

Νυστέρι - ψαλίδι υπέρηχων

Γεώργιος Μπασδάνης, Ιωάννα Τζεβελέκη

Εισαγωγή

Η χρήση ρεύματος υψηλών συχνοτήτων εξακολουθεί να παραμένει εδώ και χρόνια, ως το πιο κατάλληλο μέσο χειρουργικών χειρισμών. Μέχρι σήμερα, οι σημαντικότερες επιπλοκές από τη χρήση ρεύματος υψηλών συχνοτήτων αφορούν σε επιφανειακά εγκαύματα του δέρματος, τα οποία οφείλονται στην ανεπαρκή γείωση του ασθενούς και στις περισσότερες περιπτώσεις είναι δυνατό να αποφευχθούν. Με την πρόσφατη ανάπτυξη της ενδοσκοπικής χειρουργικής προέκυψαν και άλλα προβλήματα, εκτός από τα επιφανειακά εγκαύματα του δέρματος, όπως εγκαύματα εσωτερικών οργάνων. Μεταξύ των αιτιών που προκαλούν εγκαύματα κατά τη χειρουργική με τη χρήση ηλεκτρικών μεθόδων είναι τα εξής:

- η άμεση θερμική κάκωση από την άκρη ενός εργαλείου, το οποίο για ελάχιστο χρονικό διάστημα βρίσκεται εκτός του οπτικού πεδίου του χειριστή
- η ανεπαρκής μόνωση
- η άμεση επαφή, όταν από αμέλεια, ένα ενεργό ηλεκτροδίο έρθει σε επαφή με το λαπαροσκόπιο ή οποιοδήποτε άλλο αγωγίμο εργαλείο
- Η δίοδος ηλεκτρικού ρεύματος κατά μήκος ενός μονωμένου τμήματος ενός μονοπολικού ηλεκτροδίου προς έναν παρακείμενο αγωγό-ιστό, ή οποία ορίζεται ως «χωρητική ηλεκτρική σύζευξη».

Γενικά, συνιστάται η χρήση της διπολικής τεχνικής, όποτε αυτό είναι δυνατό, στην οποία πα-

ρατηρούνται και οι λιγότεροι κίνδυνοι. Το κύριο μειονέκτημα στη χρήση της διπολικής τεχνικής είναι η δυσκολία στη χρήση, η μεγαλύτερη χρονική διάρκεια και η μεγαλύτερη απανθράκωση. Εάν χρησιμοποιηθεί μονοπολική τεχνική, θα πρέπει να γίνει ρύθμιση της έντασης και τάσης του ρεύματος στο ελάχιστο. Οι κίνδυνοι της μονοπολικής τεχνικής ηλεκτροχειρουργικής με χρήση ρεύματος υψηλών συχνοτήτων, οι περιορισμοί της διπολικής τεχνικής καθώς και η ανάγκη εναλλαγής εργαλείων είναι οι λόγοι που καθιστούν το «νυστέρι υπέρηχων» ένα ελκυστικό εργαλείο τόσο για την ανοικτή όσο και για την ενδοσκοπική χειρουργική.

Υπέρηχοι

Τα υπερηχητικά κύματα είναι ήχοι συχνότητας πάνω από 20 KHz, το οποίο είναι το ανώτατο όριο της ανθρώπινης ακοής. Η παραγωγή τους βασίζεται στο *πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο*, κατά το οποίο όταν εφαρμοστεί εναλλασσόμενη τάση στα άκρα ενός υλικού («πιεζοηλεκτρικό υλικό» ή «μεταλλάκτης») προκαλεί περιοδική μετακίνηση της επιφάνειας του υλικού αυτού και ταλάντωση των παρακείμενων μορίων του αέρα. Με αυτόν τον τρόπο παράγεται το κύμα των υπερήχων. Το πιεζοηλεκτρικό υλικό (χαλαζίας, κρυστάλλος Rochele, διάφορα κεραμικά υλικά) είναι σε θέση να μετατρέπει ένα υψηλής συχνότητας εναλλασσόμενο ηλεκτρικό σήμα σε ένα κύμα υπέρηχων της ίδιας συχνότητας (λειτουργία μεταλλάκτη). Το φαινόμενο είναι αντιστρεπτό,

δηλαδή όταν κύμα υπερήχων πέσει πάνω σε ένα μεταλλάκτη, θέτει σε παλμική κίνηση την επιφάνειά του και με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται μια διαφορά δυναμικού στα άκρα του.

Υπάρχουν ορισμένοι μηχανισμοί με τους οποίους οι υπέρηχοι επιδρούν στους βιολογικούς ιστούς, κυριότεροι από τους οποίους είναι οι εξής:

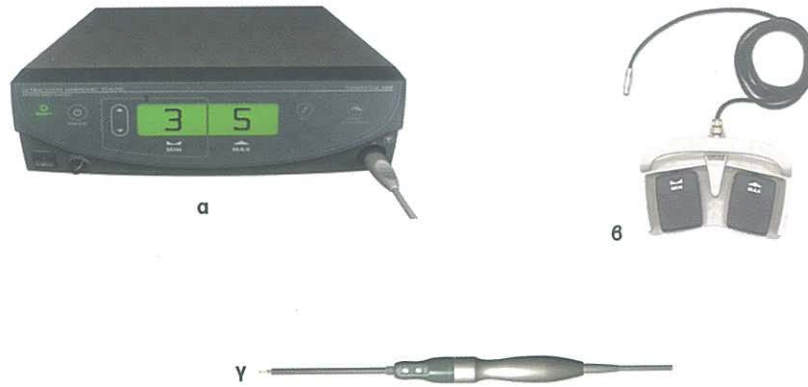
- **Θερμικός μηχανισμός**, στον οποίο η ενέργεια των υπερήχων απορροφάται από τους ιστούς και μετατρέπεται σε θερμότητα. Η ενέργεια που απορροφάται εξαρτάται από τον συντελεστή απορρόφησης του ιστού. Οι συμπαγείς ιστοί εμφανίζουν μεγαλύτερο συντελεστή απορρόφησης και τα θερμικά φαινόμενα είναι εντονότερα. Η αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών μπορεί να φέρει αποτελέσματα τόσο ευεργετικά, όσο και ανεπιθύμητα (π.χ. καταστροφή ιστών)
- **Σπηλαιοποίηση**. Είναι όρος που περιγράφει τη συμπεριφορά φυσαλίδων εντός υγρού, το οποίο ακτινοβολείται με υπερήχους. Σε ιστούς που δέχονται την επίδραση των υπερήχων υψηλών συχνοτήτων και εντάσεων, δημιουργούνται φυσαλίδες από μικρούς πυρήνες, οι οποίες διαστέλλονται (θετική φάση κύκλου πίεσεων) και σπάζουν (αρνητική φάση κύκλου πίεσεων). Όταν μια φυσαλίδα σπάσει, δημιουργείται ένα ισχυρό κύμα πίεσης και τοπικά αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες, οι οποίες είναι δυνατόν να καταστρέψουν τους ιστούς. Στο φαινόμενο αυτό στηρίζεται η ιδιότητα αποκόλλησης ιστών με τη χρήση του «νυστεριού» υπερήχων. Σε χαμηλότερες εντάσεις δημιουργούνται ισχυρά ρεύματα γύρω από ταλαντούμενες φυσαλίδες, τα οποία μπορούν μέσω των ισχυρών δυνάμεων, να προκαλέσουν αποσύνθεση του DNA και ρήξη ινωδών δομών.
- **Ακουστικά ρεύματα**, τα οποία είναι ισχυρά ρεύματα γύρω από ταλαντούμενα σωματίδια που βρίσκονται στο μέσο διάδοσης, μπορούν να μεταφερθούν στο εσωτερικό των κυττάρων, να παρασύρουν οργανίδια και να προκαλέσουν ρήξη λεπτών μεμβρανών.

Νυστέρι υπερήχων ή νυστέρι ενεργοποιημένο με υπερήχους (Harmonic Scalpel or Ultrasonic Activated Scalpel, UAS)

Τεχνικά χαρακτηριστικά – Αρχή λειτουργίας

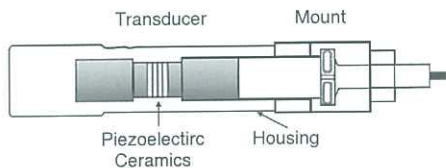
Το «νυστέρι» υπερήχων αποτελείται από μία **γεννήτρια ισχύος** υψηλής συχνότητας εναλλασσόμενου ρεύματος 220V, έναν **ποδοδιακόπτη**, έναν **πιεζοηλεκτρικό μεταλλάκτη**, ο οποίος στεγάζεται εντός της χειρολαβής, η οποία είναι συνδεδεμένη με ένα καλώδιο σύνδεσης και από ένα **λειτουργικό άκρο ή σύστημα λεπίδων-ψαλιδιών**. Ο ποδοδιακόπτης αποτελείται από δύο πεντάλ, από τα οποία το αριστερό χρησιμοποιείται για την επιλογή του επιπέδου ενέργειας (1 έως 5) και το δεξί είναι ρυθμισμένο σταθερά στο επίπεδο ενέργειας 5. Ο μεταλλάκτης αποτελείται από μια στήλη πιεζοηλεκτρικών κρυστάλλων, οι οποίοι βρίσκονται μεταξύ δύο μεταλλικών κυλίνδρων και χρησιμεύει στη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική ταλάντωση, σε συχνότητες 23 – 55,5 KHz, ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο σύστημα (Εικ. 1).

Η γεννήτρια παράγει εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο μεταβιβάζεται ως ένα ηλεκτρικό σήμα στα άκρα του πιεζοηλεκτρικού μεταλλάκτη, με αποτέλεσμα την περιοδική μετακίνηση της επιφάνειας του πιεζοηλεκτρικού υλικού και κατ' επέκταση και της λεπίδας που είναι η προέκτασή του. Το πιεζοηλεκτρικό υλικό μετατρέπει το υψίσυχο εναλλασσόμενο ηλεκτρικό σήμα σε ένα κύμα υπερήχων της ίδιας συχνότητας. Καθώς το υπερηχητικό κύμα διαδίδεται κατά μήκος της λεπίδας φθάνει στο άκρο της όπου αποδίδεται το μέγιστο της ενέργειάς του. Με αυτό τον τρόπο η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανική κίνηση του υλικού και ταλάντωση των παρακειμένων μορίων του αέρα. Η λεπίδα του νυστεριού υπερήχων ταλαντώνεται κατά τον επιμήκη άξονά της με συχνότητα της τάξης των 55.500 κύκλων ανά δευτερόλεπτο μεταφέροντας μηχανική ενέργεια προς τους ιστούς. Το πλάτος ταλάντωσης ποικίλλει από 80μm έως 200μm. Έτσι, δεν υπάρχει δίοδος ηλεκτρικής ενέργειας προς τον ασθενή (Εικ. 2, 3).



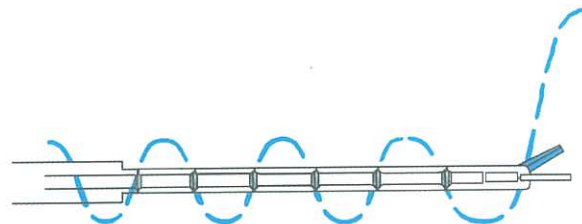
Εικ. 1. Τμήματα από τα οποία αποτελείται μία μονάδα υπερήχων. α) γεννήτρια β) ποδοδιακόπτης γ) χειρολαβή εντός της οποίας βρίσκεται το piezoelectrico υλικό

Πιεζοηλεκτρικό υλικό - μεταλλάκτης



Εικ. 2. Μετατροπή του ηλεκτρικού σήματος σε υπερηχητικό κύμα στον piezoelectrico μεταλλάκτη, που βρίσκεται μέσα στην χειρολαβή

Το «νυστέρι» υπερήχων έχει την ικανότητα να διατέμνει, να αποκολλά ιστούς και να προκαλεί ταυτόχρονη αιμόσταση. Η αιμόσταση επιτυγχάνεται με τη μεταφορά της μηχανικής ενέργειας στους ιστούς. Η ταχεία ταλάντωση της λεπίδας προκαλεί ανάπτυξη τριβής σε κυτταρικό επίπεδο με αποτέλεσμα να σπάζουν οι δεσμοί υδρογόνου και να λαμβάνει χώρα μετουσίωση των πρωτεϊνών. Σχηματίζεται με αυτόν τον τρόπο ένα κολλώδες πήγμα το οποίο στεγανοποιεί τα μικρά αγγεία. Η διαδικασία αυτή επιτελείται σε θερμοκρασίες μικρότερες των 100°C. Όταν το φαινόμενο παρατείνεται, τότε παράγεται δευτερογενής θερμότητα που βοηθά στη στεγανοποίηση αγγείων μεγαλύτερου μεγέθους και σε μεγαλύτερο βάθος. Έτσι, ελέγχεται η αιμορραγία σε χαμηλότερες θερμοκρασίες (50° - 100°C) από εκείνες που αναπτύσσονται με τη χρήση ηλεκτρικών μεθόδων ή Laser (150° - 400°C). Επιπλέον δεν παρατηρείται αποξήρανση και οξείδωση των ιστών, ούτε δημιουργία εσχάρων που να καλύπτει την περιοχή που αιμορραγεί, με κίνδυνο να αιμορραγήσει ξανά



Εικ. 3. Διάδοση του υπερηχητικού κύματος προς την λεπίδα

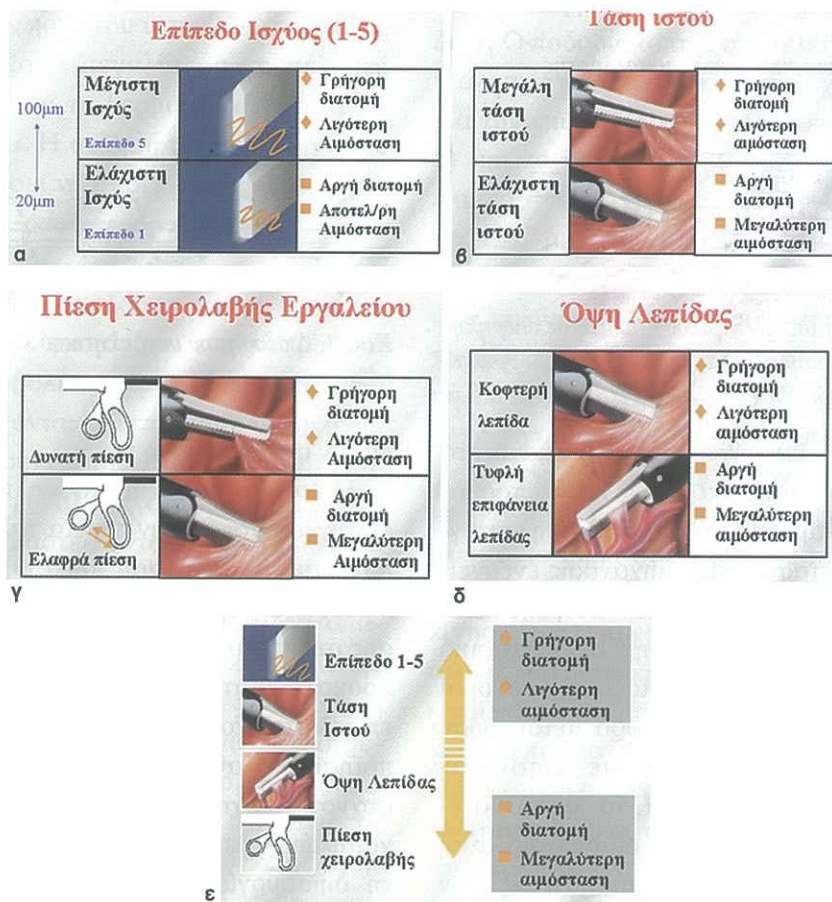
με την απομάκρυνση της.

Η διατομή ιστών με το «νυστέρι» υπερήχων επιτυγχάνεται με την ταχεία ταλάντωση της λεπίδας σε μια απόσταση 50 - 100 μm από τον ιστό - στόχο. Ο συνδυασμός της εφαρμοζόμενης πίεσης στον ιστό με την ταχεία κίνηση της λεπίδας προκαλεί διατομή του ιστού. Διατομή των ιστών επιτελείται και με το φαινόμενο της «σπηλαιοποίησης». Καθώς η λεπίδα πάλλεται με υψηλή συχνότητα σχηματίζεται μια περιοχή παροδικών χαμηλών πιέσεων στο άκρο της, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μικρών φυσαλίδων εντός των υγρών στοιχείων των κυττάρων. Οι φυσαλίδες αυτές στη συνέχεια σπάζουν και δημιουργείται ένα κύμα πίεσης, το οποίο μπορεί να προκαλέσει αποδόμηση του κυτταρικού σκελετού, αποσύνθεση του κυτταρικού DNA και ρήξη ινωδών δομών. Η μορφολογία της λεπίδας έχει άμεση σχέση με τη λειτουργία της. Μια λεπίδα με μικρή επιφάνεια και πολύ αιχμηρό άκρο, επιθέτει την ταλάντωση σε τόσο μικρή περιοχή, ώστε, να προκαλεί μόνο φαινόμενο σπηλαιοποίησης χωρίς φαινόμενο πήξης.

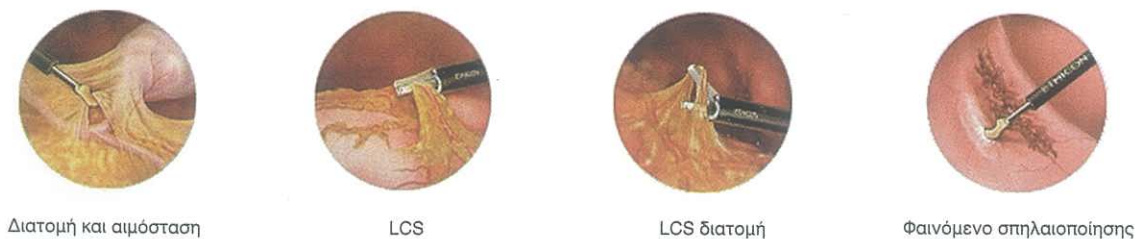
Η «ισορροπία» μεταξύ αιμόστασης – διατομής εξαρτάται από τέσσερις παράγοντες: την παρεχόμενη ισχύ από τη γεννήτρια, την μηχανική πίεση, την αιχμηρότητα του άκρου της λεπίδας και την τάση των ιστών. Εάν αυξηθεί οποιοσδήποτε από τους παραπάνω παράγοντες αυξάνεται παράλληλα και η ταχύτητα διατομής των ιστών ενώ ελαττώνεται η ικανότητα για αιμόσταση, και το αντίστροφο. Για παράδειγμα, η ταχεία επιμήκης κίνηση της λεπίδας στο επίπεδο ενέργειας 5 προσφέρει μεγαλύτερη ταχύτητα

διατομής και μικρότερη αιμόσταση, ενώ στο επίπεδο ενέργειας 3 η ταχύτητα διατομής είναι μικρότερη αλλά η αιμοστατική ικανότητα αυξάνει. Επίσης, η εφαρμογή αυξημένης τάσης στους ιστούς, έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη ταχύτητα διατομής και μικρότερη αιμόσταση, ενώ η ελαττωμένη τάση στους ιστούς προκαλεί το αντίθετο αποτέλεσμα (Εικ. 4, 5).

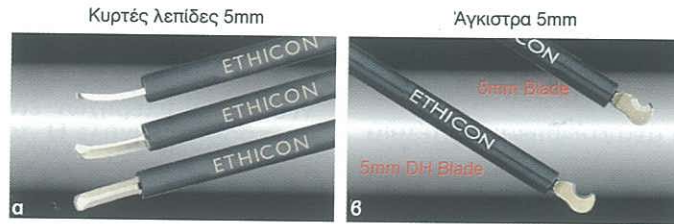
Συνολικά, το αποτέλεσμα της εφαρμογής του νυστεριού υπερήχων στους ιστούς είναι συνάρτηση των εξής:



Εικ. 4. Η «ισορροπία» αιμόστασης – διατομής ανάλογα με την ισχύ της γεννήτριας, την τάση των ιστών, την μηχανική πίεση της χειρολαβής και του είδους της λαβίδας



Εικ. 5



Εικ. 6. Λεπίδες και άγκιστρα για ανοικτή και ενδοσκοπική χρήση

- Του είδους του ιστού και της περιεκτικότητάς του σε νερό.
- Του είδους της λεπίδας του εργαλείου.
- Της ρύθμισης του επιπέδου της λειτουργίας της συσκευής.
- Της συνδυασμένης άσκησης πίεσης στον ιστό και της χρησιμοποιούμενης τάσης ρεύματος
- Του χρονικού διαστήματος εφαρμογής της ενέργειας στον ιστό - στόχο

**Κοπτικά εργαλεία –
Λαπαροσκοπική χειρουργική**

Οι επαναχρησιμοποιούμενες χειρολαβές του συστήματος συνοδεύονται από μια ποικιλία λεπίδων και ψαλιδιών σε διάφορα μεγέθη και σχήματα. Τα είδη των *λεπίδων* που χρησιμοποιούνται στην ανοικτή χειρουργική είναι τρία: λεπίδες σε σχήμα αγκίστρου, λεπίδες με κυρτό άκρο και ευθείες λεπίδες για διατομή των ιστών (Εικ. 6).

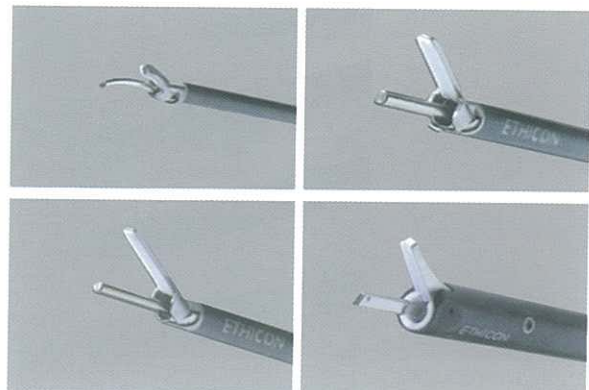
Στη λαπαροσκοπική χειρουργική χρησιμοποιούνται τέσσερα είδη λεπίδων, σε σχήμα αγκίστρου, με κυρτό οξύαιχμο άκρο, ευθείες και σε σχήμα σφαίρας με διάμετρο των 5 και 10 χιλιοστών (Εικ. 7). Υπάρχουν λεπίδες με διάμετρο 10 χιλιοστά και λεπίδες με διάμετρο 5 χιλιοστά. Οι λεπίδες των 10 χιλιοστών διακρίνονται σε μακριές (με 3 είδη άκρων) και κοντές (με 1 τύπο άκρου). Οι λεπίδες των 5 χιλιοστών υπάρχουν σε τρία μήκη: κοντή λεπίδα των 10 εκ, κοντή λε-



Εικ. 7. Λεπίδες λαπαροσκοπικής χειρουργικής

πίδα των 14 εκ και μακριά λεπίδα των 32 εκ. Στην κατηγορία των 5 χιλιοστών υπάρχει η δυνατότητα περιστροφής των σιαγόνων της λεπίδας κατά 360°, ενώ στις λεπίδες των 10 χιλιοστών και σε αυτές που χρησιμοποιούνται στην ανοικτή χειρουργική η περιστροφή γίνεται από το σύστημα χειρολαβής. Με τις λεπίδες των 5 και 10 χιλιοστών που χρησιμοποιούνται στη λαπαροσκοπική χειρουργική και στην ανοικτή χειρουργική, επιτυγχάνεται αποτελεσματική αιμόσταση αγγείων με διάμετρο έως και 3 χιλιοστά.

Τα είδη των *ψαλιδιών* διακρίνονται σε ψαλίδια μικρής διαμέτρου (5 χιλιοστά) και σε ψαλίδια μεγάλης διαμέτρου (10 χιλιοστά). Από αυτά, τα ψαλίδια των 10 χιλιοστών υπάρχουν σε δύο μήκη: 20 εκ και 34 εκ). Οι χειρολαβές τους είναι δύο ειδών: τύπου πιστολιού και τύπου λαβών ψαλιδιού. Στο άκρο τους φέρουν μία ενεργό λεπίδα που εμφανίζει τρεις επιφάνειες: αιχμηρή, αμβλεία και επίπεδη. Από αυτές, η αιχμηρή επιφάνεια προκαλεί αποτελεσματική διατομή των ιστών, η αμβλεία προκαλεί συγκόλληση - πήξη με δυνατότητα ταυτόχρονης διατομής των ιστών και η επίπεδη επιφάνεια προκαλεί αιμόσταση αγγείων διαμέτρου έως και 3 χιλιοστά (Εικ. 8).



Εικ. 8. Αιμοστατικά ψαλίδια υπερήχων