τιμή του δείκτη παρά με τις αλλαγές στις τιμές της Μέσης Αρτηριακής πίεσης και του Όγκου Παλμού, χωρίς ωστόσο ο δείκτης να είναι αρκετά ευαίσθητος ώστε να προταθεί ως βασική παράμετρος για την καθοδήγηση στη χορήγηση υγρών [23]. Με τα μέχρι τώρα δεδομένα οι τιμές του δείκτη είναι απλά ενδεικτικές σε ότι αφορά την τιτλοποίηση δοσολογίας υγρών και αγγειοσυσπαστικών.



ΕΕΙ



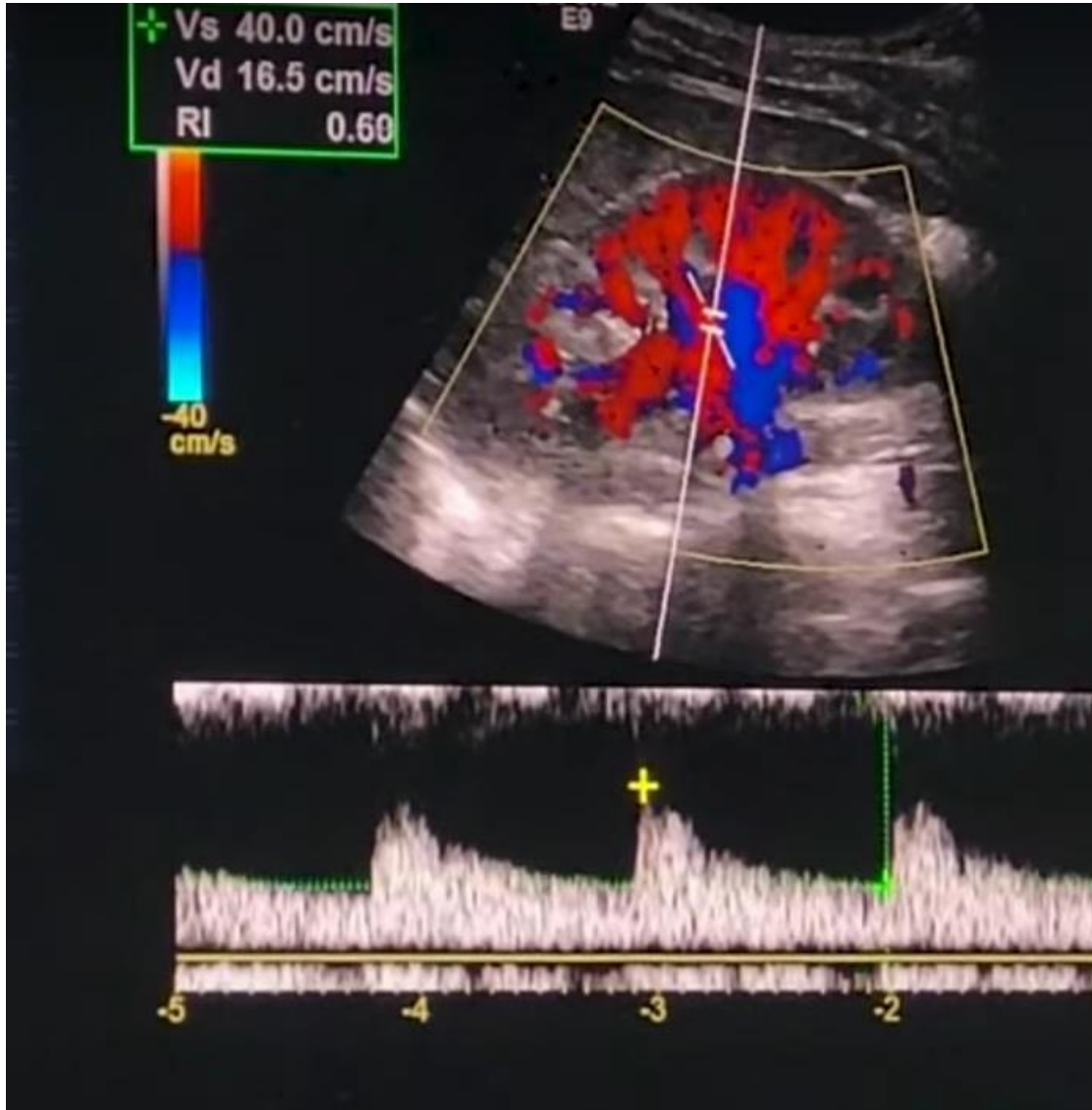
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΝΤΑΤΙΚΗ ΙΑΤΡΙΚΗ

Σε πρόσφατη μελέτη σε ασθενείς ΜΕΘ με λοίμωξη COVID-19, ο δείκτης ήταν υψηλότερος σε ασθενείς με ONB σταδίου III (σε στάδια I και II ήταν αυξημένος χωρίς όμως στατιστική σημαντικότητα), καθώς επίσης και σε ασθενείς με ολιγουρία και εμμένουσα νεφρική βλάβη [24].

Παρόλα αυτά η χρήση του rRI παρουσιάζει αρκετά προβλήματα, καθώς οι τιμές του επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες όπως: η ενδοκοιλιακή πίεση, η μέση αρτηριακή πίεση, ο όγκος παλμού, η ευενδοτότητα των αγγείων, η υποξία, η χρήση αγγειοσυσπαστικών φαρμάκων και το ιστορικό νεφρικής βλάβης [25,26,27]. Αποτέλεσμα αυτών των προβλημάτων είναι οι τιμές στις διάφορες μελέτες να εμφανίζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους και να μην υπάρχουν σαφώς καθορισμένα cut off values.

Η χρησιμότητα του rRI ως προγνωστικού δείκτη εμμένουσας ή μόνιμης νεφρικής βλάβης αποτελεί σημείο διχογνωμίας. Αρκετές μελέτες έδειξαν σημαντική προγνωστική αξία του rRI για την εξέλιξη σε ONB, αλλά και για εμμένουσα ή μόνιμη βλάβη [13,15,28,29,30]. Μετα-ανάλυση του 2015 όπου συμπεριλήφθησαν 9 μελέτες με 176 βαρέως πάσχοντες ασθενείς, ανέδειξε στατιστικά σημαντική συσχέτιση υψηλής τιμής του δείκτη με εμμένουσα νεφρική βλάβη, με σημαντική όμως ανομοιογένεια στους υπό εξέταση πληθυσμούς [19]. Αντίθετα, σε μεγάλη προοπτική πολυκεντρική μελέτη του 2018 με 351 ασθενείς, η προγνωστική αξία του δείκτη για ανάγκη εξωνεφρικής κάθαρσης και εμμένουσα βλάβη ήταν πτωχή, παρά το γεγονός ότι η τιμή του rRI ήταν υψηλότερη σε ασθενείς με ONB και σε ασθενείς με ανάγκη εξωνεφρικής κάθαρσης [25]. Σε προοπτική μελέτη του 2018 με 99 ασθενείς, η υψηλή τιμή του rRI είχε στατιστικά σημαντική προγνωστική αξία για εξέλιξη σε ONB σταδίου II ή III, όμως η προγνωστική αξία βελτιωνόταν με τη προσθήκη του APACHE III score και του ισοζυγίου ύδατος [31]. Το γεγονός αυτό υπογραμμίζει την πολυπλοκότητα των μηχανισμών στην ONB σε βαρέως πάσχοντες, και την αδυναμία μίας μόνο παραμέτρου, όπως ο rRI, να προβλέψει με ακρίβεια την εξέλιξη της βλάβης [32].

Συμπερασματικά, με τα μέχρι τώρα δεδομένα η υψηλή τιμή του rRI σχετίζεται με την εξέλιξη σε ONB, τη βαρύτητα της βλάβης και πιθανώς την εμμένουσα βλάβη, όμως η αξία του είναι ενδεικτική και συνυπολογίζεται με πλήθος άλλων παραμέτρων των ασθενών ΜΕΘ με ONB. Τέλος, σε πρόσφατες θέσεις ομοφωνίας της Ευρωπαϊκής Εταιρείας Εντατικής Θεραπείας για τη χρήση υπερήχου από Εντατικολόγους γίνεται αναφορά στο δείκτη ως πιθανώς απαραίτητη βασική δεξιότητα, χωρίς όμως τελικά να διατυπώνεται κάποια σύσταση [4]. (Εικόνα 1)

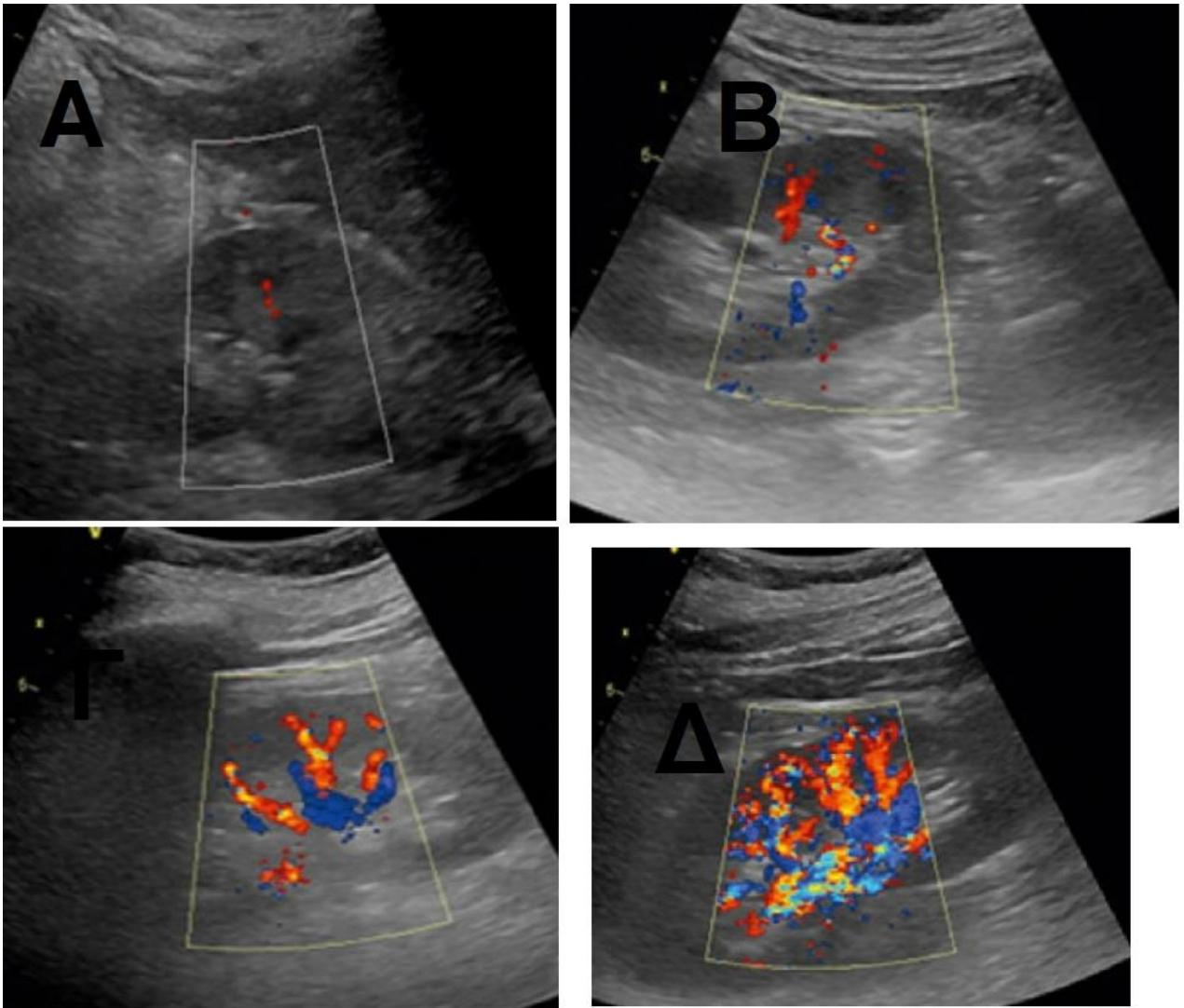


Εικόνα 1. Δείκτης rRI

Ημιοσοτική εκτίμηση της νεφρικής άρδευσης με το Power Doppler

Η χρήση του Power Doppler μπορεί να μας δώσει στοιχεία για την νεφρική αιμάτωση. Σε φυσιολογικό νεφρό το Power Doppler αναδεικνύει ένα διάχυτο σχεδόν ομοιογενές έγχρωμο σήμα, που αφορά σχεδόν ολόκληρο το νεφρικό παρέγχυμα [33]. Σε μελέτες έχει φανεί ότι το σήμα από το Power Doppler έχει καλή συσχέτιση με τα αποτελέσματα επεμβατικών μεθόδων εκτίμησης της νεφρικής αιμάτωσης [34,35]. Για την ημιοσοτική εκτίμηση και την καταγραφή του αντίστοιχου Power Doppler Ultrasound

Score (PDUS) το σήμα που λαμβάνεται κατατάσσεται σε μία από τις εξής 4 διαβαθμίσεις (πίνακας 1) [36] (Εικόνα 2)



Εικόνα 2. Διαβάθμιση Power Doppler Ultrasound A=score 0, B=score 1, Γ=score 2, Δ=score 3



ΕΕΙ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΝΤΑΤΙΚΗ ΙΑΤΡΙΚΗ

Πίνακας 1. Αξιολόγηση Power Doppler Ultrasound

ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ - SCORE	ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ
0	Δεν αναγνωρίζονται αγγεία
1	Αναγνωρίζονται λίγα αγγεία κοντά στη νεφρική πύλη
2	Αναγνωρίζονται πυλαίοι και μεσολόβιοι κλάδοι
3	Αναγνωρίζονται ως και τοξοειδείς κλάδοι, σε όλο πρακτικά το πεδίο

Η χρήση του θεωρείται εφικτή μετά από σύντομη σχετικά εκπαίδευση [12], μάλλον πιο εύκολη σε σχέση με το rRI [37], όμως η ποιότητα του λαμβανόμενου σήματος επηρεάζεται από καταστάσεις όπως παχυσαρκία, κοιλιακή διάταση / αεροπλήθεια και αιμοδυναμική αστάθεια [36].

Σε μελέτη του 2014 [12] η ημιποσοτική εκτίμηση με το PDUS φάνηκε να είναι αξιόπιστη για την εκτίμηση της νεφρικής αιμάτωσης. Οι τιμές rRI και PDUS σχετίζονταν μεταξύ τους (υψηλό rRI σχετίζονταν σταθερά με χαμηλό PDUS) και το PDUS είχε ικανοποιητική προγνωστική αξία για εμμένουσα νεφρική βλάβη. Σε πολυκεντρική μελέτη του 2018 το PDUS ήταν χαμηλότερο σε ασθενείς με ONB και σε ασθενείς με ανάγκη για εξωνεφρική κάθαρση, όμως η προγνωστική του αξία ήταν πτωχή για εμμένουσα νεφρική βλάβη και για ανάγκη εξωνεφρικής κάθαρσης. Και σε αυτή τη μελέτη οι τιμές rRI και PDUS σχετίζονταν μεταξύ τους (χαμηλό PDUS σχετιζόταν σταθερά με υψηλό rRI) [25]. Σε μελέτη του 2019 [37] σε 101 βαρέως πάσχοντες ασθενείς, το PDUS φάνηκε να έχει ικανοποιητική προγνωστική αξία για εξέλιξη σε ONB σταδίου III, αν και ο λόγος του rRI προς το PDUS είχε καλύτερα αποτελέσματα ως προγνωστικός δείκτης. Σε μελέτη του 2020 σε 148 ασθενείς (εκ των οποίων οι 80 είχαν χαμηλό Cardiac Index και οι 68 διατηρημένο Cardiac Index) το PDUS φάνηκε να είναι καλός προγνωστικός δείκτης για εξέλιξη σε ONB σταδίου III στους ασθενείς με ελαττωμένο Cardiac Index, όχι όμως σε ασθενείς με διατηρημένο Cardiac Index. Η προγνωστική αξία του PDUS φάνηκε να είναι ανώτερη από αυτήν του rRI [36]. Σε μελέτη του 2021 σε 83 ασθενείς (40 με σήψη και 43 με καρδιακή ανεπάρκεια) το PDUS φάνηκε να έχει καλή προγνωστική αξία για εξέλιξη σε ONB σταδίου III, σε ασθενείς με καρδιακή ανεπάρκεια, αλλά όχι σε ασθενείς με σήψη [38]. Σε μετα-ανάλυση του 2022 όπου αναλύθηκαν δεδομένα από 23 μελέτες (2400 ασθενείς) και συγκρίθηκε η προγνωστική αξία των rRI και PDUS για την εξέλιξη σε ONB, οι δύο δείκτες φάνηκαν να έχουν παρόμοια αποτελέσματα (AUC 0,83 και 0,86 αντίστοιχα). Η ανάλυση υποομάδων ασθενών έδειξε ότι ο rRI είχε καλύτερη προγνωστική αξία σε ομάδες ασθενών από Δυτικές χώρες, με μέσο όρο ηλικίας < 65 έτη, υψηλότερη



ΕΕΙ



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΝΤΑΤΙΚΗ ΙΑΤΡΙΚΗ

αναλογία ανδρών ασθενών και παθολογίες άλλες εκτός των καρδιοχειρουργικών επεμβάσεων. Αντίθετα, το PDUS είχε καλύτερη προγνωστική αξία σε ομάδες ασθενών από Ανατολικές χώρες, με μέσο όρο ηλικίας > 65 έτη και υψηλότερη αναλογία γυναικών ασθενών [29].

Συμπερασματικά, το PDUS φαίνεται να έχει σταθερά χαμηλότερες τιμές σε ασθενείς με ONB, η τιμή του σχετίζεται αντίστροφα με την τιμή του rRI, όμως η αξία του ως προγνωστικός δείκτης για τη νεφρική βλάβη δεν είναι σαφής και πιθανότατα επηρεάζεται από πλήθος παραγόντων (ηλικία, φυλή, φύλο, παθολογία και πρακτικές υπερηχογραφικού ελέγχου στις διάφορες χώρες).

Υπέρηχος Doppler φλεβικής συμφόρησης - Venous Excess Doppler Ultrasound (VExUS)

Η υπερφόρτωση υγρών οδηγεί σε φλεβική συμφόρηση αυξάνοντας την κεντρική φλεβική πίεση, ειδικά όταν η καρδιά ενός ασθενούς λειτουργεί στο επίπεδο τμήμα της Καμπύλης Frank-Starling, με αποτέλεσμα την εμφάνιση διάμεσου οιδήματος και τη μείωση της αιματικής ροής [39]. Επιπλέον, το διάμεσο οίδημα επηρεάζει την οξυγόνωση των ιστών αυξάνοντας την απόσταση διάχυσης οξυγόνου στο διάμεσο χώρο, μέσω της αιμοσφαιρίνης στα ερυθροκύτταρα, με τελικό αποτέλεσμα διαταραχή της νεφρικής λειτουργίας και συνοδό αύξηση της θνητότητας [40].

Πρόσφατα ο Beaubien-Souligny και οι συνεργάτες του πρότειναν ένα σύστημα βαθμολόγησης υπερήχου Doppler φλεβικής συμφόρησης - Venous Excess Doppler Ultrasound (VExUS) - για την ποσοτικοποίηση της συμφόρησης οργάνων. Στη μελέτη αυτή, σε μετεγχειρητικούς καρδιοχειρουργικούς ασθενείς, η παρουσία σοβαρών μεταβολών της ροής σε 2 ή περισσότερες φλέβες (ηπατικής, πυλαίας και των νεφρικών παρεγχυματικών φλεβών), σε συνδυασμό με την αυξημένη διάμετρο κάτω κοίλης φλέβας IVC (≥ 2 cm), διαπιστώθηκε ότι σχετίζεται με αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης AKI [41].

Η βαθμολογία VeXUS αποτελεί ένα επικυρωμένο πρωτόκολλο τεσσάρων σταδίων (πίνακας 2), που αξιολογεί την παρουσία και τη σοβαρότητα της συστηματικής φλεβικής συμφόρησης στην κάτω κοίλη φλέβα (IVC) και στα όργανα (ήπαρ, έντερο και νεφρούς) αξιολογώντας τη διάμετρο IVC, τις φλεβικές κυματομορφές της ηπατικής φλέβας (HV), της πυλαίας φλέβας (PV) και των μεσολοβιακών νεφρικών φλεβών χρησιμοποιώντας έγχρωμο Doppler (CD) και Doppler παλμικού κύματος (PWD) [42]. (Εικόνα 3)

	Ηπατική φλέβα	Πυλαία φλέβα	Ενδονεφρικές φλέβες
Φυσιολογική κυματομορφή			
Ήπια συμφόρηση			
Σοβαρή συμφόρηση			

Εικόνα 3. Δείκτες Υπερήχου Doppler φλεβικής συμφόρησης για την ηπατική φλέβα, την πυλαία φλέβα και τις ενδονεφρικές φλέβες

Ανακτήθηκε από: Prager R, *et al.*. Doppler identified venous congestion in septic shock: protocol for an international, multi-centre prospective cohort study (Andromeda-VEXUS). *BMJ Open*. 2023 Jul 24;13(7): e074843.

Πίνακας 2. Βαθμολογία Venous Excess Doppler Ultrasound (VExUS).

Στάδιο 0	Απουσία φλεβικής συμφόρησης IVC \leq 2,1cm
Στάδιο 1	Ήπια συμφόρηση IVC > 2,1cm + κάθε συνδυασμός φυσιολογικού ή ήπια παθολογικού προτύπου
Στάδιο 2	Μέτρια συμφόρηση IVC > 2,1cm + ένα σοβαρά παθολογικό πρότυπο
Στάδιο 3	Σοβαρή συμφόρηση IVC > 2,1cm + δύο ή περισσότερα σοβαρά παθολογικά πρότυπα



ΕΕΙ



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΝΤΑΤΙΚΗ ΙΑΤΡΙΚΗ

Ερμηνεία των αποτελεσμάτων από το πρωτόκολλο VExUS

1. Υπέρηχος Doppler ηπατικής φλέβας

Η ροή αίματος στην ηπατική φλέβα παράγει χαρακτηριστική τριφασική κυματομορφή (εικόνα 3). Το πρώτο ανάδρομο κύμα A αντιστοιχεί στη φάση της κοιλιακής συστολής, το μεγάλο μεταγενέστερο κύμα S αντιστοιχεί στη φάση συστολής της δεξιάς κοιλίας ενώ το ανάδρομο κύμα D αντιστοιχεί στη φάση χάλασης της δεξιάς κοιλίας. Καθώς η φλεβική συμφόρηση επιδεινώνεται, το κύμα S γίνεται ανάδρομο και συχνά γίνεται συνεχές με το κύμα A οδηγώντας σε διφασικό μοτίβο [43].

2. Υπέρηχος Doppler πυλαίας φλέβας

Η φυσιολογική κυματομορφή που παράγεται από τη ροή του αίματος στην πυλαία φλέβα είναι μία συνεχής μονοφασική ροή πάνω από τη βασική γραμμή με μικρές διακυμάνσεις (Εικόνα 3). Καθώς η φλεβική συμφόρηση επιδεινώνεται, η ροή στην πυλαία φλέβα γίνεται παλμική, με μείωση του βάθους της κατά τη συστολή της δεξιάς κοιλίας. Σε ακραίες περιπτώσεις, η ροή μπορεί να διακοπεί ή ακόμα και να έχει ανάδρομη συνιστώσα δίνοντας μια όψη πάνω – κάτω. Η κυματομορφή της πυλαίας φλέβας (PV) θεωρείται παθολογική όταν ο δείκτης σφυγμικότητας είναι μεγαλύτερος από 30%. Ο δείκτης παλμικότητας της πυλαίας φλέβας ορίζεται ως: $(V_{Max} - V_{Min} / V_{Max}) \times 100\%$, όπου V_{Max} είναι η μέγιστη και V_{Min} είναι η ελάχιστη ταχύτητα ροής αίματος κατά τη διάρκεια του καρδιακού κύκλου.

3. Υπέρηχος Doppler ενδονεφρικών φλεβών

Η φυσιολογική κυματομορφή που παράγεται από τη ροή του αίματος στις ενδονεφρικές φλέβες είναι μία συνεχής μονοφασική ροή κάτω από τη βασική γραμμή, που σταδιακά εξελίσσεται σε διφασική κυματομορφή ανάλογη με τα κύματα ροής S και D της ηπατικής φλέβας (Εικόνα 3). Παρόμοια με το πρότυπο της ηπατικής φλέβας, καθώς η φλεβική συμφόρηση επιδεινώνεται, το κύμα S γίνεται μικρότερο και το κύμα D κύμα μεγαλύτερο. Τελικά το κύμα S εξαφανίζεται εντελώς, αφήνοντας μόνο ένα μονοφασικό κύμα D.

	Φυσιολογική κυματομορφή	Φλεβική συμφόρηση	Σοβαρή φλεβική συμφόρηση
Ηπατική φλέβα	 S>D	 S<D	 Αναστροφή συστολικής ροής (S επάνω)
Πυλαία φλέβα	 Συνεχόμενη ροή	 Παλμική ροή (S, D επάνω)	 Παλινδρομική ροή (γύρω από το επίπεδο αναφοράς)
Νεφρική φλέβα	 Συνεχόμενη ροή	 Διφασική ροή	 Μονοφασική ροή

Εικόνα 4. Οι φυσιολογικές και παθολογικές κυματομορφές του υπερήχου Doppler

Ανακτήθηκε από: Spiegel R, Teeter W, Sullivan S, et al. The use of venous Doppler to predict adverse kidney events in a general ICU cohort. Crit Care. 2020; 24: 615

Υπέρηχος Doppler φλεβικής συμφόρησης και Οξεία Νεφρική Βλάβη (ONB)

Ο Spiegel και συνεργάτες έδειξαν ότι οι παθολογικές κυματομορφές στο Doppler της ροής αίματος στην ηπατική και την πυλαία φλέβα σχετίζονται με αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης μείζονων ανεπιθύμητων νεφρικών γεγονότων σε τριάντα ημέρες. Η συγκεκριμένη μελέτη υποστηρίζει ότι η πυλαία και η ηπατική ροή μπορεί να είναι χρήσιμα εργαλεία στον εντοπισμό ασθενών που διατρέχουν κίνδυνο εμφάνισης νεφρικής βλάβης. Αποτελούν ένδειξη αυξημένης πίεσης του δεξιού κόλπου και φλεβικής συμφόρησης και μπορούν να συμβάλουν στον εντοπισμό ασθενών στους οποίους η αναζωογόνηση με υγρά θα πρέπει να είναι πιο περιορισμένη [43]. Διαδοχική παρακολούθηση της



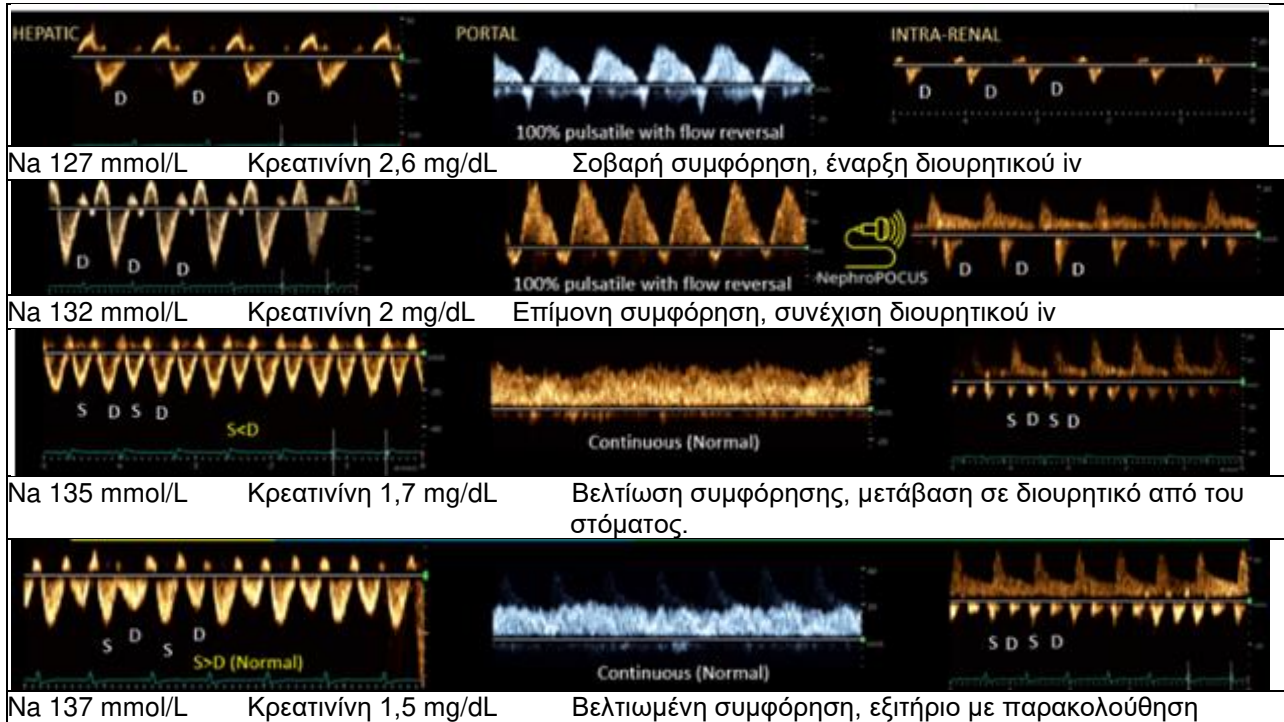
ΕΕΙ



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΝΤΑΤΙΚΗ ΙΑΤΡΙΚΗ

βαθμολογίας VEXUS φάνηκε να εμφανίζει συσχέτιση μεταξύ συστηματικής φλεβικής συμφόρησης και ανάπτυξης ONB σε καρδιοχειρουργημένους ασθενείς με καρδιονεφρικό σύνδρομο [44].

Η εκτίμηση της ενδονεφρικής φλεβικής ροής (intrarenal venous flow - IRVF) είναι χρήσιμη για την ανίχνευση φλεβικής συμφόρησης και συμφορητικής νεφροπάθειας, που σχετίζονται με μειωμένη νεφρική λειτουργία και ανάπτυξη ONB στον βαρέως πάσχοντα ασθενή [45]. Η παλμική ροή της πυλαίας φλέβας που ανιχνεύεται, μετά την εισαγωγή καρδιοχειρουργικών ασθενών στη ΜΕΘ σχετίζεται με την αύξηση του κινδύνου ανάπτυξης ONB, αποτελώντας έναν «βιοδείκτη υπερήχων» της συμφορητικού καρδιονεφρικού συνδρόμου [46]. Από την άλλη πλευρά, σε μελέτη που διενεργήθηκε στη ΜΕΘ, από τους Andrei και συνεργάτες, διαπιστώθηκε ότι ο επιπολασμός της μέτριας έως και σοβαρής συστηματικής φλεβικής συμφόρησης ήταν χαμηλός, ενώ η έγκαιρη αξιολόγηση της συστηματικής φλεβικής συμφόρησης δεν συσχετίστηκε με AKI ή θνητότητα 28 ημερών [47]. Ο Eljaiek και συνεργάτες διαπίστωσαν ότι το κλάσμα παλμικότητας της πυλαίας φλέβας $\geq 50\%$ συσχετίστηκε με υψηλότερη διεγχειρητική συσσώρευση υγρών, καθώς και σημαντικές επιπλοκές, συμπεριλαμβανομένων της σοβαρής ONB και της χειρουργικής επανεπέμβασης [48] (Εικόνα 5)



Εικόνα 5: Παράδειγμα που δείχνει πώς η θεραπεία με διουρητικά οδήγησε στην ταυτόχρονη βελτίωση και των τριών κυματομορφών (ηπατικής, πυλαίας και ενδονεφρικής) παράλληλα με τη βελτίωση των επιπέδων κρεατινίνης ορού και νατρίου. Η βελτίωση στην πυλαία φλέβα τυπικά προηγείται εκείνης των ηπατικών και νεφρικών φλεβών. Επιπλέον, η ανάκτηση της ενδονεφρικής φλεβικής κυματομορφής μπορεί να καθυστερήσει (πιθανότατα λόγω νεφρικού διάμεσου οιδήματος). Ανακτήθηκε από: VEXUS in Nephrology: Case Examples.

<https://nephroOCUS.com/2023/11/20/vexus-in-nephrology-case-examples/>

Υπερηχογράφημα με ενίσχυση της αντίθεσης (*contrast-enhanced US – CEUS*)

Το υπερηχογράφημα με ενίσχυση της αντίθεσης (CEUS) είναι μια σχετικά νέα εφαρμογή που διευρύνει τις δυνατότητες της παραδοσιακής υπερηχογραφίας. Βασίζεται σε ενισχυτικές ουσίες που περιέχουν μικροφουσαλίδες αερίου εξαφθοριούχου θείου, που έχουν υψηλό βαθμό ηχογένειας και είναι έντονα ηχοανακλαστικές σε σχέση με τους περιβάλλοντες ιστούς λόγω διαφορετικών φυσικών ιδιοτήτων και συμπεριφοράς [49].

Οι μικροφουσαλίδες περιβάλλονται από κέλυφος από εύκαμπτο βιοσυμβατό υλικό (φωσφολιπίδιο, γαλακτόζη, πρωτεΐνη ή πολυμερή), πάχους 10-200nm. Το περίβλημα αυτό αυξάνει την σταθερότητα των μικροφουσαλίδων, εμποδίζει τη διάχυση του αερίου στο αίμα και προσδίδει ελαστικότητα, η οποία είναι σημαντική τόσο για την αντοχή, όσο και για την ταλάντωση των μικροφουσαλίδων [50]. Αυτές οι



ΕΕΙ



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΝΤΑΤΙΚΗ ΙΑΤΡΙΚΗ

μικροφουσαλίδες συνήθως κυμαίνονται από 1 έως 8 μm σε διάμετρο – ενώ η διάμετρος των ερυθρών αιμοσφαιρίων είναι περίπου 7,8 μm – γεγονός που τους επιτρέπει να οδηγηθούν από το σημείο που ενίονται ενδοφλεβίως, στη δεξιά καρδιά και την πνευμονική κυκλοφορία και μετά να περάσουν στις αριστερές καρδιακές κοιλότητες. Παραμένουν στην κυκλοφορία για 3-5 λεπτά και στη συνέχεια καταστρέφονται. Το κέλυφος τους μεταβιβάζεται από το δίκτυο-ενδοθηλιακό σύστημα (φαγοκυτταρώνονται από τα κύτταρα του δικτυοενδοθηλιακού συστήματος, σαν να είναι ξένα σώματα) ή μέσω μεταβολισμού λιπαρών οξέων, και το αέριο απομακρύνεται από τους πνεύμονες [51].

Η σοβαρότερη παρενέργεια από τη χορήγηση του σκιαστικού παραμένει μια σοβαρή αλλεργική αντίδραση με συχνότητα μικρότερη από 1:10.000. Οι παρενέργειες είναι συνήθως ήπιες και παροδικές, όπως κεφαλαλγία, ναυτία, έξαψη, άλγος στη ράχη, παραισθησία, αλλοίωση της γεύσης ή επιπλοκές στο σημείο που ενίεται το σκιαγραφικό [51].

Υπερηχογράφημα με ενίσχυση της αντίθεσης και Οξεία Νεφρική Βλάβη (ONB)

Το υπερηχογράφημα με ενίσχυση της αντίθεσης, δεν εμφανίζει κίνδυνο νεφροτοξικότητας, διενεργείται παρά την κλίση του ασθενούς και χρησιμοποιείται για την ημιποσοτική και λειτουργική αξιολόγηση της νεφρικής μικροαγγειακής αιμάτωσης. Ο Schneider και συνεργάτες σε μια μελέτη που διενεργήθηκε σε καρδιοχειρουργημένους ασθενείς με αυξημένο κίνδυνο για AKI, χρησιμοποιώντας υπερηχογράφημα CEUS, διαπίστωσαν ότι οι παράμετροι που ελέγχθηκαν με το CEUS (δείκτης διάχυσης PI, σχετικός όγκος αίματος RBV και μέσος χρόνος διέλευσης mTT) ανέδειξαν μείωση της νεφρικής αιμάτωσης εντός 24 ωρών από τη χειρουργική επέμβαση [52].

Ο Song και συνεργάτες παρακολούθησαν την αιμάτωση της νεφρικής μικροκυκλοφορίας σε 58 ασθενείς, σε ένα 24ώρο μετά την εισαγωγή τους στη ΜΕΘ, χρησιμοποιώντας το CEUS υπερηχογράφημα στο φλοιό και το μυελό του νεφρού. Οι συγγραφείς διαπίστωσαν ότι το CEUS είναι πιο ευαίσθητο στην εκτίμηση της νεφρικής αιμάτωσης σε ασθενείς ΜΕΘ με ONB και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την έγκαιρη εκτίμηση της νεφρικής βλάβης. Συγκεκριμένα σε ασθενείς με ONB, οι παράμετροι που αφορούν στην αιματική παροχή του όγκου εμφανίζονται αυξημένοι τόσο στο μυελό όσο και στο νεφρικό φλοιό, πιθανώς λόγω ενδονεφρικής στάσης και επιβράδυνσης του μεταβολισμού του σκιαγραφικού [53].



ΕΕΙ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΝΤΑΤΙΚΗ ΙΑΤΡΙΚΗ

Ανάλογα ευρήματα δημοσιεύτηκαν σε μια προοπτική μελέτη των Υοοη και συνεργατών, όπου παρατήρησαν ότι αρκετές αλλαγές στις παραμέτρους διάχυσης CEUS που υπολογίζονται από τις καμπύλες έντασης σήματος – χρόνου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της βαρύτητας της νεφρικής βλάβης και για την πρόβλεψη της έκβασης του AKI, δηλαδή την έναρξη αιμοδιαδίθησης ή την αποκατάσταση της νεφρικής βλάβης [54].

Φάνηκε ότι το CEUS δύναται να προσδιορίσει τη βαρύτητα του AKI, ώστε να ποσοτικοποιηθεί η ανεπάρκεια της νεφρικής αιμάτωσης σε ισχαιμική ONB με την πάροδο του χρόνου. Η νεφρική αιμάτωση, που εκτιμάται με το CEUS στο πρώιμο στάδιο ισχαιμικής ONB, σχετίζεται με οξεία νεφρική ανατομική και λειτουργική δυσλειτουργία και προβλέπει τη μετέπειτα ανάπτυξη της Χρόνιας Νεφρικής Νόσου (ΧΝΝ) με εξαιρετική ακρίβεια [55].

Συμπερασματικά, η βαθμολόγηση VEXUS μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο για την ημιποσοτική εκτίμηση του βαθμού φλεβικής συμφόρησης και τη διαχείριση ασθενών στη ΜΕΘ, αρχικά ως παράμετρος διακοπής και/ή αφαίρεσης υγρών κατά την αναζωογόνηση (σήψη, υποογκαιμία). Επιπλέον, είναι δυνατόν να εφαρμοστεί ως παράμετρος ρουτίνας στην αξιολόγηση των ασθενών με ONB για προσθήκη/αύξηση της δόσης διουρητικού και/ή ινóτροπης υποστήριξης. Η απεικόνιση με το υπερηχογράφημα με ενίσχυση της αντίθεσης - CEUS αποτελεί ένα αξιόλογο εργαλείο για την εκτίμηση της μικροκυκλοφορίας και την ιστική αιμάτωση του νεφρού. Επιπλέον, το CEUS είναι μια σχετικά απλή διαδικασία, με απουσία ακτινοβολίας και νεφροτοξικότητας και μπορεί να εφαρμοστεί σε βαρέως πάσχοντες ασθενείς της ΜΕΘ.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο υπερηχογραφικός έλεγχος ασθενών ΜΕΘ που παρουσιάζουν ONB μπορεί να προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες για την αιτιολογία, τη βαρύτητα και τη πρόγνωση της βλάβης. Οι συχνότερες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι το Δισδιάστατο Υπερηχογράφημα, ο Δείκτης Νεφρικής Αρτηριακής Αντίστασης, η ημιποσοτική εκτίμηση της νεφρικής άρδευσης με το Power Doppler, η εκτίμηση των νεφρικών φλεβών με κυματομορφή Doppler, καθώς και ο έλεγχος με χρήση σκιαγραφικής ουσίας. Η συμβολή των μεθόδων αυτών στην καλύτερη αντιμετώπιση των ασθενών



ΕΕΙ



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΝΤΑΤΙΚΗ ΙΑΤΡΙΚΗ

τεκμηριώνεται σταδιακά στη διεθνή βιβλιογραφία, και η εξοικείωση των εντατικολόγων με αυτές πιθανώς θα είναι απαραίτητη στο άμεσο μέλλον.

Δήλωση σύγκρουσης συμφερόντων: Οι συγγραφείς δηλώνουν πως δεν υπάρχει καμιά σύγκρουση συμφερόντων



EEI

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΝΤΑΤΙΚΗ ΙΑΤΡΙΚΗ

Βιβλιογραφία

1. Ostermann M, Hall A, Crichton S. Low mean perfusion pressure is a risk factor for progression of acute kidney injury in critically ill patients— a retrospective analysis. *BMC Nephrol.* 2017; 18:151.
2. Haddock BT, Francis ST, Larsson HBW, et al. Assessment of perfusion and oxygenation of the human renal cortex and medulla by quantitative MRI during handgrip exercise. *J Am Soc Nephrol.* 2018; 29: 2510– 2517.
3. Silverton NA, Lofgren LR, Hall IE, et al. Noninvasive urine oxygen monitoring and the risk of acute kidney injury in cardiac surgery. *Anesthesiology.* 2021; 135: 406–418.
4. Robba C, Wong A, Poole D, et al. Basic ultrasound head-to-toe skills for intensivists in the general and neuro intensive care unit population: consensus and expert recommendations of the European Society of Intensive Care Medicine. *Intensive Care Med.* 2021; 47:1347–1367.
5. Moses AA, Fernandez HE. Ultrasonography in Acute Kidney Injury. *POCUS J.* 2022; 7: 35-44.
6. Emamian SA, Nielsen MB, Pedersen JF, Ytte L. Kidney dimensions at sonography: correlation with age, sex, and habitus in 665 adult volunteers. *Am J Roentgenol.* 1993; 160: 83-86.
7. Moghazi S, Jones E, Schroeppele J, et al. Correlation of renal histopathology with sonographic findings. *Kidney Int.* 2005; 67: 1515-1520.
8. Takata T, Koda M, Sugihara T, et al. Left Renal Cortical Thickness Measured by Ultrasound Can Predict Early Progression of Chronic Kidney Disease. *Nephron.* 2016; 132: 25-32.
9. Liu C, Wang X. Clinical Utility of Ultrasonographic evaluation in Acute Kidney Injury. *Transl Androl Urol.* 2020; 9: 1345-1355.
10. Enikeev V, Glybochko P, Alyaev Y, et al. Imaging technologies in the diagnosis and treatment of acute pyelonephritis. *Urologia.* 2017; 84: 179–184.
11. Koratala A, Ronco C, Kazory A. Multi-Organ Point of Care Ultrasound in Acute kidney injury. *Blood Purif.* 2022; 51: 967–971.
12. Schnell D, Reynaud m, Venot M, et al. Resistive Index or Color-Doppler semi-quantitative evaluation of renal perfusion by inexperienced physicians: results of a pilot study. *Minerva Anesth.* 2014; 80: 1273-1281.



EEI

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΝΤΑΤΙΚΗ ΙΑΤΡΙΚΗ

13. Lerolle N, Guerot E, Faisy C, et al. Renal failure in septic shock: Predictive value of Doppler-based renal arterial resistive index. *Intensive Care Med.* 2006; 32: 1553–1559.
14. Bossard G, Bourgoin P, Corbeau JJ, et al. Early detection of postoperative acute kidney injury by Doppler renal resistive index in cardiac surgery with cardiopulmonary bypass. *Br J Anaesth.* 2011; 107: 891–898.
15. Darmon M, Schortgen F, Vargas F, et al. Diagnostic accuracy of Doppler renal resistive index for reversibility of acute kidney injury in critically ill patients. *Intensive Care Med.* 2011; 37: 68–76.
16. Schnell D, Deruddre S, Harrois A, et al. Renal Resistive Index Better Predicts the Occurrence of Acute Kidney Injury Than Cystatin C. *Shock.* 2012; 38: 592–597.
17. Wu H, Qin H, Ma W, et al. Can Renal Resistive Index Predict Acute Kidney Injury After Acute Type A Aortic Dissection Repair? *Ann Thorac Surg.* 2017; 104: 1583–1589.
18. Barbani F, Boddi M, Cammelli R, et al. Prognostic value of doppler based renal arterial resistive index in critically ill patients with acute kidney injury. *Intensive Care Medicine.* 2010; S177.
19. Ninet S, Schnell D, Dewitte A, et al. Doppler-based renal resistive index for prediction of renal dysfunction reversibility: a systematic review and meta-analysis. *J Crit Care.* 2015; 30: 629–635.
20. Peris A, Barbani F, Spinelli E, et al. Role of renal resistive index to assess renal perfusion in ICU patients. *Intern Emerg Med.* 2012; 7: S1–2.
21. Boddi M, Bonizzoli M, Chiostrì M, et al. Renal Resistive Index and mortality in critical patients with acute kidney injury. *Eur J Clin Invest.* 2016; 46: 242–251.
22. Rozemeijer S, Haitsma Mulier JLG, Röttgering JG, et al. Renal Resistive Index: Response to Shock and its Determinants in Critically Ill Patients. *Shock.* 2019; 52: 43–51.
23. Moussa MD, Scolletta S, Fagnoul D, et al. Effects of fluid administration on renal perfusion in critically ill patients. *Crit Care.* 2015; 19: 250.
24. Renberg M, Jonmarker O, Kilhamn N, et al. Renal Resistive index is associated with Acute kidney injury in COVID-19 patients treated in the intensive Care Unit. *Ultrasound J.* 2021; 13:

3



EEI

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΝΤΑΤΙΚΗ ΙΑΤΡΙΚΗ

25. Darmon M, Bourmaud A, Reynaud M, et al. Performance of Doppler-based resistive index and semi-quantitative renal perfusion in predicting persistent AKI: results of a prospective multicenter study. *Intensive Care Med.* 2018; 44: 1904–1913.
26. Ponte B, Pruijm M, Ackermann D, et al. Reference values and factors associated with renal resistive index in a family-based population study. *Hypertension.* 2014; 63: 136–142.
27. Spatola L, Andrulli S. Doppler ultrasound in kidney diseases: a key parameter in clinical long-term follow-up. *J Ultrasound.* 2016; 19: 243-250.
28. Kidney Disease: Improving Global Outcomes (KDIGO) Acute Kidney Injury Work Group. KDIGO Clinical Practice Guideline for Acute Kidney Injury. *Kidney Int Suppl.* 2012; 2: 1–138.
29. Wei Q, Zhu Y, Zhen N, et al. Performance of resistive index and semi-quantitative power doppler ultrasound score in predicting acute kidney injury: A meta-analysis of prospective studies. *PLoS One.* 2022; 17: e0270623.
30. Deeks JJ, Macaskill P, Irwig L. The performance of tests of publication bias and other sample size effects in systematic reviews of diagnostic test accuracy was assessed. *J Clin Epidemiol.* 2005; 58: 882-893.
31. Haitsma Mulier J, Rosemejer S, Rottegering J, et al. Renal resistive index as an early predictor and discriminator of acute kidney injury in critically ill patients; A prospective observational cohort study. *PLoS One.* 2018; 13: e0197967.
32. Darmon M, Schnell D, Schneider A. Monitoring of renal perfusion. *Intensive Care Med.* 2022; 48: 1505–1507.
33. Schnell D, Darmon M. Bedside Doppler ultrasound for the assessment of renal perfusion in the ICU: advantages and limitations of the available techniques. *Crit Ultrasound J.* 2015; 7: 24.
34. Bude RO, Rubin JM, Adler RS. Power versus conventional color Doppler sonography: comparison in the depiction of normal intrarenal vasculature. *Radiology.* 1994; 192: 777–780.
35. Kuwa T, Cancio LC, Sondeen JL, et al. Evaluation of renal cortical perfusion by noninvasive power Doppler ultrasound during vascular occlusion and reperfusion. *J Trauma.* 2004; 56: 618–624.



EEI

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΝΤΑΤΙΚΗ ΙΑΤΡΙΚΗ

36. Zhia H, Lib Y, Wangb B, et al. Renal echography for predicting acute kidney injury in critically ill patients: a prospective observational study. *Ren Fail.* 2020; 42: 263-269.
37.]Zhi H, Zhao J, Nie S, et al. Prediction of acute kidney injury: the ratio of renal resistive index to semiquantitative power Doppler ultrasound score-a better predictor? *Medicine.* 2019; 98: 21.
38. Zhi H, Zhao J, Nie S, et al. Semiquantitative power Doppler ultrasound score to predict Acute Kidney Injury in patients with Sepsis or Cardiac failure. *Intensive Care Med.* 2021; 36: 115-122.
39. Damman K, van Deursen VM, Navis G, et al. Increased central venous pressure is associated with impaired renal function and mortality in a broad spectrum of patients with cardiovascular disease. *J Am Coll Cardiol.* 2009; 53: 582-588.
40. Lim HS. Cardiogenic Shock: Failure of Oxygen Delivery and Oxygen Utilization. *Clin Cardiol.* 2016; 39: 477-483.
41. Beaubien-Souliny W, Rola P, Haycock K, et al. Quantifying systemic congestion with Point-Of-Care ultrasound: development of the venous excess ultrasound grading system. *Ultrasound J.* 2020; 12: 16.
42. Soliman-Aboumarie H, Denault AY. How to assess systemic venous congestion with point of care ultrasound. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2023; 24: 177-180.
43. Spiegel R, Teeter W, Sullivan S, et al. The use of venous Doppler to predict adverse kidney events in a general ICU cohort. *Crit Care.* 2020; 24: 615.
44. Bhardwaj V, Vikneswaran G, Rola P, et al. Combination of Inferior Vena Cava Diameter, Hepatic Venous Flow, and Portal Vein Pulsatility Index: Venous Excess Ultrasound Score (VEXUS Score) in Predicting Acute Kidney Injury in Patients with Cardiorenal Syndrome: A Prospective Cohort Study. *Indian J Crit Care Med.* 2020; 24: 783-789.
45. Bianchi Bosisioa NSM, Romero-González G, De Silvestri A, et al. Doppler-based evaluation of intrarenal venous flow as a new tool to predict acute kidney injury: A systematic review and meta-analysis. *Nefrologia.* 2023; 1153: 1-10.



EEI



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΝΤΑΤΙΚΗ ΙΑΤΡΙΚΗ

46. Beaubien-Souligny W, Eljaiek R, Fortier A, et al. The Association Between Pulsatile Portal Flow and Acute Kidney Injury after Cardiac Surgery: A Retrospective Cohort Study. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2018; 32: 1780-1787.
47. Andrei S, Bahr PA, Nguyen M, et al. Prevalence of systemic venous congestion assessed by Venous Excess Ultrasound Grading System (VExUS) and association with acute kidney injury in a general ICU cohort: a prospective multicentric study. *Crit Care.* 2023; 27: 224.
48. Eljaiek R, Cavayas YA, Rodrigue E, et al. High postoperative portal venous flow pulsatility indicates right ventricular dysfunction and predicts complications in cardiac surgery patients. *Br J Anaesth.* 2019; 122: 206-214.
49. Karogiannis N, Senior R. Contrast echocardiography for detection of myocardial perfusion abnormalities: A clinical perspective. *Herz.* 2017; 42: 287-294.
50. Quaia E. Contrast-specific ultrasound techniques. *Radiol Med.* 2007; 112: 473-490.
51. Platts DG, Luis SA, Roper D, et al. The safety profile of perflutren microsphere contrast echocardiography during rest and stress imaging: results from an Australian multicentre cohort. *Heart Lung Circ.* 2013; 22: 996-1002.
52. Schneider AG, Goodwin MD, Schelleman A, et al. Contrast-enhanced ultrasound to evaluate changes in renal cortical perfusion around cardiac surgery: a pilot study. *Crit Care.* 2013; 17: R138.
53. Song Y, Mei J, Xu D, Ma Y. Evaluation of Contrast-Enhanced Ultrasound in Diagnosis of Acute Kidney Injury of Patients in Intensive Care Unit. *Int J Gen Med.* 2023; 16: 2229-2236.
54. Yoon HE, Kim DW, Kim D, et al. A pilot trial to evaluate the clinical usefulness of contrast-enhanced ultrasound in predicting renal outcomes in patients with acute kidney injury. *PLoS One.* 2020; 15: e0235130.
55. Cao W, Cui S, Yang L, et al. Contrast-Enhanced Ultrasound for Assessing Renal Perfusion Impairment and Predicting Acute Kidney Injury to Chronic Kidney Disease Progression. *Antioxid Redox Signal.* 2017; 27: 1397-1411.