

Αρχαία Ελληνική Τεχνολογία: Ο μηχανισμός των Αντικυθήρων και ιατρικά εργαλεία

Κ. Ευσταθίου¹
Ι. Σειραδάκης²
Κ.Δ. Μπουζάκης¹
Μ. Αναστασίου²
Μ. Ευσταθίου¹
Α. Μπασιακούλης¹

Περίληψη

Ο *Μηχανισμός των Αντικυθήρων* ήταν ένας αναλογικός υπολογιστής εκπληκτικής τεχνολογίας. Κατασκευάστηκε πριν από 2.200 χρόνια και χρησιμοποιείτο για τον ακριβή υπολογισμό της θέσης του Ηλίου, της Σελήνης και, πιθανώς, των πλανητών, στον ουρανό. Υπολόγιζε τις φάσεις της Σελήνης, προέβλεπε εκλείψεις και προσδιόριζε την ημερομηνία τέλεσης των αρχαίων στεφανιτών αγώνων. Στις εξωτερικές πλάκες και στο εσωτερικό του έφερε αστρονομικές, γεωγραφικές και τεχνολογικές επιγραφές. Χάρη στις καινοτόμες τεχνικές διερεύνησης που χρησιμοποιήθηκαν, διαβάστηκαν κείμενα χαμένα για πάνω από 2.000 χρόνια! Όλες οι επιγραφές είναι γραμμένες με ελληνικούς χαρακτήρες. Οι διαστάσεις του ήταν περίπου 30×20×10 cm. Το αντίγραφο που κατασκευάστηκε περιέχει 39 συνεργαζόμενους οδοντωτούς τροχούς (29 εντοπίστηκαν σε θραύσματα του μηχανισμού και άλλοι 10 προέκυψαν λαμβάνοντας υπόψη σχετικά αστρονομικά μεγέθη). Είχε μια διπλή κυκλική κλίμακα εμπροσθεν και δύο ελικοειδείς κλίμακες όπισθεν. Είναι τόσο σημαντικός για την εξέλιξη της Τεχνολογίας, όσο και η Ακρόπολη για την εξέλιξη της Αρχιτεκτονικής. Παρόμοιος αρχαίος μηχανισμός δεν έχει βρεθεί μέχρι σήμερα. Έτσι εύλογα γεννάται το ερώτημα τι τεχνική υποδομή υπήρχε την εποχή που κατασκευάστηκε και τι απέγινε η γνώση και η τέχνη που περιείχε.

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων

Η ενάλια ανασκαφή

Το 1900 βρέθηκε στις ακτές των Αντικυθήρων ένα αρχαίο ναυάγιο από Συριακούς σφουγγαράδες. Λίγους μήνες αργότερα η Αρχαιολογική Υπηρεσία ξεκίνησε μια σειρά συστηματικών ενάλιων ανασκαφών, κατά τη διάρκεια των οποίων ανασύρθηκαν σημαντικά ευρήματα, όπως για παράδειγμα ο περίφημος *Έφηβος των Αντικυθήρων*, πολλά από τα οποία εκτίθενται στο Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο στην Αθήνα. Ανάμεσά τους ήταν και ο *Μηχανισμός των Αντικυθήρων*, ο οποίος, διαβρωμένος, κομματιασμένος και απολιθωμένος πλέον μετά από 2.000 χρόνια στον βυθό της θάλασσας, έμελλε να αλλάξει τη γνώμη που είχαμε μέχρι σήμερα για τις τεχνολογικές



Εικόνα 1. Ο έφηβος των Αντικυθήρων.

¹ Τμήμα Μηχανολόγων Α.Π.Θ.

² Τμήμα Φυσικής Α.Π.Θ.

ικανότητες των προγόνων μας. Από νομίσματα (της Περγάμου), το ναυάγιο χρονολογείται μεταξύ 85 και 67 π.Χ. Από γραφολογικές μελέτες υπολογίστηκε ότι ο Μηχανισμός είχε κατασκευαστεί, πονωρίς, το 150 έως 100 π.Χ. Οι τρισδιάστατες εικόνες που προέκυψαν όταν τα θραύσματα του αρχαίου Μηχανισμού εξετάστηκαν με τον υπερσύγχρονο τομογράφο αποκαλύπτουν επιγραφές και μηχανικές λεπτομέρειες του εσωτερικού του, οι οποίες παρέμεναν κρυμμένες στον βυθό της θάλασσας των Αντικυθήρων περισσότερο από δύο χιλιάδες χρόνια.

Ένα αρχαίο ημερολόγιο

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων έφερε δύο ελικοειδείς σπείρες στην πίσω επιφάνεια. Η κάτω σπείρα χρησιμοποιε στην πρόβλεψη εκλείψεων και είχε 4 περιελίξεις με 223 υποδιαιρέσεις, που αντιστοιχούν στους 223 μήνες της περιόδου του **Σάρου**. Η πάνω σπείρα είχε 5 περιελίξεις με 235 υποδιαιρέσεις, που αντιστοιχούν στους 235 μήνες της περιόδου του **Μέτων**, ο οποίος είχε υπολογίσει ότι στο χρονικό αυτό διάστημα η Σελήνη επανέρχεται στον ίδιο σημείο του ουρανού με την ίδια φάση. Στις υποδιαιρέσεις της σπείρας ήταν χαραγμένα με εξαιρετική τέχνη τα αρχαία ονόματα 12 μηνών, τα οποία επαναλαμβάνονταν μέχρι να συμπληρωθούν και οι 235 μήνες (19 έτη).

Οι στεφανίτες αγώνες

Ο δείκτης της μικρής κλίμακας, η οποία βρίσκεται εντός της πάνω ελικοειδούς σπείρας, έδειχνε το έτος τέλεσης των αρχαίων ελληνικών στεφανικών αθλητικών αγώνων. Περιφερικά της κλίμακας έχουν αναγνωσθεί οι λέξεις ΟΛΥΜΠΙΑ, ΠΥΘΙΑ, ΙΣΘΜΙΑ, ΝΕΜΕΑ και ΝΑΑ, ενώ εσωτερικά, σε κάθε τεταρτημόριο, αναγράφονται τα έτη του τετραετούς ολυμπιακού κύκλου. Όλοι οι παραπάνω αγώνες ήταν *στεφανίτες αγώνες*, δηλαδή οι νικητές βραβεύονταν με ένα στεφάνι.

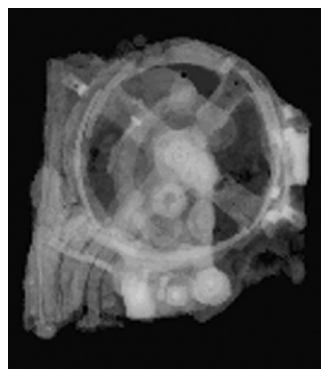


Εικόνα 2. Αθλητές αγωνιζόμενοι.

Οι οδοντωτοί τροχοί

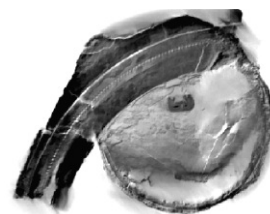
Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων περιείχε του-

λάχιστον 30 συνεργαζόμενα γρανάζια και μερικούς δείκτες. Το αντίγραφο που κατασκευάστηκε περιέχει 39 οδοντωτούς τροχούς και 7 δείκτες με 8 συνολικά ενδείξεις. Στη μπροστινή επιφάνεια έφερε δύο ομόκεντρες κυκλικές κλίμακες. Η εξωτερική ετήσια κλίμακα είχε 365 υποδιαιρέσεις και τα ονόματα των 12 μηνών στην αιγυπτιακή γλώσσα με ελληνικούς χαρακτήρες. Η εσωτερική κλίμακα είχε 360 υποδιαιρέσεις



Εικόνα 3. Ο μηχανισμός των Αντικυθήρων.

και τα ονόματα των 12 ζωδιακών αστερισμών. Ο χειριστής, περιστρέφοντας ένα στροφέιο, έδινε κίνηση στους οδοντωτούς τροχούς οι οποίοι στη μπροστινή επιφάνεια κινούσαν δύο δείκτες που έδειχναν τη θέση του Ήλιου και της Σελήνης. Κάτω από την εξωτερική (ετήσια) κλίμακα, η οποία ήταν αποσπώμενη, υπήρχαν 365 οπές. Κάθε τέσσερα χρόνια ο χειριστής μπορούσε να την αποσπάσει και να τη μεταποίσει κατά μία οπή, λαμβάνοντας έτσι υπόψη τα δίσεκτα έτη. Στον δείκτη της Σελήνης ήταν προσαρμο-



Εικόνα 4. Οι έκκεντροι οδοντωτοί τροχοί.

σμένο με μία *κορόνα* ένα περιστρεφόμενο σφαιρίδιο που έδειχνε τις φάσεις της Σελήνης. Η κίνηση της Σελήνης δεν είναι κυκλική αλλά ελλειπτική. Η διόρθωση ως προς την ανωμαλία που προέρχεται από την έκκεντρο τροχιά της γύρω από τη Γη γινόταν με τη βοήθεια δύο έκκεντρων οδοντωτών τροχών, οι άξονες των οποίων απείχαν 1.1 mm. Ο κάτω τροχός είχε μία ακίδα (πίερο) η οποία οδηγούσε τον πάνω τροχό εμπλεκόμενη σε μια σχισμή του. Έτσι ο πάνω τροχός εκτελούσε μια *επικυκλική κίνηση*, η γωνιώδης ταχύτητα του οποίου παρακολουθούσε την κίνηση της Σελήνης στον ουρανό με πολύ μεγάλη ακρίβεια.

Κατασκευή αντιγράφων του Μηχανισμού των Αντικυθέρων

Στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης μια ομάδα ερευνητών μελετά από το 2007 τον Μηχανισμό των Αντικυθέρων. Η ομάδα, αυτή τη στιγμή, αποτελείται από τους καθηγητή Κυριάκο Ευσταθίου (Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών),



Εικόνα 5. Οπίσθια όψη του Μηχανισμού.



Εικόνα 6. Εμπρόσθια όψη του Μηχανισμού.



Εικόνα 7. Κατασκευή επικαιροποιημένου μοντέλου, με τα νέα στοιχεία της έρευνας.

καθηγητή Ιωάννη Σειραδάκη (Τμήμα Φυσικής), Μαγδαληνή Αναστασίου (Δρ. Τμήματος Φυσικής), τους μηχανολόγους μηχανικούς και υποψήφιους διδάκτορες Αλέξανδρο Μπασιακούλη και Μαριάννα Ευσταθίου (Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών) και τον αρχαιολόγο – δύτη Αλέξανδρο Τούρτα. Στα πλαίσια αυτής της μελέτης κατασκευάστηκε το 2008 πιστό αντίγραφο του Μηχανισμού σε πραγματικές διαστάσεις (V1.1/2008) και το 2011 πιστό λειτουργικό αντίγραφο του Μηχανισμού σε πραγματικές διαστάσεις (V2.1/2011) και με πραγματικό τρόπο συναρμολόγησης. Η ομάδα σχεδίασε επικαιροποιημένο μοντέλο, με τα νέα στοιχεία της έρευνας, και εντός των επομένων μηνών θα το κατασκευάσει.

1. Νέα σχεδίαση των εξωτερικών πλακών των ενδείξεων και των ελασμάτων με τις επιγραφές στις θύρες του Μηχανισμού

Από έρευνα μιας διευρυμένης διεθνούς ομάδας ερευνητών, στην οποία σημαντικό ρόλο κατέχει η ερευνήτρια του ΑΠΘ Μαγδαληνή Αναστασίου διαβάστηκαν περίπου 1.000 επιπλέον γράμματα στα θραύσματα του Μηχανισμού. Έτσι, ενώ στο μοντέλο V2.1 του 2011 υπάρχουν χαραγμένα περίπου 2.000 γράμματα, στο νέο μοντέλο V3.1 του 2015 θα χαραχτούν περίπου 3.000 γράμματα.

2. Πρόσθετα στοιχεία και διαφοροποιήσεις του νέου μοντέλου σε σχέση με τα προηγούμενα

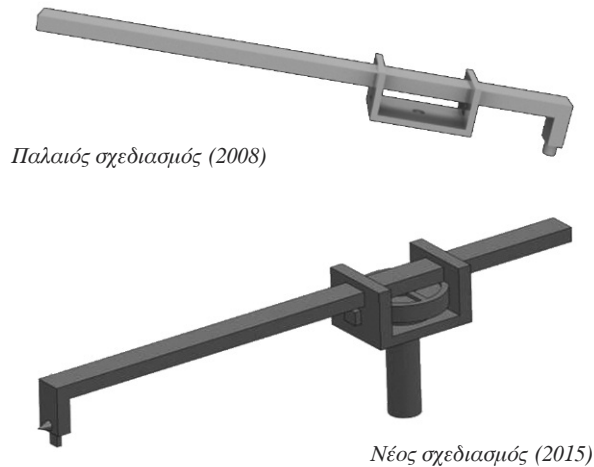
2.1. Νέος σχεδιασμός της οπίσθιας πλάκας των ενδείξεων του Μηχανισμού

2.1.1. Νέος σχεδιασμός των συρόμενων δεικτών των κλιμάκων Μέτωνα και Σάρως (Εκλείψεων)

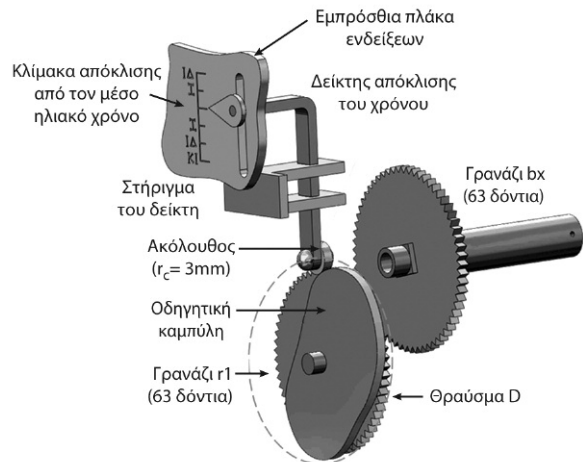
Το 2008 η ομάδα του ΑΠΘ προσδιόρισε τη δομή των συρόμενων δεικτών των ελικοειδών κλιμάκων του Μέτωνα και του Σάρως. Νέα έρευνα της ομάδας κατέληξε στην τελική μορφή αυτών των δεικτών.

2.1.2. Νέος σχεδιασμός της οπίσθιας πλάκας των ενδείξεων του Μηχανισμού των σπειρών κλιμάκων Μέτωνα και Σάρως (Εκλείψεων) της οπίσθιας πλάκας του Μηχανισμού

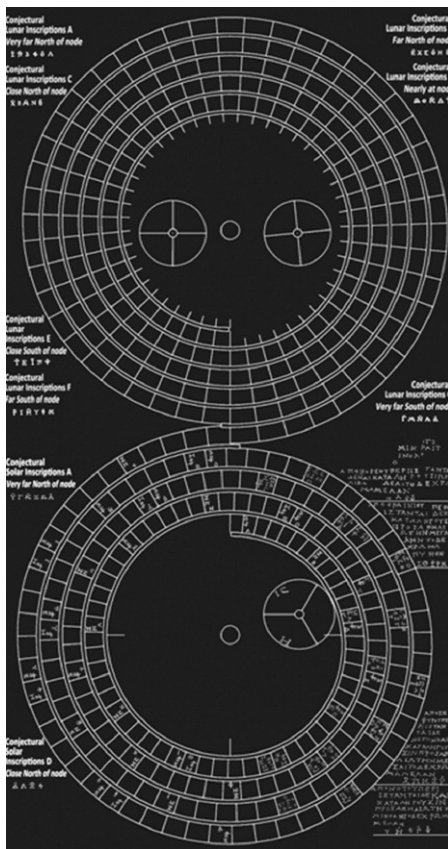
Έρευνα της ομάδας του ΑΠΘ, με βασική ερευνήτρια τη Μαγδαληνή Αναστασίου, μελέτησε επισταμένα τις ελικοειδείς σπείρες των κλιμάκων Μέτωνα και Εκλείψεων της οπίσθιας πλάκας του



Εικόνα 8. Παλιός και νέος σχεδιασμός της οπίσθιας πλάκας.



Εικόνα 10. Μηχανολογική διάταξη που υπολογίζει την εξίσωση του χρόνου.



Εικόνα 9. Νέος σχεδιασμός των σπειρών κλιμάκων.

Μηχανισμού και απέδειξε ότι οι σπείρες αυτές είναι σπείρες δύο ημικυκλίων.

3. Αριθμός δεικτών ενδείξεων

Σε έρευνα που ολοκληρώθηκε, η ομάδα του ΑΠΘ κατόρθωσε να εντάξει το θραύσμα D, το οποίο βρέθηκε στο ναυάγιο των Αντικυθήρων μαζί



Εικόνα 11. Ψηφιακή αναπαράσταση του νέου μοντέλου (V3.1/2015) του Μηχανισμού των Αντικυθήρων, χωρίς το κουτί και τις αντίστοιχες πλάκες των επιγραφών.

με τα υπόλοιπα, στον Μηχανισμό. Αποτελούσε μέρος του Μηχανισμού των Αντικυθήρων. Υπολόγιζε την εξίσωση του χρόνου. Υπολόγιζε, δηλαδή, τη διαφορά του αληθούς χρόνου από τον μέσο χρόνο. Με άλλα λόγια, υπολόγιζε για κάθε μέρα του χρόνου πόσα λεπτά πρέπει να αθροιστούν ή να αφαιρεθούν στην ώρα που μας δείχνει ένα ηλιακό ρολόι (αληθής χρόνος) για να βρούμε την ώρα, που δείχνουν τα σημερινά ρολόγια (μέσος χρόνος). Έτσι το νέο μοντέλο V3.1 του 2015 θα περιλαμβάνει ακόμη έναν δείκτη, ο οποίος θα δείχνει τη διαφορά του αληθούς χρόνου σε σχέση με τον μέσο (εξίσωση του χρόνου).

Ιατρικά Εργαλεία

Από την πρωτόγονη ιατρική δημιουργήθηκε στην αρχαία Ελλάδα μια θεραπευτική τέχνη, που μέσα σε λίγους αιώνες αναπτύχθηκε σε μια φιλοσοφικά διαμορφωμένη επιστήμη. Θεραπευτικές μέθοδοι, γνώσεις και ιατρικό ήθος εξακολουθούν να ασκούν επιρροή και στη σημερινή ιατρική. Τα αρχαία ιατρικά εργαλεία δεν έχουν τίποτε να ζηλέψουν από τα σημερινά. Όπως και όλα τα αρχαία οικιακά εργαλεία, όταν λάβουν την πρακτική τελική τους μορφή, δεν χρειάζεται να αλλάξουν. Ο Ιπποκράτης, στο σύγγραμμά *Περί ιατρού*, αναφέρει «Τα εργαλεία πρέπει να είναι όλα εύκολα στη χρήση τους και από την άποψη του βάρους και από την άποψη της λεπτής κατασκευής τους». Αρχαία ιατρικά εργαλεία, που έχουν βρεθεί, είναι πανομοιότυπα με τα αντίστοιχα σημερινά. Βρέθηκαν τρυπάνια κρανιοδιατρήσεων (κεφαλοτρύπανα), κολποσκοπία, λαβίδες, καθετήρες και χιλιάδες άλλα, που διατήρησαν επί 2.500 χρόνια όχι μόνο τη μορφή τους αλλά και το ίδιο όνομα. Έτσι το νυστέρι έχει και σήμερα την ίδια μορφή όπως και στην αρχαιότητα. Το τρυπάνι κρανιοδιατρήσεων ή κεφαλοτρύπανο του 2^{ου} αιώνας π.Χ., που βρέθηκε στο Δίον, απλώς τότε ήταν χειροκίνητο, ενώ σήμερα είναι ηλεκτροκίνητο, αλλιώς το τρυπάνι είναι ακριβώς όμοιο. Τα άγκιστρα είναι πανομοιότυπα, οι λαβίδες είναι όμοιες, οι ουροκαθετήρες απλώς άλλαξαν και έγιναν από πλαστικό, ενώ στην αρχαία εποχή έπαιρναν τη μορφή της ουρήθρας και ήσαν από μόλυβι ή ορείχαλκο, μάλιστα όχι μόνον δεν έχουν τίποτα να ζηλέψουν, αλλά κληροδότησαν και μέχρι σήμερα τα αρχαία ονόματά τους. Ο καθετήρας έχει το όνομά του από την αρχαιότητα και παραμένει μέχρι σήμερα καθετήρας, η λαβίδα παραμένει και σήμερα λαβίδα, το νυστέρι το ίδιο, κρατούν τα ίδια ονόματα από τότε, όχι μόνον στην ελληνική γλώσσα αλλά και στην αγγλική, στη γερμανική και τη γαλλική.

1. Σημαντικοί ιατροί της ελληνικής αρχαιότητας

Ο Ρωμαίος λόγιος Cornelius Celsus, ο οποίος έζησε την εποχή του αυτοκράτορα Τιβέριου (1^{ος} αιώνας μ.Χ.), αναφέρει στον πρόλογο του έργου του *Η ιατρική τα ακόλουθα*:

«Η ιατρική έχει εξελιχθεί από τους Έλληνες πολύ περισσότερο από ό,τι από άλλους λαούς, αλλά

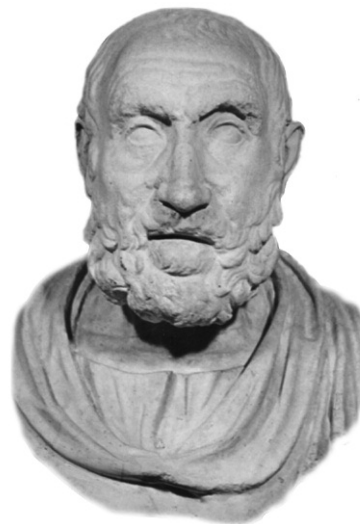


Εικόνα 12. Ασκληπιός: Ο παλαιότερος θεραπευτής της αρχαιότητας και ημίθεος.

ακόμη και από αυτούς όχι από πάντα, αλλά τους τελευταίους λίγους αιώνες».

Ο Cornelius Celsus συνεχίζει στον πρόλογό του: *«Ο Ασκληπιός γενικά τιμόταν σαν ο παλαιότερος θεραπευτής. Επειδή εξέλιξε λίγο περισσότερο τη μέχρι τότε πρωτόγονη και ανοικτή σε όλους επιστήμη συμπεριελήφθη μεταξύ των θεών».* Άγαλμα του Ασκληπιού φαίνεται στην εικόνα 12.

Ο ελληνικός πολιτισμός έφτασε τον 5^ο αιώνα π.Χ. στο απόγειό του (κλασική περίοδος). Σε απόλυτη αρμονία καταγράφηκε και στην ιατρική, την ίδια περίοδο, ένα αντίστοιχο ζενίθ, το οποίο ταυτόχρονα είχε και τον χαρακτήρα μιας επανεκκίνησης. Σε αυτή την ιστορική περίοδο, ο Ιπποκράτης χαρα-



Εικόνα 13. Ιπποκράτης από την Κο: Ο πατέρας της επιστήμης της ιατρικής.

κτηρίζεται από όλους τους ιστορικούς της ιατρικής ως ο ιατρός, του οποίου η δράση έδωσε στην ιατρική την αποφασιστική καμπή. Ο Ιπποκράτης από την Κω (460-370 π.Χ.), προτομή του οποίου απεικονίζεται στην εικόνα 13, ήταν στην Αθήνα του Περικλή τόσο γνωστός ως ιατρός όσο και οι Πολύκλειτος και Φειδίας ως γλύπτες. Ο Ιπποκράτης δεν ήταν μόνο ο ύψιστος των ιατρών της εποχής του, ήταν πολύ περισσότερο σε θέση να εκφράσει γραπτά και προφορικά τη γνώση του και έτσι να την καταστήσει διδάξιμη. Στα ονομαστά γραπτά του Ιπποκράτη συγκαταλέγεται ένας μεγάλος αριθμός βιβλίων όπως *Επιδημιαί, Προγνωστικόν, Περί αέρος, ύδατος και τόπων, Η δίαίτα, Ο ιατρός, Ο όρκος του Ιπποκράτη, Γυναικολογία* και άλλα.

Περίπου πέντε αιώνες μετά τον Ιπποκράτη, ο Γαληνός από την Πέργαμο (περίπου 130-200 μ.Χ.) επηρεάζεται αποφασιστικά από την ιπποκράτεια ιατρική. Το εκτενές έργο του Γαληνού σφραγίστηκε από την εμπειρία του βασισμένη σε πειραματισμό ως χειρουργός και ως φαρμακοποιός. Η πιο σημαντική συμβολή του Γαληνού στην ιατρική είναι τα γραπτά του για την ανατομία και τη φυσιολογία. Μια από τις σπάνιες απεικονίσεις του Γαληνού παρουσιάζεται στην εικόνα 14.



Εικόνα 14. Γαληνός από την Πέργαμο (130-200 μ.Χ.). Ο ιατρός με τη μεγαλύτερη συμβολή στην ανατομία και παθολογία κατά την αρχαιότητα.

Σημαντικοί ιατροί της αρχαιότητας όπως ο Διοκλής, ο Εμπεδοκλής, ο Πραξαγόρας, ο Ηρόφιλος, ο Ερασίστρατος, ο Σωρανός και πολλοί άλλοι συνέχισαν και επέκτειναν τη διδασκαλία του Ιπποκράτη. Βασικά βιογραφικά στοιχεία τους είναι καταχωρημένα στον πίνακα 1.

Πίνακας 1. Σημαντικοί ιατροί της ελληνικής αρχαιότητας.

Εμπεδοκλής (5 ^{ος} αιώνας μ.Χ.) από τον Ακράγαντα της Σικελίας
Πραξαγόρας (4 ^{ος} αιώνας μ.Χ.) από την Κω
Διοκλής (4 ^{ος} αιώνας μ.Χ.) από την Κάροστο
Ερασίστρατος (4 ^{ος} αιώνας μ.Χ.) από τη Χίο
Σωρανός (2 ^{ος} αιώνας μ.Χ.) από την Έφεσο
Ορειβάσιος (325-403 μ.Χ.) από την Κύπρο
Παύλος (625-690 μ.Χ.) από την Αίγινα

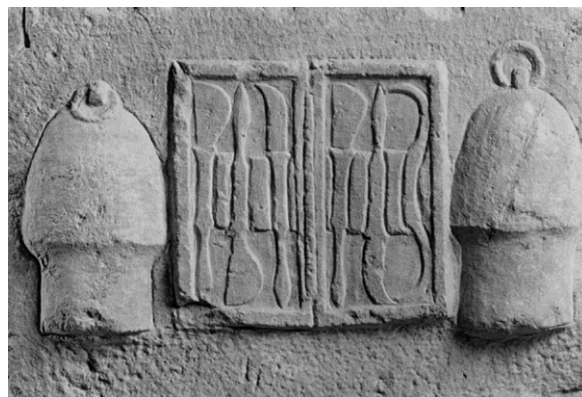
Στα τελευταία χρόνια της αρχαιότητας ανήκει ο Παύλος από την Αίγινα, ιατρός και ιατρικός συγγραφέας του 7^{ου} αιώνα μ.Χ. Στο γραπτό έργο του με τίτλο *Πραγματεία* συνοψίζει παλαιότερα έργα και δίνει πρακτικές οδηγίες για τα υπάρχοντα ιατρικά όργανα της εποχής.

«Όλα τα εργαλεία πρέπει να είναι βολικά και διαθέσιμα για χρήση σε σχέση με το μέγεθος, το βάρος και τη λεπτότητά τους. Όσον αφορά τα νυστέρια συμβουλευόμαστε να χρησιμοποιούνται τόσο η αιχμή (μύτη) όσο και το πλάτος, αλλά όχι σε όλες τις περιπτώσεις το ίδιο νυστέρι», αναφέρεται στο ιπποκράτειο γραπτό *Ο Ιατρός*.

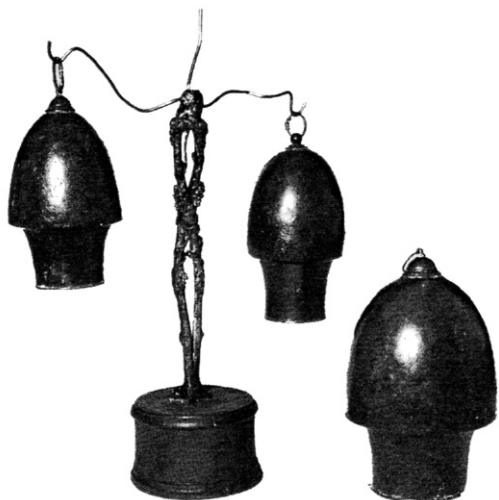
2. Τυπικά εργαλεία για τη διεξαγωγή ιατρικών εξετάσεων και χειρουργικών επεμβάσεων

2.1. Νυστέρια και σικύες (βεντούζες)

Σε ένα αναθηματικό ανάγλυφο από το Ασκληπιείο της Αθήνας, το οποίο εκτίθεται στο Νέο Μουσείο της Ακρόπολης, παριστάνεται, ανάμεσα σε δύο σικύες (βεντούζες), μια θήκη ιατρικών εργαλείων, η οποία περιλαμβάνει στα δύο διαμερίσματά της, τρία νυστέρια με στρογγυλές λεπίδες και



Εικόνα 15. Αναθηματικό ανάγλυφο από το Ασκληπιείο της Αθήνας στο οποίο εικονίζονται, σικύες (βεντούζες) και θήκη ιατρικών εργαλείων.



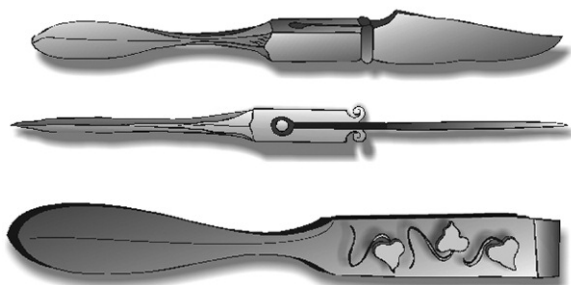
Εικόνα 16. Σικύες (βεντούζες) αναρτημένες σε ειδική βάση.

πεπλατυσμένη λαβή, δύο νυστέρια με στενές καμπυλωμένες λεπίδες και, τέλος, ένα οστεοάγκιστρο με δύο άκρα (βλέπε εικόνα 15).

Βεντούζες αναρτημένες σε ειδική βάση παρουσιάζονται στην εικόνα 16.

Στην αρχαιότητα τα μαχαίρια δεν χρησιμοποιούνταν στο φαγητό. Υπήρχαν χειρουργικά μαχαίρια (νυστέρια), σε έναν μεγάλο αριθμό μορφών και ονομάτων σε αντιστοιχία με τη συχνά εξειδικευμένη χρήση τους. Λόγω της ευαισθησίας των χαλύβδινων λεπίδων στην οξειδωση, διατηρήθηκαν περισσότερο οι μπρούντζινες λαβές των νυστεριών από την αρχαιότητα.

Η διαμόρφωση των περισσότερων από αυτές τις λαβές είχε μια πεπλατυσμένη μορφή. Τυπικές τέτοιες μορφές εικονίζονται στην εικόνα 17. Η γεωμετρία της λαβής είναι τόσο χαρακτηριστική,



Εικόνα 17. α) Χειρουργικό νυστέρι με μπρούντζινη λαβή. β) Νυστέρι με ένθετες χρυσές διακοσμήσεις.

έτσι ώστε να μπορεί να προσδιορίσει το νυστέρι ακόμα και αν έχει χαθεί η λεπίδα του. Η στιβαρή διατομή της λαβής είχε στο άκρο του πεπλατυσμένου μέρους της μια σχισμή, στην οποία προσαρμόζοταν η λεπίδα. Όταν η λεπίδα φθειρόταν, μπορούσε να αφαιρεθεί και να αντικατασταθεί με νέα.

Παρ' όλη την κριτική πολλοί ιατροί δεν μπορούσαν να αντισταθούν στον πειρασμό να χρησιμοποιήσουν στα νυστέρια τους λαβές, διακοσμημένες με ασήμι ή χρυσό.

Αναφέρεται ότι ο Λουκιανός ασκούσε κριτική στη συνήθεια πολλών ιατρών να αποκρύπτουν την ελλιπή τους γνώση, με ιδιαίτερα υπέροχα διακοσμημένα εργαλεία, ασημένιες βεντούζες και βελόνες από ελεφαντόδοντο. Η συμβουλή του όμως αντί αυτού «καλύτερα να πηγαίνεις σε έναν ιατρό, του οποίου το νυστέρι είναι αιχμηρό, ας είναι και σκουριασμένο», είναι παρ' όλα αυτά περισσότερο παιδαγωγική παρά συνιστώμενη.

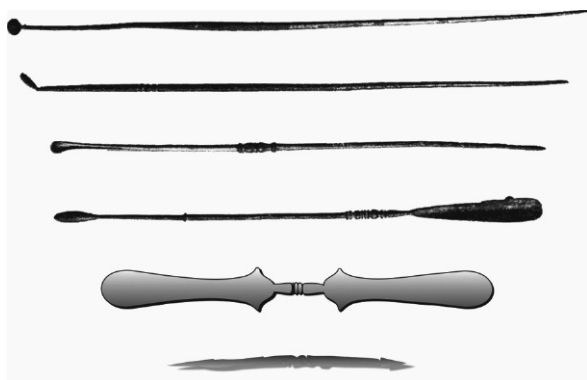
2.2. Σμίλες, οστεοάγκιστρα, πριόνια και οστεοάγρες

Η εργασία των χειρουργών υποστηριζόταν από ένα φάσμα επιπλέον εργαλείων (βλέπε εικόνα 18), όπως σμίλες, οστεοάγκιστρα, πριόνια, οστεοάγρες (πένσες) και άλλα.

Επίσης έχουν διασωθεί διάφορα εργαλεία για ειδικές χρήσεις κατά χειρουργικές επεμβάσεις όπως αυτά που φαίνονται στην εικόνα 19.



Εικόνα 18. Ιατρικά εργαλεία: α) Χειρουργική σμίλη. β) Ορθοπεδικό οστεοάγκιστρο. γ) Ορθοπεδικό πριόνι. δ) Ορθοπεδική οστεοάγρα.

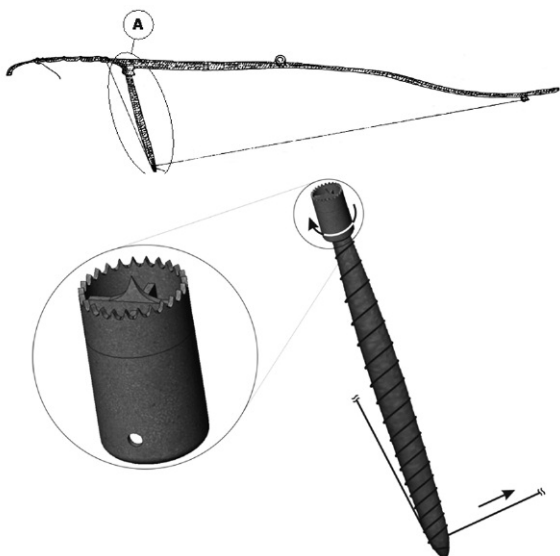


Εικόνα 19. Διάφορα ιατρικά εργαλεία της αρχαιότητας.

2.3. Τρυπάνι κρανιοδιατρήσεων

Ένα τυπικό παράδειγμα ειδικευμένου ιατρικού εργαλείου της αρχαιότητας είναι το τρυπάνι κρανιοδιατρήσεων, για διανοίξεις οπών στο κρανίο. Επειδή τραύματα στο κρανίο ήταν συχνά, λόγω των πολέμων ή ατυχημάτων, η κρανιοδιάτρηση παρείχε δυνατότητες θεραπείας. Το ιπποκράτειο σύγγραμμα *Κρανιακά τραύματα* περιγράφει τις διάφορες μορφές τραυμάτων της κεφαλής και τη θεραπεία τους. Για την εξάλειψη μικρών και περιορισμένων θέσεων λοίμωξης, χρησιμοποιούσαν το τρυπάνι κρανιοδιατρήσεων που εικονίζεται στην εικόνα 20.

Το πραγματικό τρυπάνι είναι ένας μεταλλικός κύλινδρος, του οποίου η μετωπική κυκλική περιμετρος είναι προιονωτά διαμορφωμένη. Στο μέσο της κυκλικής αυτής προιονωτής διαμόρφωσης είναι το-



Εικόνα 20. Τρυπάνι κρανιοδιατρήσεων (Κολοφών).

ποθετημένο ένα αιχμηρό στέλεχος, που δύναται να αφαιρεθεί. Με τη βοήθεια αυτής της αιχμής σημάδεύεται το κέντρο της διάτρησης και σταθεροποιείται σε αυτή τη θέση το τρυπάνι, το οποίο στη συνέχεια περιστρέφεται γύρω από αυτό το σημείο, έως ότου τα δόντια του τρυπανιού εισχωρήσουν στο οστό του κρανίου. Η περιστροφή επιτυγχανόταν μέσω μιας χορδής ξύλινου τόξου, κάτι το οποίο ήταν σύνηθες και για συνήθη εργαλεία διάτρησης ιατρικών εφαρμογών. Το τρυπάνι περιστρεφόταν με ταυτόχρονη ελαφριά πίεση προς το κρανίο, έτσι ώστε σταδιακά εισερχόταν στο οστό. Η μέσω του τρυπανιού αποκοιμμένη θέση της φλεγμονής, αφαιρούνταν στη συνέχεια με τη βοήθεια σμίλης.

Το τρυπάνι κρανιοδιατρήσεων είναι σε κάποιο βαθμό η μετατροπή της τεχνικής και της εμπειρίας, που προερχόταν από την καθημερινότητα των τεχνιτών, σε ιατρική χρήση. Τρυπάνια, πριόνια, σμίλες και περιστροφή μέσω χορδής ξύλινου τόξου ήταν κάτι το συνηθισμένο για γλύπτες, για τεχνίτες κοπής πολύτιμων λίθων και ξυλουργούς. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις στις οποίες η χειρουργική της αρχαιότητας ανέπτυξε όργανα, τα οποία δεν ήταν βασισμένα πάνω σε αντίστοιχα τεχνιτών άλλων κλάδων, αλλά εξελίχθηκαν ανεξάρτητα και σχεδιάστηκαν για ειδικευμένο σκοπό. Σε αυτή την κατηγορία ανήκει ένας μεγάλος αριθμός οργάνων – εργαλείων, μερικά από τα οποία παρατίθενται στη συνέχεια.

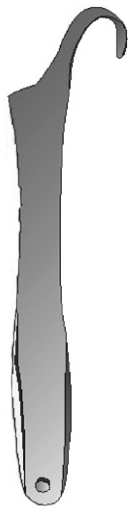
2.4. Εξολκέας αιχμών («κουτάλα») του Διοκλή

Οι ομηρικοί ήρωες περιποιούνταν ο ένας τα τραύματα του άλλου. Σε παράσταση του διάσημου ζωγράφου Σωσία σε κύλικα του 6^{ου}-5^{ου} αιώνα π.Χ., εικονίζεται ο Αχιλλέας να περιποιείται τραύμα του Πατρόκλου (βλέπε εικόνα 21). Παρ' όλα αυτά η περιθάλψη είναι πρωτόγονη. Ο Αχιλλέας τραβά το βέλος από το τραύμα του Πατρόκλου και το δένει με μάλλινο πανί.

Ο εξολκέας αιχμών («κουτάλα») του Διοκλή, μεταγενέστερος κατά περίπου 1.000 χρόνια, εξελίχθηκε για την εξαγωγή αιχμών βελών, οι οποίες ήταν πολύ δύσκολο να αφαιρεθούν με το χέρι ή με πένσα χωρίς να διευρύνουν το τραύμα (βλέπε εικόνα 22). Ο Διοκλής από την Κάρυστο ήταν ένας διάσημος ιατρός του 4^{ου} αιώνα π.Χ., στον οποίο αποδίδεται η επινόηση της «κουτάλας» για αφαίρεση αιχμών από βέλη. Ο Ρωμαίος λόγιος Cornelius Celsus περιγράφει αυτό το ιατρικό εργαλείο σαν ένα



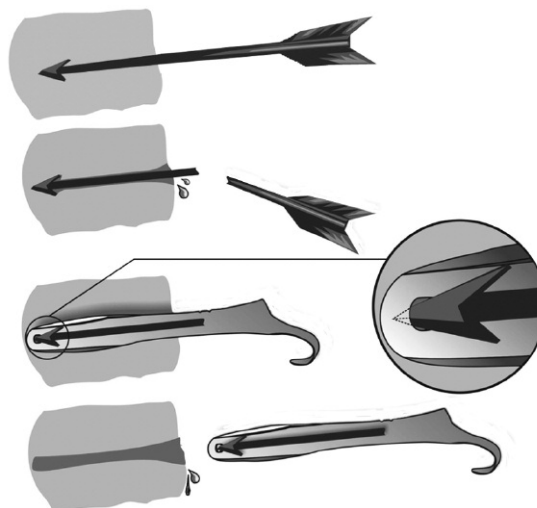
Εικόνα 21. Ο Αχιλλέας περιποιείται τον τραυματία Πάτροκλο μετά την αφαίρεση του βέλους. Παράσταση σε κύλικα σχολής Σωσία (6^{ος}/5^{ος} αιώνας π.Χ.).



Εικόνα 22. α) Εξολκείας αιχμών («κουτάλα») του Διοκλή από την Κάρυστο (4^{ος} αιώνας π.Χ.).

μεταλλικό έλασμα μορφής κουταλιού με ελαφρώς λυγισμένες αιχμές και λαβή στο άνω άκρο.

Σε περίπτωση τραυματισμού από βέλος ακολουθούσαν η εξής διαδικασία. Αρχικά ο θεραπευτής έσπαζε το στέλεχος του βέλους. Στη συνέχεια ωθούσε την κουτάλα μέσα στο τραύμα, διαπερνώντας τον ιστό δίπλα από την αιχμή. Σε τρίτο στάδιο, ο θεραπευτής περιστρέφοντας ελαφρώς την κουτάλα, τραβούσε μαζί και την αιχμή του βέλους προς τα έξω. Μια οπή στο κάτω άκρο της κουτάλας αγκίστρωνε και συγκρατούσε την αιχμή (Εικ. 23).



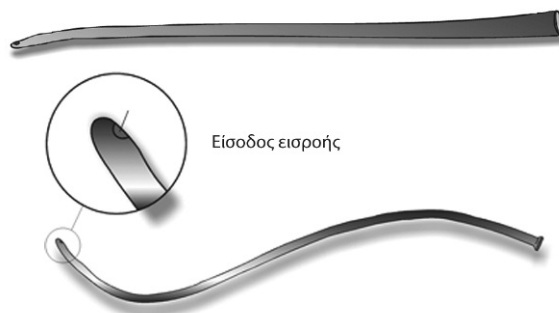
Εικόνα 23. β) Αφαίρεση αιχμής βέλους με τη βοήθεια της «κουτάλας» του Διοκλή.

2.5. Καθετήρες

Σε περιπτώσεις κατακράτησης ούρων, για την εκκένωση της κύστης, οι ιατροί χρησιμοποιούσαν και τότε, όπως σήμερα, καθετήρες.

«Για άνδρες ο καθετήρας πρέπει να είναι μακρύς και καμπύλος όπως ένα Ρωμαϊκό S αλλά για γυναίκες κοντός και ευθύγραμμος» καθορίζει ο Γαληνός (βλέπε εικόνα 24).

Το άνω άκρο του καθετήρα, το οποίο θα εισαγόταν στην ουρήθρα ήταν κλειστό και στρογγυλεμένο. Η οπή εκροής βρίσκεται λίγο κάτω από το κλειστό άκρο. Ο καθετήρας είναι ένας λεπτός μπρούντζινος σωλήνας πολύ λεπτού πάχους τοιχώματος, καμπυλωμένος, όπως αναφέρθηκε, σε μορφή S, με μια εξωτερική διάμετρο περίπου 4.5 mm και περίπου 1 mm πάχος τοιχώματος. Αυτό το εργαλείο ήταν σίγουρα μια πρόκληση για τους τεχνίτες μπρούντζου της αρχαιότητας.

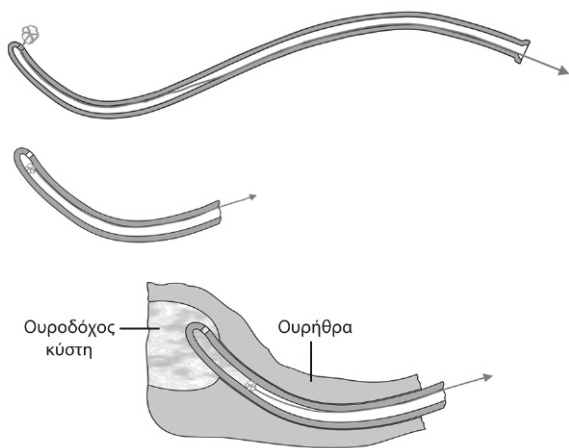


Εικόνα 24. Καθετήρας (Έφεσος και Κολοφών).

Ως πιθανό υλικό χρησιμοποιούσαν μπρούντζο με λιγότερο από 8% κασσίτερο και ως μέθοδο κατεργασίας, βηματική κυλινδρική σφυρηλάτηση. Το αρχικό τεμάχιο ήταν ένας χυτός κύλινδρος. Η σφυρηλάτηση γινόταν με τη βοήθεια ενός χαλύβδινου αξονίσκου, που τοποθετούνταν εσωτερικά στον καθετήρα.

Η μέθοδος της προετοιμασίας και της χρήσης ενός καθετήρα περιγράφεται από τον Παύλο τον Αιγινήτη. Τεμάχιο μαλλιού, εμβαπτισμένου σε λάδι, δένεται με μια κλωστή (νήμα). Το νήμα, κρατώντας τον καθετήρα σε όρθια θέση, οδηγείται μέσα από την είσοδο εισροής του καθετήρα προς την έξοδο του καθετήρα. Στη συνέχεια, τραβώντας το νήμα, το μαλλί που βρισκόταν στο άκρο του νήματος, οδηγείτο εντός του καθετήρα. Στη συνέχεια ολόκληρος ο καθετήρας εμβαπτιζόταν σε λάδι. Επιπλέον, ο Παύλος ο Αιγινήτης περιγράφει τον τρόπο εισαγωγής του καθετήρα στην κύστη, μέσω της ουρήθρας.

Είναι άξιο προσοχής και επισήμανσης το γεγονός ότι οι γνώσεις φυσιολογίας που ήταν γνωστές την εποχή του Γαληνού είναι σχεδόν ταυτόσημες με τη σημερινή στάθμη των γνώσεων. Για να αποφευχθεί το μπλοκάρισμα (κλείσιμο) του καθετήρα από τεμάχια ιστού, ο ιατρός τραβούσε το νήμα και μαζί με αυτό και το μαλλί που ήταν δεμένο στην άλλη άκρη του, προκαλώντας έτσι το φαινόμενο του «σιφωνίου» και διευκολύνοντας τοιουτοτρόπως την εκροή των ούρων, όπως εικονίζεται στην εικόνα 25.



Εικόνα 25. Η χρήση ενός καθετήρα (σύμφωνα με τον Σωρράνο, 1^{ος}/2^{ος} αιώνας π.Χ.).

3. Διόπτρες

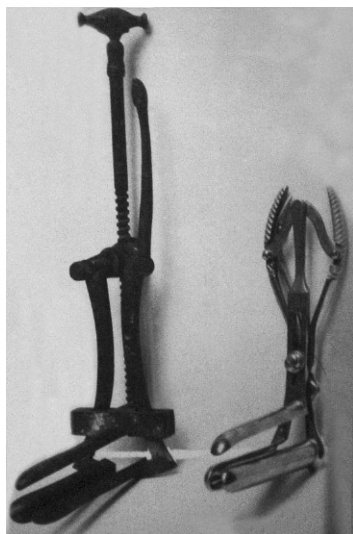
Μια περαιτέρω, καθαρά ιατρική οικογένεια εργαλείων ήταν οι διόπτρες. Σε αυτές ανήκουν όργανα, με τη βοήθεια των οποίων μπορούν να διευρυνθούν οπές στο ανθρώπινο σώμα και να εξετασθεί το εσωτερικό του σώματος. Η ονομασία «διόπτρα» ή «speculum» τονίζει τη λειτουργία της εσωτερικής «επισκόπησης». Οι διόπτρες διακρίνονται σε δύο μορφές, τις «μικρές» για την εξέταση του πρωκτού και τις «μεγάλες» για την εξέταση του κόλπου (βλέπε εικόνα 26).

Ανεξάρτητα από το μέγεθος και τις γεωμετρικές τους διαφορές, τα δύο είδη διοπτρών λειτουργούσαν με την ίδια αρχή. Ένα μεταβαλλόμενη κυκλικής διατομής επίμηκες στέλεχος, αποτελούμενο από δύο ή τρία έμβολα, επονομαζόμενο «πριαπίσκος» ή «λωτός», εισαγόταν στη σωματική οπή και στη συνέχεια τα στελέχη του άνοιγαν, διαστέλλοντας την οπή. Όσον αφορά τη μηχανική αυτής της διαστολής, τα δύο είδη των διοπτρών διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους.

Στο ιπποκρατικό γραπτό *Το συρίγγιο* περιγράφεται η εξέταση του πρωκτού (ορθοσκοπηση) με τη βοήθεια ενός ορθοσκοπίου (*κατοπτήρ*). Σε αυτόν τον τύπο της διόπτρας τα δύο στελέχη (έμβολα) του πριαπίσκου κινούνται και ανοίγουν προς τα έξω μέσω καταλλήλου μηχανισμού μοχλού. Μέσω σύσφιξης των λαβών, τα δύο στελέχη ανοίγουν προς τα έξω. Η γωνία ανοίγματος περιορίζεται από την απόσταση μεταξύ των λαβών. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται, από απρόσεκτο χειρισμό του οργάνου, να τραυματιστεί ο ασθενής.



Εικόνα 26. Διόπτρες: Ορθοσκόπιο και Κολποσκόπιο.



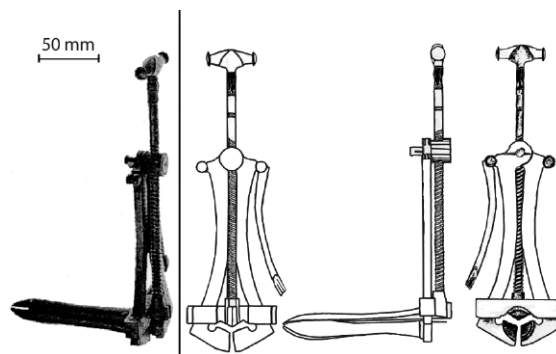
Εικόνα 27. Αντίγραφο ρωμαϊκού κολποσκοπίου του 1^{ου} αιώνα μ.Χ. (αριστερά) το οποίο βρέθηκε στην Πομπηία και εκτίθεται στο μουσείο της Νάπολης και ρωμαϊκό κολποσκοπίο του 1^{ου} αιώνα μ.Χ. (ή μεταγενέστερα) (δεξιά) το οποίο βρέθηκε στον Λίβανο και εκτίθεται στο Βρετανικό Μουσείο. Η μορφή των 3 στελεχών μοιάζει στην αντίστοιχη του κολποσκοπίου της Πομπηίας. Ο κοχλίας του πιθανώς να ανακατασκευάστηκε αργότερα.

Μια περιγραφή του κολποσκοπίου σώθηκε στο έργο του Παύλου του Αιγινίτη (7^{ος} αιώνας μ.Χ.) που περιγράφει διεξοδικά και τη χρήση του (βιβλίο 6, μέρος 7).

Η εξεταζόμενη γυναίκα ακινητοποιείται σε δίφρο (καρέκλα) και ο γιατρός επιλέγει το κατάλληλο κολποσκοπίο όσον αφορά το μήκος του προιαπίσκου για να μην πληγωθεί η μήτρα, χρησιμοποιώντας αρχικά έναν καθετήρα για την εκτίμηση του απαραίτητου μήκους. Το κολποσκοπίο εισάγεται στον κόλπο από τον γιατρό, που το κρατά από τις λαβές του, με τον κοχλία στραμμένο προς τα πάνω. Στη συνέχεια τον κοχλία τον περιστρέφει προσεκτικά ο βοηθός. Όταν διασταλεί ο κόλπος, τότε επεμβαίνει ο γιατρός για να θεραπεύσει πιθανό απόστημα. Μετά την έκκριση του πύου συνίστατο η χρησιμοποίηση γάζας (λημνίσκος) ποτισμένης σε ροδέλαιο για να απαλύνει το τραύμα. Έχουν διασωθεί διάφορα αρχαία κολποσκοπία (βλέπε εικόνα 27).

3.1. Το κολποσκοπίο του Δίου

Το χάλκινο κολποσκοπίο του Δίου βρέθηκε από τον καθ. κ. Δημήτριο Παντερμαλή το καλοκαίρι του 1993 σε ανασκαφές στο Δίον στο τμήμα της «αρχαίας ύδραυλης», σε ένα αρχαίο εργαστήριο.



Εικόνα 28. Κολποσκοπίο Δίου (1^{ου} αιώνα μ.Χ.).

Το κολποσκοπίο του Δίου, που φαίνεται στο αριστερό μέρος της εικόνας 28, είναι παρόμοιο με αντίστοιχα που βρέθηκαν στην Πομπηία και χρονολογείται πιθανότατα στον 1^ο αιώνα π.Χ. Μια πρώτη αποτύπωση της γεωμετρίας του σε δύο όψεις με χρήση συμβατικών μέσων μέτρησης και σχεδίασης φαίνεται στο δεξί μέρος της εικόνας 28 (Παντερμαλής 1993).

Το κολποσκοπίο έχει μήκος 22 εκατοστών του μέτρου και αποτελείται από έναν άξονα του οποίου το μεγαλύτερο τμήμα έχει μορφή κοχλίας, ο οποίος καταλήγει στο άλλο άκρο σε διακοσμημένη λαβή σχήματος T. Ο κοχλίας περνά μέσα από την επονομαζόμενη χελώνη, ένα κυλινδρικής μορφής στοιχείο με εσωτερικό σπείρωμα, που λειτουργούσε σαν περικόχλιο του άξονα δυνάμενο να κινηθεί κατά μήκος του. Η χελώνη φέρει στη μια της πλευρά αξονίσκο, γύρω από τον οποίο περιστρέφονται δύο ελαφρά κεκαμμένοι βραχίονες. Κάθε κίνηση της χελώνης οδηγεί σε κίνηση και τους βραχίονες. Στη βάση των βραχιόνων είναι προσαρμοσμένες δύο κινητές χειρολαβές. Το πέρας του κοχλίας, κυλινδρικής διατομής, στρέφεται ατέρμονα μέσα σε μια κυλινδρική υποδοχή που βρίσκεται σε συμπαγή κανόνα μήκους 6.5 cm. Η μετακίνηση του κοχλίας αξονικά εμποδίζεται με τη βοήθεια ενός πείρου, όπως θα εξηγηθεί στη συνέχεια. Στο πίσω μέρος του κανόνα υπάρχουν υποδοχές για τους δύο βραχίονες που καλύπτονται και ασφαρίζονται από συρόμενα πλακίδια. Έτσι όταν αρχίσει ο κοχλίας να στρέφεται προς τα δεξιά, μετακινείται η χελώνη προς το άκρο του, ωθώντας ταυτοχρόνως, σε ήπια και δίχως βίαιη κλιμάκωση κίνηση, τους βραχίονες να ανοίγουν σταθερά προς τα έξω. Στο πέρας των βραχιόνων είναι στερεωμένα δύο έμβολα, ενώ ένα τρίτο έμβολο είναι προσαρμοσμένο στο μέσο του

κανόνα. Όταν το όργανο είναι κλειστό, τα τρία έμβολα συνοψίζονται σε ένα, τον λεγόμενο πριαπίσκο ή λωτό, που σημαίνει τριφύλλι, επειδή με τη δεξιόστροφη κίνηση του κοχλία διαιρείται σε τρία σκέλη. Τέλος, με το άνοιγμα των δύο λαβών το όργανο μπορούσε να κρατηθεί σταθερά κατά τη χρήση (Παντερμαλής 1993).

Με στόχο τη διερεύνηση του μηχανισμού, καθώς και την κατασκευή ενός λειτουργικού πιστού αντίγραφου του κολποσκοπίου, ήταν αναγκαίο κατ' αρχάς να καταγραφεί η στερεά γεωμετρία των επιμέρους εξαρτημάτων του. Εν προκειμένω, το κολποσκόπιο αποτελείται από 15 εξαρτήματα, 11 από τα οποία είναι διαφορετικά μεταξύ τους. Υπάρχουν επίσης εσωτερικές διαμορφώσεις, καθώς και εξαρτήματα που δεν είναι ορατά. Επιπλέον σε διάφορα σημεία της εξωτερικής επιφάνειας, υπάρχουν καλλιτεχνικές αναπαραστάσεις, οι οποίες είναι δύσκολο να καταγραφούν. Μια μέθοδος που επιτρέπει την καταγραφή της στερεάς γεωμετρίας, εξωτερικών και εσωτερικών διαμορφώσεων, είναι η αξονική τομογραφία (CT) (Stereolithography 2001, Μπουζάκης και συν. 2002, Pantermalis και συν. 2004, Klein 2004).

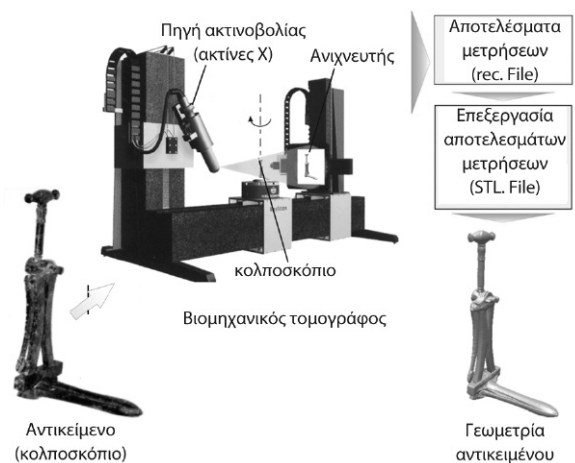
Για την καταγραφή της στερεάς γεωμετρίας του κολποσκοπίου, ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία. Αρχικά το αντικείμενο μετρήθηκε με συμβατικά μέσα μέτρησης και σχεδιάστηκε με τη βοήθεια συστήματος CAD, το στερεό τρισδιάστατο μοντέλο του, αποτελούμενο από τα επιμέρους εξαρτήματα. Για τον έλεγχο της γεωμετρικής τους ακρίβειας αλλά και την εξακρίβωση της μορφής εσωτερικών, μη ορατών, στοιχείων χρησιμοποιήθηκαν τα αρχεία που προέκυψαν από τη σάρωση του αντικειμένου μέσω αξονικού βιομηχανικού τομογράφου. Στη συνέχεια ακολούθησε η καταγραφή των ανάγλυφων καλλιτεχνικών λεπτομερειών στο τρισδιάστατο μοντέλο, η οποία έγινε με την εισαγωγή ψηφιακών φωτογραφιών, όπως θα εξηγηθεί στη συνέχεια. Μετά την καταγραφή της στερεάς γεωμετρίας του αντικειμένου, δημιουργήθηκε ένα πιστό λειτουργικό αντίγραφο, σε ηλεκτρονική μορφή (μοντέλο CAD), καθώς και ένα video προσομοίωσης της κинηματικής του. Παράλληλα μελετήθηκαν η λειτουργία του κολποσκοπίου και η δομή του υλικού, χρησιμοποιώντας τομές από τα αρχεία των μετρήσεων, σε διάφορα σημεία του οργάνου, με σκοπό την αναζήτηση τεχνολογικών λεπτομερειών, που φανερώσουν τη στάθμη της τεχνικής εκείνης της εποχής, καθώς και τον τρόπο μορφοποίησής τους.

3.1.1. Αξονική τομογραφία και καταγραφή της τρισδιάστατης γεωμετρίας του κολποσκοπίου

Η τομογραφία με την υποστήριξη ηλεκτρονικών υπολογιστών (CT) χρησιμοποιείται σήμερα σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές. Έχει το πλεονέκτημα, συγκριτικά με άλλες μεθόδους σάρωσης (λείξερ, CMM), ότι επιτρέπει την καταγραφή τόσο της εξωτερικής γεωμετρίας, όσο και των εσωτερικών διαμορφώσεων του αντικειμένου. Τα κύρια μέρη του τομογράφου είναι η πηγή ακτινοβολίας, η οποία παράγει την Χ ακτινοβολία (Roentgen), και ο ανιχνευτής (βλέπε εικόνα 29). Το αντικείμενο που πρόκειται να υποβληθεί σε τομογραφία, τοποθετείται επί της κινούμενης τράπεζας του τομογράφου και πραγματοποιούνται πολλαπλές ακτινοσκοπήσεις, σε μικρό σχετικά χρόνο, σε διαδοχικές θέσεις περιστροφής του.

Η μέθοδος βασίζεται στη μέτρηση της εξασθένησης της ακτινοβολίας, καθώς αυτή διέρχεται μέσα από τη μάζα του αντικειμένου, σε διάφορες κατευθύνσεις. Με τη βοήθεια ενός μαθηματικού αλγορίθμου δημιουργείται ένας χάρτης της μείωσης της ακτινοβολίας, για κάθε θέση περιστροφής του αντικειμένου. Στον χάρτη αυτόν αποτυπώνονται συγκριτικά, οι διαφορετικές πυκνότητες των υλικών του αντικειμένου.

Στην προκειμένη περίπτωση, αρχικά η σάρωση του κολποσκοπίου έγινε σε H/Y τομογράφο ισχύος 250 KVA ακρίβειας 10 μm. Η ισχύς αυτή δεν ήταν αρκετή για να διεισδύσει η ακτινοβολία στο αντικείμενο, λόγω του μεγάλου πάχους των τοιχωμάτων του. Για τον λόγο αυτό διεξήχθη περαιτέρω σάρωση του αντικειμένου σε H/Y τομογράφο, μεγαλύτερης



Εικόνα 29. Καταγραφή της γεωμετρίας σε ηλεκτρονική μορφή, με τη βοήθεια αξονικού τομογράφου, υποστηριζόμενου από ηλεκτρονικό υπολογιστή.

ισχύος (450 KVA). Στην περίπτωση αυτή καταγράφηκαν όλες οι εσωτερικές διαμορφώσεις του αντικειμένου, αλλά δεν κατέστη δυνατό να καταγραφούν με ακρίβεια καλλιτεχνικές λεπτομέρειες, που υπάρχουν στην επιφάνειά του, λόγω της μικρότερης ακρίβειας του τομογράφου αυτού, της τάξεως των 200 μm.

Το κολποσκοπίο αρχικά μετρήθηκε, όπως ήδη αναφέρθηκε, με τη βοήθεια συμβατικών μέσων μέτρησης (παχύμετρα, μικρόμετρα) και προέκυψαν τα σχέδια που παρουσιάστηκαν στο δεξιό μέρος της εικόνας 28.

Για τον έλεγχο της γεωμετρικής τους ακρίβειας, καθώς επίσης και για την εξακρίβωση του τρόπου με τον οποίο είναι συναρμολογημένα τα επιμέρους τεμάχια, χρησιμοποιήθηκε το STL αρχείο, που προέκυψε από τη σάρωση του αντικειμένου μέσω του τομογράφου και τη μετέπειτα επεξεργασία των μετρήσεων αυτών με ειδικά λογισμικά. Από το STL αρχείο δεν υπάρχει η δυνατότητα της εξαγωγής και της απομόνωσης των επιμέρους εξαρτημάτων του αντικειμένου. Για τον λόγο αυτό σχεδιάστηκαν τα τρισδιάστατα επιμέρους αντικείμενα, που απαρτίζουν το κολποσκοπίο, με τη βοήθεια των συμβατικών μετρήσεων και συγκρίθηκαν με αυτά που προέκυψαν από τον τομογράφο για να ελεγχθεί η ακρίβειά τους. Όπου υπήρχαν αποκλίσεις έγινε διόρθωση, με βάση τα αρχεία της τομογραφίας.

Με αυτόν τον τρόπο προέκυψε το τρισδιάστατο μοντέλο του συναρμολογημένου αντικειμένου, καθώς και τα επιμέρους τεμάχια του κολποσκοπίου, που φαίνονται στην εικόνα 30. Αρκετά από αυτά τα εξαρτήματα έχουν ιδιαίτερα σύνθετη στερεά γεωμετρία. Κατά τη δημιουργία του στερεού

(CAD) μοντέλου του κολποσκοπίου, η συναρμολόγηση των επιμέρους εξαρτημάτων έχει γίνει με τέτοιο τρόπο, ώστε να εξασφαλίζεται η σωστή λειτουργία του κολποσκοπίου και έχει γίνει έλεγχος για τη σωστή τοποθέτησή τους, ώστε να μην συγκρούονται κατά τη λειτουργία του.

Οι καλλιτεχνικές λεπτομέρειες που υπάρχουν στο επάνω μέρος της λαβής του άξονα του μηχανισμού, καθώς και αυτές που βρίσκονται στις άκρες των δύο χειρολαβών του και φαίνονται στο τρισδιάστατο μοντέλο στην εικόνα 30, τοποθετήθηκαν στις εικονιζόμενες θέσεις κατά ένα δεύτερο στάδιο επεξεργασίας. Η απευθείας σχεδίαση αυτών των λεπτομερειών είναι μια διαδικασία χρονοβόρα και ανακριβής και βασίζεται στην καλλιτεχνική ικανότητα του σχεδιαστή για την αποτύπωσή τους. Από το STL αρχείο του τομογράφου, επίσης δεν μπορούν να εξαχθούν ακριβείς πληροφορίες, διότι όπως ήδη αναφέρθηκε, λόγω του πάχους των τοιχωμάτων του κολποσκοπίου και της μεγάλης σχετική ενέργειας που είναι απαραίτητη να το διαπεράσει, χρησιμοποιήθηκε τομογράφος 450 KVA, ο οποίος όμως είχε μικρή σχετικά ακρίβεια αποτύπωσης. Αποτέλεσμα αυτού είναι εξωτερικές περιοχές με ανάγλυφες μικροπαραστάσεις να μην καταγραφούν με την απαιτούμενη ακρίβεια.

Για την αποτύπωση των ανάγλυφων καλλιτεχνικών λεπτομερειών επάνω στο τρισδιάστατο ηλεκτρονικό (CAD) μοντέλο, χρησιμοποιήθηκε μια μέθοδος, η οποία βασίζεται στη χρήση ψηφιακών φωτογραφιών του πραγματικού αντικειμένου. Σύμφωνα με αυτήν, φωτογραφίζεται η περιοχή που πρόκειται να αντιγραφεί και εισάγεται στο τρισδιάστατο μοντέλο με τη χρήση ειδικού λογισμικού. Η βασική αρχή που διέπει αυτή τη μεθοδολογία, στηρίζεται στην αντίθεση της φωτεινότητας των περιοχών του αντικειμένου που εικονίζεται στη φωτογραφία. Έτσι ανάλογα με την αντίθεση της φωτεινότητας και τις κατάλληλες ρυθμίσεις του λογισμικού, γίνεται εφικτή η εισαγωγή των ανάγλυφων λεπτομερειών στο τρισδιάστατο μοντέλο CAD του αντικειμένου (Μπουζάκης και συν. 2002).

3.1.2. Διερεύνηση του τρόπου σχεδιομελέτης του κολποσκοπίου

3.1.2.1 Προσδιορισμός κυρίων διαστάσεων μηχανισμού κίνησης εμβόλων

Ένα βασικό στοιχείο απαραίτητο για τη σχεδία-

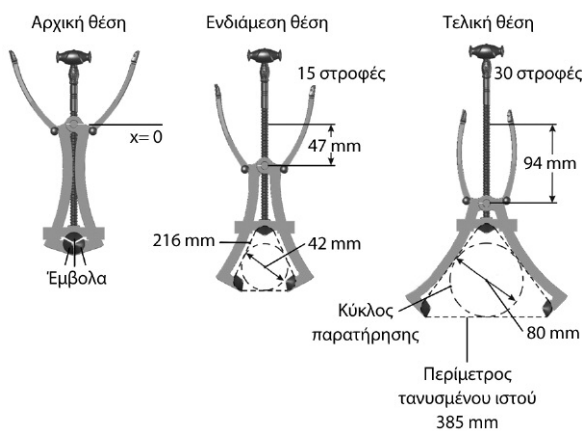


Εικόνα 30. Τρισδιάστατο CAD μοντέλο του κολποσκοπίου.

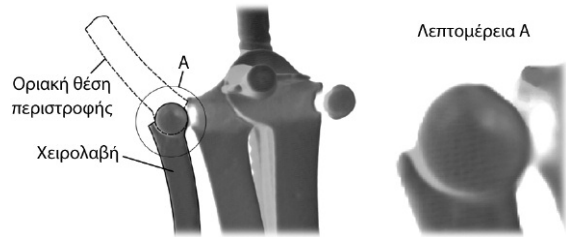
ση του μηχανισμού του κολποσκοπίου, είναι το μέγεθος ανοίγματος των εμβόλων του πριαλίσκου. Από στατιστικά ιατρικά στοιχεία, είναι γνωστό ότι η περίμετρος της κεφαλής νεογνήντου κοριτσιού κυμαίνεται από 325 έως 355 mm και αντίστοιχα άρρενος, μεταξύ 330 μέχρι 360 mm. Από τα στοιχεία αυτά συμπεραίνεται ότι μέσω ενός τέτοιου μηχανισμού, στην τελική του θέση ανοίγματος των εμβόλων, η περίμετρος του τανυσμένου ιστού της υπό εξέταση γυναίκας, πρέπει να είναι κατά μέγιστο, μεταξύ 355 και 360 mm.

Με τη βοήθεια της προσομοίωσης της κινηματικής του κολποσκοπίου είναι δυνατό να προσδιορισθούν τα στοιχεία αυτά, για διάφορες διαστάσεις των μελών του κολποσκοπίου.

Στην εικόνα 31 φαίνονται τρεις διαφορετικές θέσεις λειτουργίας του ανευρεθέντος οργάνου. Στην αρχική θέση, τα έμβολα είναι κλειστά. Αυτή είναι η θέση από την οποία ξεκινούσε ο ιατρός την εξέταση. Η δεύτερη είναι μια ενδιάμεση θέση εξέτασης. Με διακεκομμένη γραμμή παριστάνεται ο τανυσμένος ιστός της εξεταζομένης. Η ενδιάμεση αυτή θέση αντιστοιχεί σε 15 στροφές του άξονα, ή αντίστοιχα σε κατά μήκος μετακίνηση της λαβής περίπου κατά 47 mm. Η περίμετρος του τανυσμένου ιστού στη θέση αυτή ανέρχεται σε 216 mm. Τέλος, η τελική θέση αντιστοιχεί στο μέγιστο άνοιγμα του κολποσκοπίου, η οποία επιτυγχάνεται μετά 30 στροφές του άξονα, που ισοδυναμούν σε 94 mm κατά μήκος μετατόπιση της λαβής. Σε αυτήν την τελική θέση η περίμετρος του τανυσμένου ιστού ανέρχεται κατά μέγιστο σε 385 mm. Η μέγιστη αυτή διάσταση είναι μόνο 25 mm μεγαλύτερη αυτής των 360 mm, που αναφέρθηκε προηγουμένως.



Εικόνα 31. Προσομοίωση λειτουργίας του κολποσκοπίου σε τρεις διαφορετικές θέσεις.



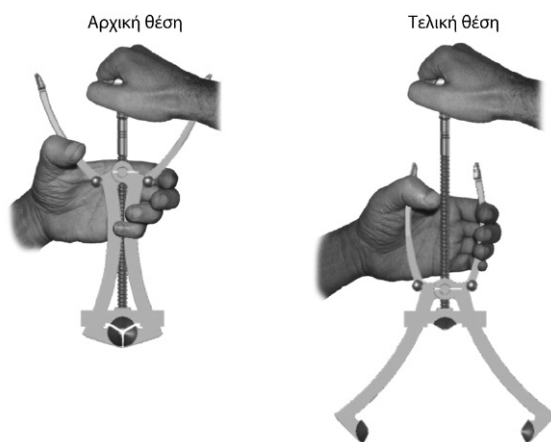
Εικόνα 32. Αξονική τομογραφία του κολποσκοπίου, με ελλείπουσα τη δεξιά χειρολαβή.

Στην εικόνα 32 αρουσιάζεται η αξονική τομογραφία του κολποσκοπίου, στην περιοχή άρθρωσης των λαβών του.

Η δεξιά λαβή δεν ανευρέθηκε κατά τις ανασκαφές. Στην αριστερή λαβή, η οποία στην τομογραφία είναι σε κλειστή θέση, φαίνονται οι διαμορφώσεις που υπάρχουν στη λαβή και αντίστοιχα στον βραχίονα, οι οποίες οριοθετούν και την τελική θέση της λαβής, όταν αυτή αναδιπλωθεί. Η θέση αυτή έχει σημειωθεί στο σχήμα με διακεκομμένη γραμμή.

Σχετικά με τον χειρισμό του κολποσκοπίου, ο χειριστής συγκρατούσε το όργανο, όπως φαίνεται στην εικόνα 33, και για τον λόγο αυτό οι λαβές του κολποσκοπίου μετά την αναδίπλωσή τους έφταναν στο όριο, που φαίνεται στο σχήμα. Τοιουτοτρόπως ο χειριστής τις συγκρατούσε με το ένα χέρι και με το άλλο χέρι, μπορούσε να περιστρέφει τον κοχλία ανεμπόδιστα.

Κατά την τάνυση του ιστού της εξεταζόμενης, το άνοιγμα των χειρολαβών μικραίνει και το κολποσκοπιο μπορεί ευχερώς να συγκρατηθεί μέσω της παλάμης, όπως φαίνεται στην εικόνα 33. Εν



Εικόνα 33. Χειρισμός του κολποσκοπίου.

προκειμένου δύναται να υποτεθεί ότι η θραύση της δεξιάς χειρολαβής, η οποία δεν βρέθηκε κατά την ανασκαφή, οφείλεται σε ακούσια υπερφόρτιση της από τον χειριστή ή έντονη κίνηση της εξεταζόμενης, στη θέση λειτουργίας του κολποσκοπίου, που φαίνεται δεξιά στην εικόνα 33.

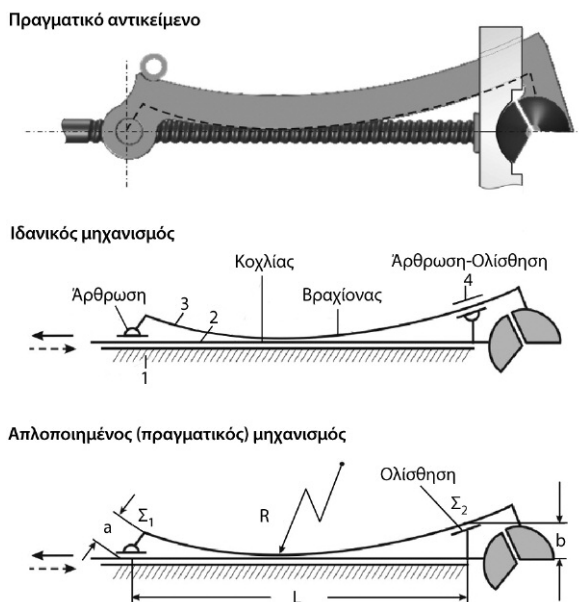
Το σκαρίφημα του ισοδύναμου μηχανισμού ανοίγματος των εμβόλων του κολποσκοπίου παρίσταται στο μέσο της εικόνας 34. Πρόκειται για επίπεδο μηχανισμό με τέσσερα μέλη. Το μέλος 2 εκτελεί οριζόντια μετατόπιση εντός των σχετικών ολισθητήρων. Το μέλος 3 συνδέεται μέσω άρθρωσης με το 2 και, μέσω ολισθητήρα, με το μέλος 4. Το μέλος 4 περιστρέφεται γύρω από σταθερή άρθρωση.

Εν προκειμένω, για λόγους απλοποίησης της κατασκευής του κολποσκοπίου, το μέλος 4 έχει καταργηθεί και η επαφή του μέλους 3 με τον ολισθητήρα 4, είναι ελεύθερη (βλέπε κάτω μέρος της εικόνας 17). Αυτό δημιουργεί προβλήματα εύρους επαφής στις συνευαλζόμενες επιφάνειες ολισθητήρα (-κανόνα) και μέλους 3 (-βραχίονα), του πραγματικού κολποσκοπίου. Για να υπερπηδηθεί η δυσκολία αυτή, όπως θα εξηγηθεί περαιτέρω, τίθεται θέμα βελτιστοποίησης της ακτίνας καμπυλότητας R του βραχίονα, λαμβανομένου υπόψη του απαιτούμενου από τη χρήση του κολποσκοπίου, μήκους L .

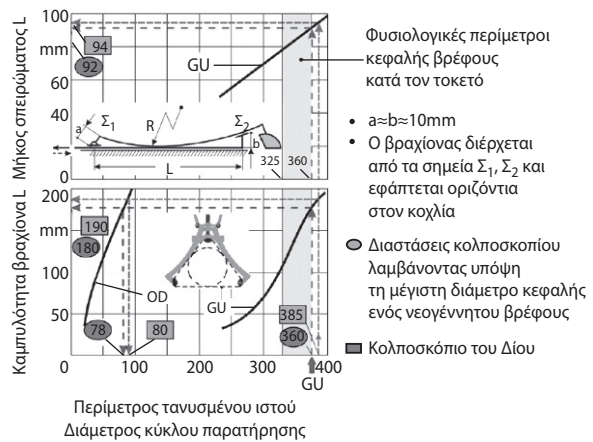
Για κατασκευαστικούς λόγους, επίσης στο άνω μέρος του μηχανισμού στην άρθρωση των βραχιό-

νων, η διάσταση a δεν μπορεί να είναι μικρότερη από περίπου 10 mm. Η διάσταση b στον ολισθητήρα του βραχίονα στο κάτω μέρος του μηχανισμού, για λόγους που θα εξηγηθούν, πρέπει να είναι περίπου ίση με τη διάσταση a . Για να λειτουργήσει ο μηχανισμός και να εκπληρώνει την προϋπόθεση συγκεκριμένου ανοίγματος, όπως προαναφέρθηκε, πρέπει να προσδιοριστεί το κατάλληλο μήκος διαδρομής του κοχλίου L και στη συνέχεια, η ακτίνα καμπυλότητας των βραχιόνων R , μέσω απλής γεωμετρικής κατασκευής, ως συνάρτηση των βασικών μεγεθών χειρισμού του κολποσκοπίου, δηλ. της περιμέτρου του τανυσμένου ιστού GU και της διαμέτρου του κύκλου παρατήρησης OD , μέσω απλής γεωμετρικής κατασκευής. Για δεδομένο μήκος κοχλίου L προσδιορίζεται επομένως η ακτίνα R , έτσι ώστε η σχετική περιφέρεια να διέρχεται από τα σημεία Σ_1 , Σ_2 και να έχει τον άξονα του κοχλίου του κολποσκοπίου ως οριζόντια εφαπτομένη.

Στην εικόνα 35 έχει παρασταθεί η περίμετρος του τανυσμένου ιστού, ως συνάρτηση του μήκους L του κοχλίου και της αντίστοιχης ακτίνας R των βραχιόνων, για μηχανισμό όπως αυτός, που εικονίζεται στο κάτω μέρος της εικόνας 17. Επίσης έχει παρασταθεί η εξάρτηση της διαμέτρου του κύκλου παρατήρησης (βλέπε εικόνα 31) από την καμπυλότητα του βραχίονα R , η οποία διέρχεται από τα σημεία Σ_1 , Σ_2 , και Σ_3 (βλέπε εικόνα 34). Στα διαγράμματα του σχήματος είναι καταχωρημένη και η περιοχή των φυσιολογικών περιμέτρων κεφαλής βρέφους κατά τον τοκετό. Η εν προκειμένω μέγιστη διάσταση περιμέτρου κεφαλής βρέφους, οδηγεί στον



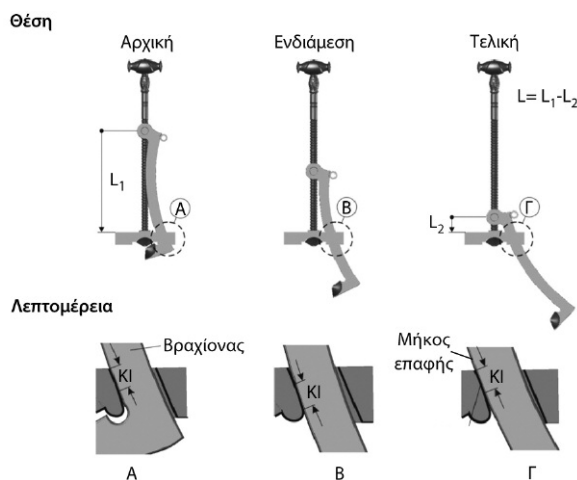
Εικόνα 34. Σκαρίφημα του ισοδύναμου μηχανισμού ανοίγματος των εμβόλων του κολποσκοπίου.



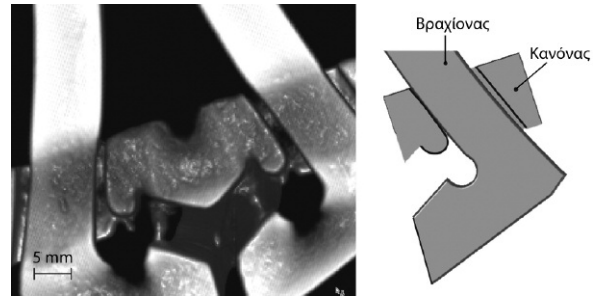
Εικόνα 35. Περίμετρος τανυσμένου ιστού και διάμετρος κύκλου παρατήρησης, συναρτήσει του μήκους του σπειρώματος και της καμπυλότητας των βραχιόνων.

προσδιορισμό των απαιτούμενων κυρίων διαστάσεων του κολποσκοπίου, δηλαδή του μήκους του κοχλία σε 92 mm και αντιστοίχως της ακτίνας του βραχίονα σε 180 mm. Από σχετικό διάγραμμα προσδιορίζεται και η διάμετρος του κύκλου παρατήρησης που προκύπτει κάθε φορά. Ο πραγματικός μηχανισμός του κολποσκοπίου έχει περίπου αυτές τις διαστάσεις, δηλαδή ενεργό μήκος σπειρώματος 94 mm και καμπυλότητα βραχίονα 190 mm. Με αυτές τις διαστάσεις η μέγιστη διάμετρος του κύκλου παρατήρησης ανέρχεται σε 80 mm.

Στο άνω μέρος της εικόνας 36 φαίνονται τρεις θέσεις του μηχανισμού, αρχική, ενδιάμεση και τελική, καθώς και το αντίστοιχο εύρος επαφής ΚΙ μεταξύ βραχίονα και διαμορφωμένης υποδοχής-ολισθητήρα, του συμπαγούς κανόνα (βλέπε κάτω μέρος του σχήματος). Το εύρος της επαφής μεταξύ των καμπύλων επιφανειών του ολισθητήρα και του βραχίονα, επιδιώκεται να είναι όσο το δυνατό μεγαλύτερο, για τη μείωση της επιφανειακής πίεσης και αποφυγής φθορών. Εν προκειμένω ικανοποιητική σύγκλιση των καμπυλοτήτων της επιφάνειας του ολισθητήρα με τη συνεργαζόμενη κυρτή επιφάνεια του βραχίονα, επιτυγχάνεται καθ' όλο το μήκος διαδρομής L, μετακίνησης του περικολχίου, εάν οι διαστάσεις α και b του μηχανισμού είναι περίπου ίσες και όσον το δυνατόν μικρές, ενώ η καμπυλότητα του βραχίονα εφάπτεται του άξονα του κοχλία. Αυτό προκύπτει από τις σχετικές επαφές ολισθητήρα-βραχίονα, που εικονίζονται στο κάτω μέρος της εικόνας 36, για τις πραγματικές διαστάσεις του κολποσκοπίου. Το εύρος της επαφής c είναι περίπου σταθερό, καθ' όλο το μήκος μετακίνησης



Εικόνα 36. Εύρος επαφής του βραχίονα στην άρθρωση ολίσθησης.



Εικόνα 37. Τομογραφία της θέσης υποδοχής του κανόνα (ολισθητήρας) για τον βραχίονα.

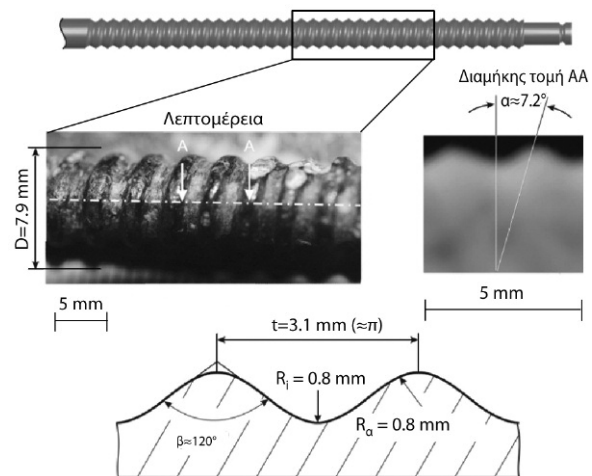
της του περικολχίου. Αύξηση της διάστασης b, ή αύξηση της καμπυλότητας R του βραχίονα, οδηγούν σε σημαντική μείωση του εύρους επαφής c.

Η τομογραφία που εικονίζεται στην εικόνα 37, που αντιστοιχεί στην αρχική θέση του μηχανισμού, δείχνει τη σύγκλιση των αντιστοίχων επιφανειών ολισθητήρα-βραχίονα και υποδηλώνει ότι τα προηγούμενα περιγραφέντα, είχαν ληφθεί υπόψη κατά τη σχεδίαση του μηχανισμού του κολποσκοπίου.

3.1.2.2. Προσδιορισμός κυρίων διαστάσεων σπειρώματος κοχλία

Στην εικόνα 38 παρουσιάζεται φωτογραφία, καθώς και η γεωμετρία του σπειρώματος του κοχλία του κολποσκοπίου. Το σπείρωμα διαπιστώθηκε ότι έχει διάμετρο D=7.9 mm και βήμα σπειρώματος περίπου 3.1 mm που αντιστοιχεί με ικανοποιητική προσέγγιση στον αριθμό π. Η γωνία κλίσης α δύναται να υπολογιστεί από την εξίσωση:

$$\alpha = \text{atan} \left(\frac{t}{\pi D} \right)$$



Εικόνα 38. Κατά μήκος τομή του κοχλία με βασικά στοιχεία του σπειρώματος.

που στην προκειμένη περίπτωση, $t \approx \pi$ προκύπτει από τη σχέση:

$$\alpha \approx \text{atan} \left(\frac{1}{D} \right) \approx 7.2^\circ$$

Η γωνία β της κορυφής του σπειρώματος ανέρχεται περίπου σε 120° .

Μέσω της ανάλυσης δυνάμεων που επενεργούν στο σπείρωμα του κοχλίου (βλέπε εικόνα 39) (Niemann 1975), για γωνία κορυφής του σπειρώματος $\beta=120^\circ$, προκύπτει για κίνηση του περικοχλίου προς τα άνω, δηλαδή για αναίρεση του φορτίου που εξασκεί ο τανυσμένος ιστός στα έμβολα, ότι:

$$F_u = F \tan(\alpha - \rho')$$

με γωνία ρ' υπολογισμένη από τη σχέση:

$$\tan(\rho') = \frac{\tan(\rho)}{\cos(\beta/2)}$$

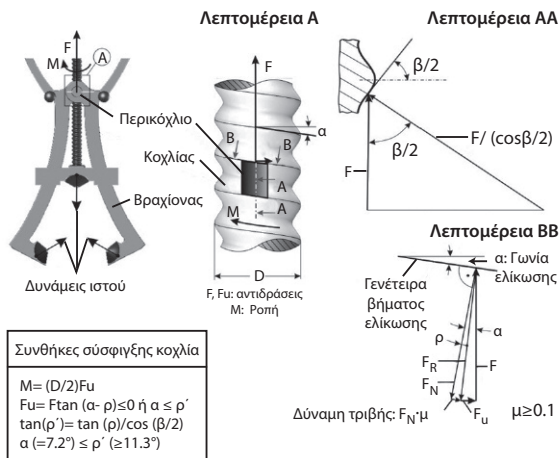
όπου η γωνία ρ εκτιμάται, βάσει του συντελεστή τριβής μ μεταξύ του περικοχλίου και του κοχλίου από την εξίσωση:

$$\rho = \text{atan}(\mu)$$

Εκτιμώντας το μέγεθος του συντελεστή τριβής σε κατ' ελάχιστον 0.1, η γωνία ρ' υπολογίζεται με τη βοήθεια των προηγούμενων σχέσεων σε:

$$\rho' \geq 11.3^\circ$$

Απόσφιξη του σπειρώματος δεν μπορεί να λάβει χώρα, αν η κατά μήκος δύναμη F ασκούμενη από τον τανυσμένο ιστό, μέσω των βραχιόνων επί



Εικόνα 39. Συνθήκες για τη διατήρηση της σύσφιξης του κοχλίου κατά την ιατρική εξέταση.

του περικοχλίου, δεν δημιουργεί στρεπτική ροπή /8/, δηλαδή:

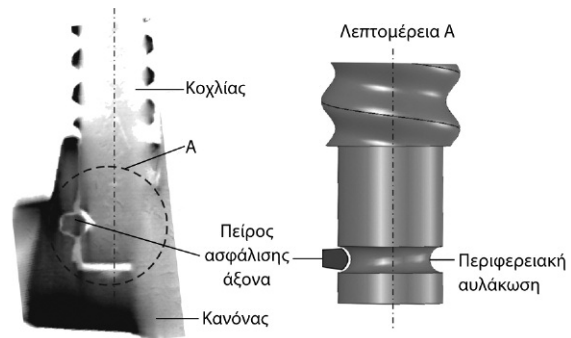
$$F_u = F \tan(\alpha - \rho') \leq 0, \quad \text{ή} \\ \tan(\alpha - \rho') \leq 0 \quad \text{ή} \quad \alpha \leq \rho',$$

συνθήκη που εκπληρώνεται πάντα, αφού η γωνία κλίσεως του σπειρώματος α είναι περίπου 7.2° και η $\rho' \geq 11.3^\circ$, όπως προηγουμένως αναφέρθηκε. Αυτό σημαίνει ότι, αν πιεστούν τα έμβολα μέσω του τανυσμένου ιστού της εξεταζόμενης, ο κοχλίας ακινητοποιείται, δηλαδή δεν χαλαρώνει από μόνος του κατά την εξέταση.

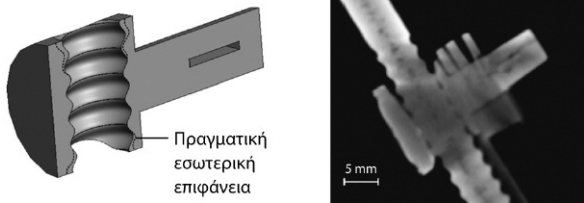
3.1.2.3 Σχεδίαση χαρακτηριστικών λεπτομερειών κοχλίου και περικοχλίου

Στην εικόνα 40 φαίνεται μια τομή του αντικειμένου στην περιοχή του κανόνα του κολποσκοπίου, εκεί όπου καταλήγει το κάτω άκρο του άξονα του κοχλίου. Από την τομή αυτή προέκυψαν πληροφορίες για τη συναρμολόγηση του κάτω άκρου του κοχλίου στην κυλινδρική υποδοχή του κανόνα, οι οποίες δεν θα μπορούσαν να εξαχθούν με κάποια άλλη μη καταστροφική μέθοδο. Το άκρο του κοχλίου έχει κατάλληλη περιφερειακή αυλάκωση και, με τη βοήθεια ενός πείρου ασφάλισης, ακινητοποιείται κατά την αξονική κατεύθυνση. Το άκρο του άξονα του κοχλίου έχει μικρότερη διάμετρο από ό,τι το σπείρωμα, γιατί κατά τη συναρμολόγηση, πρέπει πρώτα να περάσει μέσα από το σπείρωμα της χελώνης (περικοχλίου), το οποίο είναι και αυτό κωνικά διαμορφωμένο. Αυτό προκύπτει από την τομογραφία που εικονίζεται στην εικόνα 41.

Στο σχήμα αυτό φαίνεται επίσης και ένα σκαρίφημα της τομής της χελώνης (περικοχλίου), στην περιοχή του αξονίσκου, επί του οποίου αρθρώνονται οι δύο βραχίονες του κολποσκοπίου. Όπως



Εικόνα 40. Κατασκευαστική διαμόρφωση του κάτω άκρου του άξονα του κοχλίου.



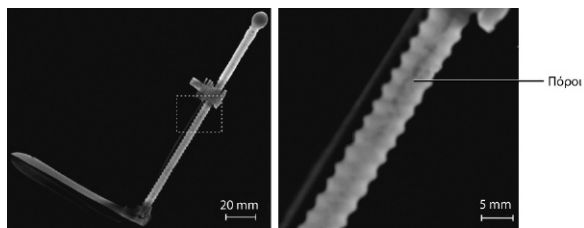
Εικόνα 41. Εσωτερική διαμόρφωση χελώνης (περικοχλίου).

δείχνει η τομογραφία, στο άνω μέρος του περικοχλίου, παρουσιάζεται μια κωνικότητα στο σπείρωμα, για να υποβοηθήσει τη συναρμολόγηση και τη σταδιακή εξομάλυνση τραχυτήτων κατά το αρχικό χρονικό διάστημα της κίνησης του κοχλία εντός του περικοχλίου. Η ελαφρή κωνικότητα του κάτω μέρους του περικοχλίου, πρέπει να αποδοθεί σε επιδίωξη αποφόρτισης του άκρου του περικοχλίου και σε φθορές, που προέκυψαν κατά τη λειτουργία του κοχλία.

3.1.3. Διερεύνηση του τρόπου μορφοποίησης δομικών στοιχείων του κολποσκοπίου

3.1.3.1. Μορφοποίηση κοχλία

Στην εικόνα 42 παρουσιάζεται μια τομή κατά μήκος της αξονικής γραμμής του κοχλία του κολποσκοπίου, όπως προέκυψε από επεξεργασία σχετικών αρχείων Η/Υ τομογραφίας. Όπως φαίνεται, στο μέσο του κοχλία, κατά μήκος της νοητής αξονικής του γραμμής, υπάρχουν πόροι. Εν προκειμένω, οι σκιάσεις υποδηλώνουν αλλαγή πυκνότητας του υλικού, που είναι ένδειξη ύπαρξης χώρων, κενών υλικού. Οι πόροι αυτοί υποδηλώνουν και τον τρόπο κατασκευής του κοχλία, που πιθανότατα κατασκευάστηκε αρχικά από κερί, με τη βοήθεια του οποίου στη συνέχεια κατασκευάστηκε καλούπι από πηλό, στο οποίο έγινε η χύτευση του μεταλλικού υλικού. Κατά την απόψυξη του χυτού, αρχικά στερεοποιούνται οι εξωτερικές επιφάνειες. Όταν αρχίσει η στε-



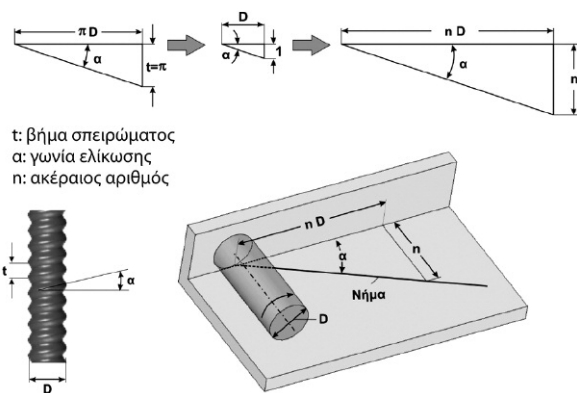
Εικόνα 42. Τομή κατά μήκος της αξονικής γραμμής του κοχλία του κολποσκοπίου.

ρεοποίηση του εσωτερικού όγκου, λόγω συστολής του υλικού, μπορούν να δημιουργηθούν τέτοιοι πόροι και σπηλαιώσεις, όπως αυτές που φαίνονται στην τομή της εικόνας 42.

Μεγάλου ενδιαφέροντος είναι, επίσης, το πώς μορφοποιήθηκε το σπείρωμα στο κέρινο μοντέλο του κοχλία, που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του καλουπιού χύτευσης, με τις υπάρχουσες δυνατότητες στην αρχαιότητα. Αν λάβουμε υπόψη ότι το βήμα του συγκεκριμένου σπειρώματος είχε εκλεγεί να είναι ίσο περίπου με π , όπως προκύπτει από την εικόνα 43, η γωνία κλίσης του σπειρώματος, συναρτήσει του βήματος t και της διαμέτρου D του κοχλία, υπολογίζεται από τη σχέση που ήδη προηγουμένως αναφέρθηκε:

$$\tan(\alpha) = \frac{t}{\pi D} \approx \frac{\pi}{\pi D} \approx \frac{1}{D}$$

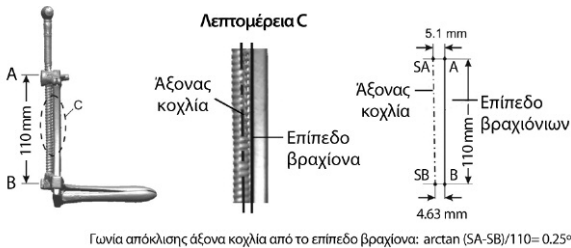
Θα μπορούσε λοιπόν πολύ απλά να κατασκευαστεί ένας κέρινος κύλινδρος διαμέτρου D , αντίστοιχος της εξωτερικής διαμέτρου του κοχλία και να τοποθετηθεί σε γωνιακή διάταξη, όπως φαίνεται στην εικόνα 43. Στη διάταξη αυτή είναι τοποθετημένο και ένα νήμα με κλίση, όπως φαίνεται στο σχήμα. Εν προκειμένω το νήμα τοποθετείται και ακινητοποιείται βάσει των αποστάσεων $n \cdot D$ και n , όπου n ένας τυχαίος ακέραιος αριθμός. Το μήκος n είναι εκφρασμένο με τις ίδιες μονάδες μέτρησης του D . Κυλίνοντας (χωρίς ολίσθηση) τον κύλινδρο από δεξιά προς τα αριστερά, αποτυπώνεται το ίχνος του νήματος, το οποίο αντιστοιχεί στην ελίκωση του σπειρώματος, πάνω στην επιφάνεια του κυλίνδρου. Στη συνέχεια ο τεχνίτης, ακολουθώντας αυτό το ίχνος, διαμόρφωνε προσεκτικά το σπείρωμα.



Εικόνα 43. Αποτύπωση του σπειρώματος στην κυλινδρική επιφάνεια του κέρινου μοντέλου του άξονα.

3.1.3.2. Επιτευχθείσες ακρίβειες κατά τη μορφοποίηση των δομικών στοιχείων του κολποσκοπίου

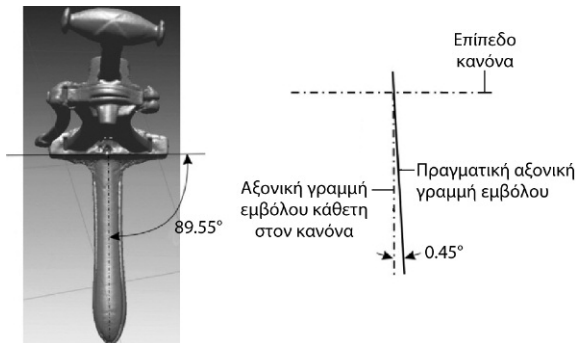
Μια βασική ανοχή για την επίτευξη της λειτουργίας του κολποσκοπίου, είναι αυτή της παραλληλότητας του άξονα του κοχλία, ως προς τις επίπεδες επιφάνειες των βραχιόνων. Όπως προκύπτει από την εικόνα 44 για συνολικό μήκος περίπου 110 mm μεταξύ των σημείων A και B, μετρήθηκε μέσω των Η/Υ τομογραφιών απόκλιση 0.47 mm από την παράλληλο SA-SB που αντιστοιχεί στον άξονα του κοχλία. Η απόκλιση αυτή δημιουργεί μια γωνία ανάμεσα στον άξονα του κοχλία και το επίπεδο των βραχιόνων ίση με 0.25 μοίρες, η οποία είναι αρκετά μικρή για να προκαλέσει μπλοκάρισμα του μηχανισμού του κολποσκοπίου.



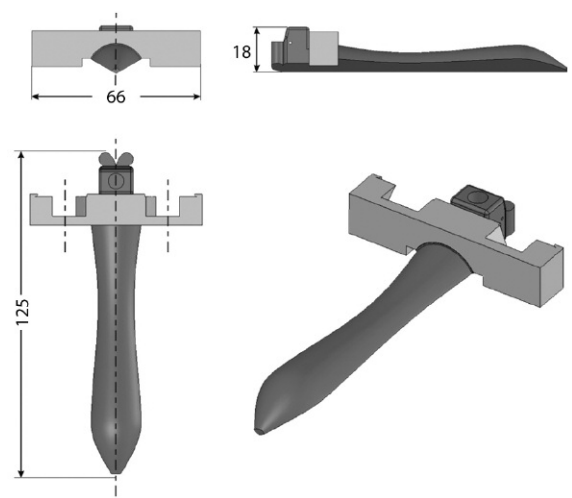
Εικόνα 44. Παραλληλότητα του άξονα του κοχλία σε σχέση με τις επίπεδες επιφάνειες των βραχιόνων.

Στην εικόνα 45 παρουσιάζεται η απόκλιση καθετότητας του σταθερού εμβόλου, ως προς την επιφάνεια του κανόνα που εξακριβώθηκε μέσω Η/Υ τομογραφιών του κολποσκοπίου. Η απόκλιση από την κάθετο είναι 0.45 μοίρες, επίσης ικανοποιητικά μικρή, σε σχέση με τις απαιτήσεις λειτουργικότητας.

Πρόκειται να τονισθεί ότι οι αποκλίσεις αυτές μετρήθηκαν σε έναν μηχανισμό, ο οποίος έχει υποστεί φθορά τόσο κατά τη λειτουργία του, όσο κυ-



Εικόνα 45. Καθετότητα του σταθερού εμβόλου του κολποσκοπίου.

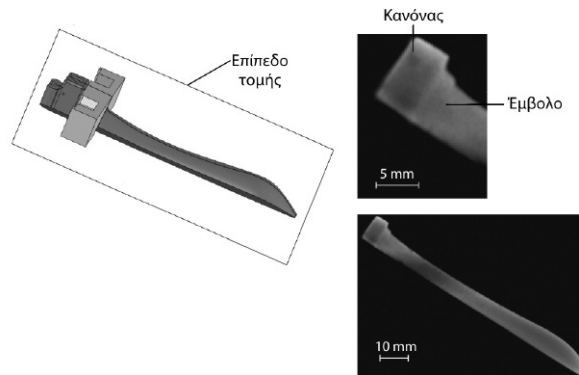


Εικόνα 46. Γεωμετρία του συμπαγούς κανόνα με το σταθερό έμβολο.

ρίως και κατά το μεγάλο χρονικό διάστημα παραμονής εντός της γης, μέχρι την εύρεσή του κατά τις ανασκαφές. Εύλογα μπορεί να υποτεθεί ότι οι πραγματικές αρχικές αποκλίσεις του μηχανισμού, ήταν μικρότερες από τις σήμερα μετρημένες.

Στην εικόνα 46 φαίνεται ο κανόνας του κολποσκοπίου με το σταθερό έμβολο. Για τα σημερινά δεδομένα μορφοποίησης, το αντικείμενο αυτό είναι τυπικό φραιζαριστό-τορναριστό τεμάχιο, σύνθετης γεωμετρίας. Οι μηχανουργικές ακρίβειες υποκαταστάθηκαν από τις ικανότητες του κατασκευαστή του κέρινου ομοιώματος, απαραίτητου για την κατασκευή του κεραμικού καλουπιού χύτευσης.

Στην εικόνα 47 φαίνεται μια τομή κατά μήκος του σταθερού εμβόλου, το οποίο καταλήγει στον κανόνα του κολποσκοπίου. Η δομή του εμβόλου, όπως προκύπτει από την κατά μήκος αυτή τομή, αλλά και από άλλες αντίστοιχες εγκάρσιες τομές που



Εικόνα 47. Κατά μήκος τομή του σταθερού εμβόλου του κολποσκοπίου.

μελετήθηκαν, δεν παρουσιάζει πόρους. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι εδόθη ιδιαίτερη προσοχή στην απόψυξη μετά τη χύτευση. Πιθανώς το χυτό να σφυρηλατήθηκε, πριν διεξαχθεί η τελική μορφοποίησή του.

Συμπεράσματα

Τα αρχαία ιατρικά εργαλεία δεν έχουν τίποτε να ζηλέψουν από τα σημερινά. Αρχαία ιατρικά εργαλεία, που έχουν βρεθεί, είναι πανομοιότυπα με τα αντίστοιχα σημερινά και διατήρησαν επί 2.500 χρόνια όχι μόνο τη μορφή τους αλλά και το ίδιο όνομα.

Κάποια ιατρικά εργαλεία είναι σε κάποιο βαθμό η μετατροπή της τεχνικής και της εμπειρίας, που προερχόταν από τη καθημερινότητα των τεχνιτών, σε ιατρική χρήση όπως π.χ. το τρυπάνι κρανιοδιατρήσεων. Τρυπάνια, πριόνια, σμίλες και περιστροφή μέσω χορδής ξύλινου τόξου ήταν κάτι το συνηθισμένο για γλύπτες, για τεχνίτες κοπής πολύτιμων λίθων και ξυλουργούς. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις στις οποίες η ιατρική της αρχαιότητας ανέπτυξε όργανα, τα οποία δεν ήταν βασισμένα πάνω σε αντίστοιχα τεχνιτών άλλων κλάδων, αλλά εξελίχθηκαν ανεξάρτητα και σχεδιάστηκαν για ειδικευμένο σκοπό όπως π.χ. τα κολποσκοπία.

Η τριοδιάστατη ηλεκτρονική αναπαράσταση του κολποσκοπίου του Δίου επέτρεψε την προσομοίωση της κινηματικής κατά τη λειτουργία του και τη διερεύνηση του τρόπου επιλογής κυρίων διαστάσεων του μηχανισμού του, των στοιχείων του, καθώς και της μορφοποίησής του. Επίσης κατέστη δυνατόν να αξιολογηθεί η ακρίβεια μορφοποίησης μέσω μετρήσεων κυρίων διαστάσεών του. Με βάση τα σχετικά αποτελέσματα διαπιστώθηκε το υψηλό τεχνικό επίπεδο σχεδίασης και μορφοποίησης των ιατρικών εργαλείων στην αρχαιότητα.

Βιβλιογραφία

1. Klein F, Hering E. Anwendungen der 3D-Computertomographie in Archaeologie, Restaurierung und Kunstgeschichte, 2004, Aalen.
2. Krug Antje, *Heilkunst und Heilkult*, Medizin in der Antike, Muenchen, 1984.
3. Milne John Stewart, MA, MD Aberd. Surgical Instruments in Greek and Roman Times, New York 1970.
4. Niemann G. Maschinenelemente Band I, Springer Verlag 1975.
5. Pantermalis D, Bouzakis K-D, Efstathiou K, Michailidis N, Varitis E. Untersuchung und replizierung formkomplexer metallischen archaeologischer Objekte mit Hilfe von verarbeitenden Daten, durch 3D-Computertomographie ermittelt, Anwendungen der 3D- Computertomographie in Archaeologie, Restaurierung und Kunstgeschichte, 6 December 2004, Aalen Germany.
6. Stereolithography – as easy as operating a VCR. 3D@work. Informagazine 3D systems, 1/2001.
7. Γεροντζάνος Στ., Bridler R. Τραύμα. Πρόκληση και φροντίδα του τραύματος στην Αρχαία Ελλάδα, εκδ. Μορφωτικό Ίδρυμα Εθνικής Τράπεζας, Αθήνα 1998.
8. Μπουζάκης Κ-Δ, Ευσταθίου Κ, Μιχαηλίδης Ν, Μάλιαρης Γ. Εφαρμογή σύγχρονων και καινοτόμων τεχνολογιών για την αναπαραγωγή αρχαιολογικών ευρημάτων, Εργαλειομηχανές - Μηχανουργικές κατεργασίες, πρακτικά 6^{ου} συνεδρίου, παρουσίασης ερευνητικών δραστηριοτήτων του ΕΕΔΜ, περιόδου 1999. 2002; 25-34.
9. Μπουζάκης Κ-Δ, Παντερομαλής Δ, Ευσταθίου Κ, Βαρύτης Ε, Μιχαηλίδης Ν, Μανρουδής Γ. Αναπαραγωγή της στερεάς γεωμετρίας αρχαιολογικών ευρημάτων βασισμένη σε αξονικές τομογραφίες, ψηφιακή φωτογράφιση και κατάλληλη επεξεργασία των σχετικών αρχείων, πρακτικά 7^{ου} συνεδρίου, παρουσίασης ερευνητικών δραστηριοτήτων του ΕΕΔΜ, περιόδου 2002-2005.
10. Παντερομαλής Δ. Η ανασκαφή του Δίου κατά το 1993 και η χάλκινη διόπτρα, Υπουργείο πολιτισμού – ΤΑΠ, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Το αρχαιολογικό έργο στη Μακεδονία και Θράκη, 1993; 7: 195-8.