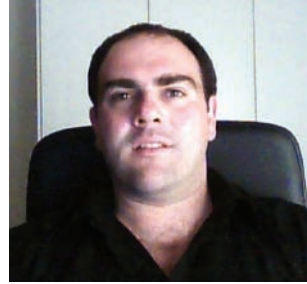


Σύγχρονες διαδικασίες σχεδιασμού, Ανάπτυξης και Παραγωγής προϊόντων

Ερευνητικές δραστηριότητες εργαστηρίου



του Δρ. Μάρκου Πετούση

1. Εισαγωγή

Η εμβιομηχανική είναι η επιστήμη, στην οποία εφαρμόζονται στη βιολογία και την ιατρική αρχές της μηχανικής, της φυσικής, της χημείας και άλλων κλασικών επιστημών. Στόχος της είναι η σχεδίαση, η μελέτη και η ανάπτυξη συστημάτων που θα χρησιμοποιηθούν σε έμβιους οργανισμούς. Τέτοια συστήματα είναι συστήματα απεικόνισης, τεχνητά μέλη, εμφυτεύματα, όργανα μετρήσεων και ιατρικά εργαλεία.

Για την ανάπτυξη εμβιομηχανικών συστημάτων, τεχνικές και εργαλεία που προέρχονται από την επιστήμη της μηχανολογίας και αφορούν τη μελέτη, την πρωτοτυποποίηση και την ανάπτυξη εξαρτημάτων και μηχανισμών, απαιτείται να ολοκληρωθούν με ιατρικά πρωτόκολλα. Για το λόγο αυτό, το ενδιαφέρον του ιατρικού κλάδου για συνεργασία με φορείς που μπορούν να παρέχουν τεχνογνωσία και υποδομή σε αντίστοιχους τομείς, είναι αρκετά μεγάλο.

Τα τελευταία χρόνια, τα διαθέσιμα εργαλεία σχεδιομελέτης και ανάπτυξης προϊόντων παρέχουν νέα σημαντικά χαρακτηριστικά. Τα χαρακτηριστικά αυτά επεκτείνουν σημαντικά τις δυνατότητες των μηχανικών για ανάπτυξη άρτιων τεχνικά προϊόντων, παρέχοντας στη φάση της σχεδιομελέτης κρίσιμες πληροφορίες για το υπό μελέτη αντικείμενο, οι οποίες δεν ήταν παλαιότερα εφικτό να προσδιοριστούν

πριν την κατασκευή του.

Στη συνέχεια, περιγράφονται οι ερευνητικές δραστηριότητες του Τμήματος Μηχανολογίας του ΤΕΙ Κρήτης στην επιστήμη της εμβιομηχανικής, οι οποίες έχουν υλοποιηθεί, αξιοποιώντας και ολοκληρώνοντας επιμέρους τμήματα της υλικότεχνικής του υποδομής. Οι ερευνητικές αυτές δραστηριότητες αποτελούν προϊόντα συνεργασίας των ερευνητών του Τμήματος Μηχανολογίας με ερευνητές προερχόμενους από τον ιατρικό κλάδο.

2. Σχεδιασμός και κατασκευή φυσικού πρωτοτύπου μοντέλου ανθρώπινου ματιού.

Η συγκεκριμένη έρευνα είχε ως στόχο την ανάπτυξη ενός μοντέλου ανθρώπινου ματιού, το οποίο να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πραγματοποίηση ιατρικών μετρήσεων σε αυτό, για συγκεκριμένες λειτουργίες του ανθρώπινου ματιού.

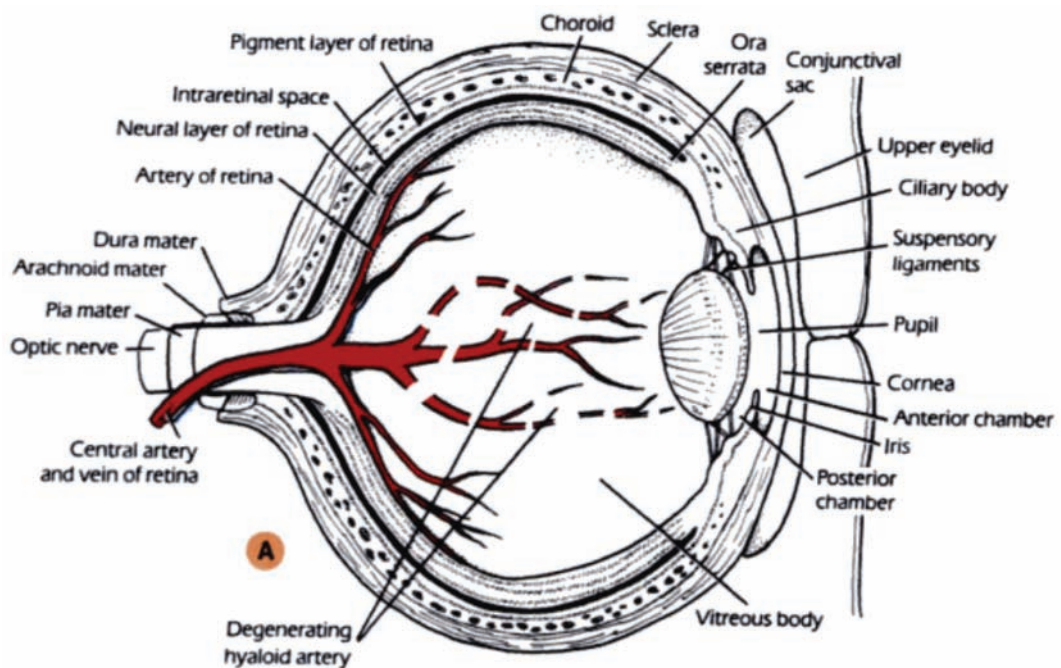
Η ανάπτυξη του μοντέλου αυτού έγινε με βάση την ανατομία του ανθρώπινου ματιού, η οποία φαίνεται στο σχήμα 1. Οι τεχνικές και λειτουργικές προδιαγραφές που έπρεπε να έχει το μοντέλο, τέθηκαν από τον ιατρό που συμμετείχε στην έρευνα και ήταν:

- Η γεωμετρία του μοντέλου έπρεπε να είναι ίδια με τη γεωμετρία του πραγματικού ανθρώπινου ματιού.
- Οι αποστάσεις μεταξύ του φακού, της ίριδας, του κερατοειδούς και του αμφι-

βηλοτροειδούς έπρεπε να είναι σωστές, σύμφωνα με την ανατομία.

- Οι δύο περιοχές του ματιού με τα δύο διαφορετικά υγρά εμπρός και πίσω από το φακό έπρεπε να είναι ανεξάρτητες ή μία από την άλλη και υδατοστεγείς.
- Έπρεπε να δημιουργηθούν δίοδοι τροφοδοσίας των υγρών του ματιού.
- Το μοντέλο έπρεπε να μπορεί να συναρμολογείται και να αποσυναρμολο-

σε έρευνα και όχι για εμπορική χρήση. Αρχικά, αναπτύχθηκε σε παραμετρικό λογισμικό τρισδιάστατης σχεδίασης (Computer Aided Design - CAD) η τρισδιάστατη γεωμετρία για το μοντέλο του ανθρώπινου ματιού. Κάθε ξεχωριστό αντικείμενο της συνολικής συναρμολογημένης γεωμετρίας, αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο τμήμα του πραγματικού ανθρώπινου ματιού. Ο σχεδιασμός έγινε, λαμβάνοντας υπόψη τις προ-



Σχήμα 1. Ανατομία ανθρώπινου ματιού (εικόνα Snell R.S., Lemp M.A.).

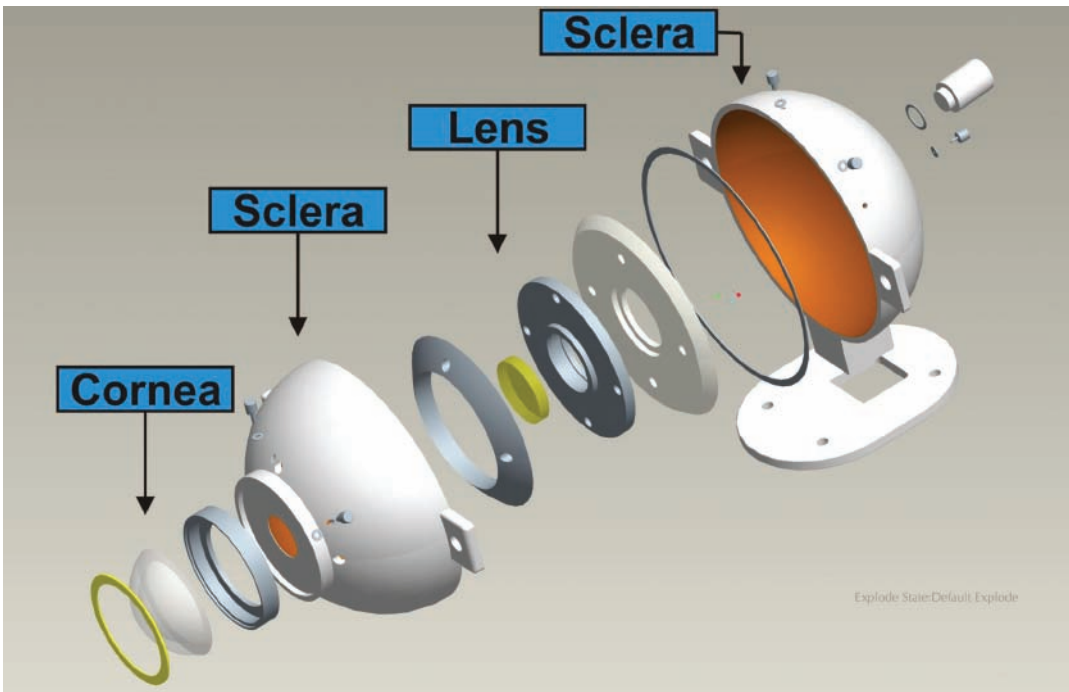
γείται, με τρόπο ώστε να είναι εφικτή η αντικατάσταση του φακού.

Για την ανάπτυξη του μοντέλου του ανθρώπινου ματιού, σύμφωνα με τις προκαθορισμένες προδιαγραφές, ακολουθήθηκε διαδικασία όμοια με τη διαδικασία που ακολουθείται στην ανάπτυξη οποιουδήποτε νέου προϊόντος, παρόλο που το μοντέλο του ματιού προοριζόταν για χρήση

διαγραφές που είχαν τεθεί. Ο σχεδιασμός περιλαμβάνει την ανάπτυξη της τρισδιάστατης γεωμετρίας, τον τρόπο σύνδεσης των επιμέρους εξαρτημάτων στο μοντέλο, τη συναρμολόγηση του μοντέλου, το υλικό κατασκευής όλων των επιμέρους εξαρτημάτων στη συναρμολόγηση του μοντέλου, την ικανοποίηση των προδιαγραφών και τη λειτουργικότητα του μοντέλου.

Η συνολική τρισδιάστατη γεωμετρία αξιοποιήθηκε από την ερευνητική ομάδα στην αξιολόγηση του σχεδιασμού του υπό ανάπτυξη μοντέλου του ανθρώπινου ματιού και τον προσδιορισμό τεχνικών παραμέτρων σχετικών με τη λειτουργικότητα και τις απαιτήσεις για την κατασκευή των επιμέρους εξαρτημάτων. Η φάση αυτή ήταν η πιο κρίσιμη στην όλη έρευνα, γιατί σε αυτήν αντιμετωπίστηκαν θέματα σχετικά με

Για την περαιτέρω επαλήθευση του σχεδιασμού, η τρισδιάστατη γεωμετρία που αναπτύχθηκε στον υπολογιστή, χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη φυσικού πρωτότυπου για το μοντέλο, με χρήση της τεχνολογίας της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Κατασκευάστηκαν φυσικά πρωτότυπα για όλα τα επιμέρους εξαρτήματα του μοντέλου (σχήμα 3). Τα πρωτότυπα αυτά χρησιμοποιήθηκαν, για να επαληθευτεί ότι το μοντέλο



Σχήμα 2. Η τρισδιάστατη γεωμετρία του μοντέλου του ανθρώπινου ματιού που αναπτύχθηκε.

την ακρίβεια του μοντέλου σε σχέση με το πραγματικό ανθρώπινο μάτι. Επίσης, προσδιορίστηκαν παράμετροι σχετικοί με την κατασκευή των επιμέρους εξαρτημάτων του μοντέλου. Λόγω των μικρών διαστάσεων ορισμένων εξαρτημάτων, προσδιορίστηκε ότι για την κατασκευή τους πρέπει να γίνει χρήση εξειδικευμένων μεθόδων παραγωγής. Η τρισδιάστατη γεωμετρία του μοντέλου του ανθρώπινου ματιού που αναπτύχθηκε φαίνεται στο σχήμα 2.

του ανθρώπινου ματιού που αναπτύχθηκε μπορεί να κατασκευαστεί και να συναρμολογηθεί. Επίσης, επαληθεύτηκε η λειτουργία του.

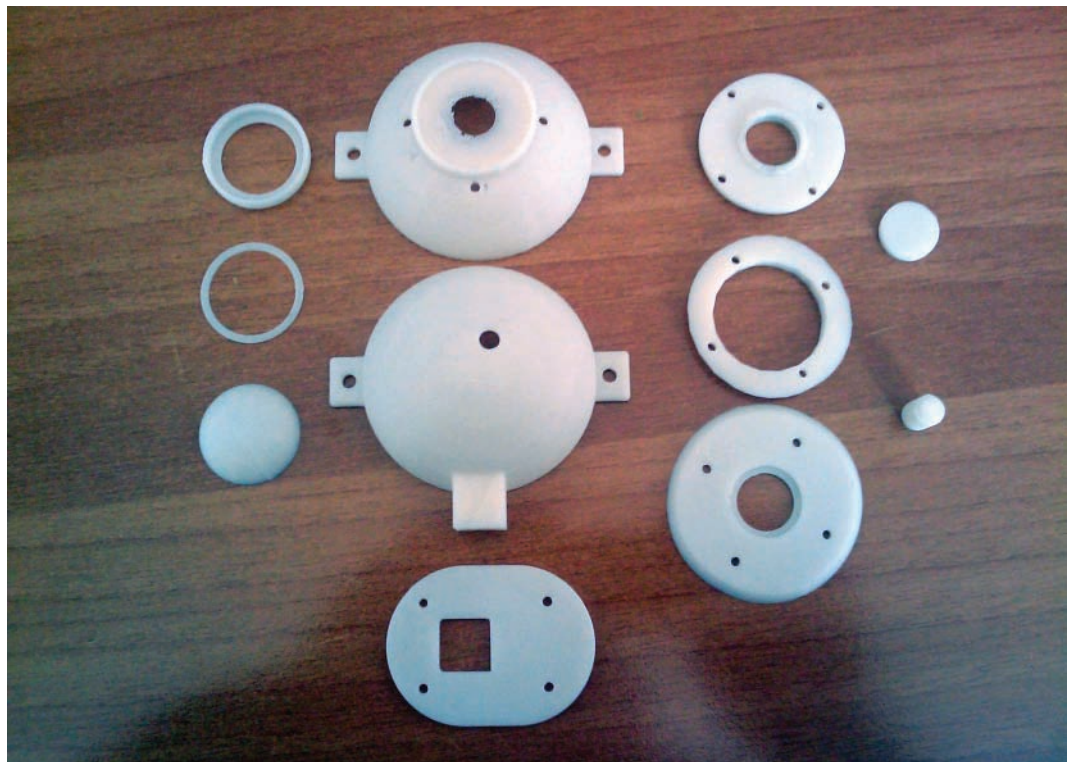
Στην ερευνητική ομάδα συμμετείχαν οι ερευνητές του ΤΕΙ Κρήτης Δρ. Κουδουμάς Μανώλης, Δρ. Πετούσης Μάρκος, Δρ. Γεωργίου Στρατής, Δρ. Βιδάκης Νεκτάριος, Δρ. Βαϊρns Αχιλλέας και ο ιατρός Παππάς Γιώργος.

3. Σχεδιασμός, κατασκευή φυσικού πρωτότυπου και μελέτη μέσω ανάλυσης με πεπερασμένα στοιχεία μοντέλων ιατρικών εξαρτημάτων για την αποκατάσταση ρήξης εμπρόσθιου χιαστού τένοντα σε ανθρώπινο γόνατο.

Η χειρουργική αποκατάσταση ρήξης εμπρόσθιου χιαστού, είναι μια από τις πιο συνήθεις ορθοπεδικές χειρουργικές επεμβάσεις, ειδικά στο χώρο της αθλητικής.

του, το σημείο αυτό σε κάποιες κινήσεις και θέσεις του ανθρώπινου σώματος μπορεί να δεχτεί εφελκυσμό, στρέψη και διάτμηση ταυτόχρονα.

Η παρούσα έρευνα, είχε ως στόχο την ανάπτυξη ενός νέου συστήματος συγκράτησης του μοσχεύματος κατά τη χειρουργική επέμβαση αποκατάστασης ρήξης εμπρόσθιου χιαστού, το οποίο να περιορίζει τα προβλήματα που μπορεί να παρουσιαστούν



Σχήμα 3. Φυσικά πρωτότυπα για το μοντέλο του ανθρώπινου γόνατου που αναπτύχθηκε.

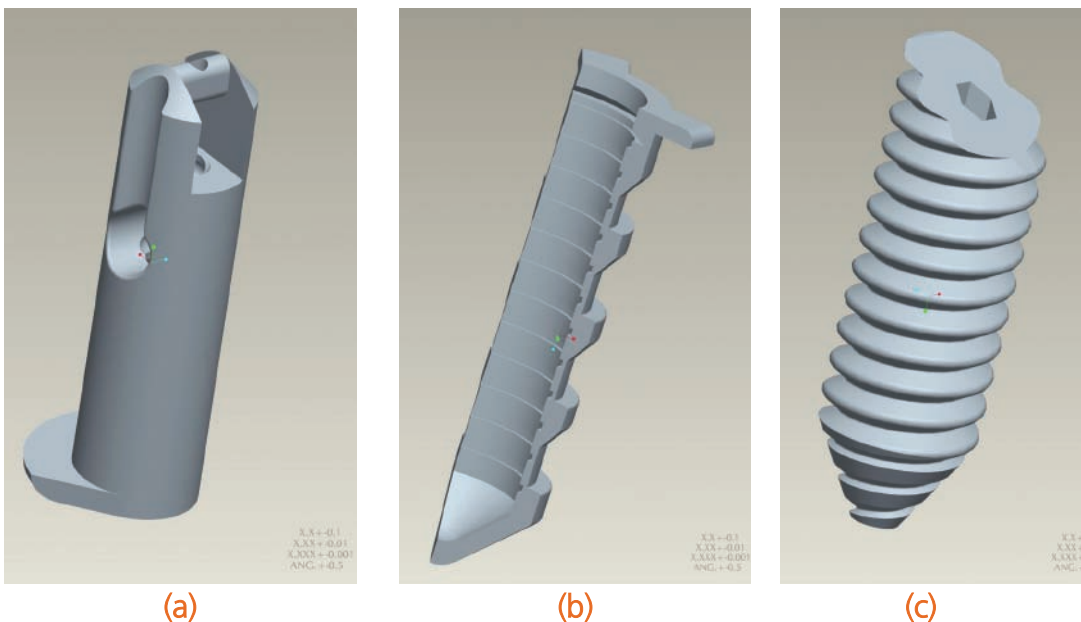
Τα συνήθη πρωτόκολλα αναφέρονται στη χρήση εξαρτημάτων συγκράτησης των βιολογικών ή τεχνητών μοσχευμάτων. Τα εξαρτήματα αυτά έχουν κάποια μειονεκτήματα, με πιο σημαντικό τον τραυματισμό του μοσχεύματος στο σημείο συγκράτησης, λόγω των πολύπλοκων καταπονήσεων που δέχεται το συγκεκριμένο σημείο στο γόνατο. Κατά τη λειτουργία του γόνα-

με τα υπάρχοντα συστήματα συγκράτησης. Στο σχήμα 4 φαίνονται τα τρισδιάστατα γεωμετρικά μοντέλα από τα εξαρτήματα του συστήματος συγκράτησης που αναπτύχθηκαν. Επίσης στο σχήμα 4α φαίνεται και το εξάρτημα που τοποθετείται στο ένα κόκκαλο του ποδιού κατά την επέμβαση. Το μόσχευμα περνάει μέσα από την τρύπα του και τυλίγεται γύρω από αυτό, οπότε το μό-

σχευμα είναι διπλό μέσα στο γόνατο. Οι δύο άκρες του μוסχεύματος καταλήγουν σε άλληλο κόκκαλο, μέσω ενός τούνελ που ανοίγεται από το χειρούργο κατά την επέμβαση. Στο κόκκαλο αυτό πρέπει να στηριχθεί το μόσχευμα, ώστε να είναι σταθερό μέσα στο πόδι. Το μόσχευμα ακουμπάει στην έξω επιφάνεια του εξαρτήματος που φαίνεται στο σχήμα 4b και σταθεροποιείται με το εξάρτημα του σχήματος 4c, το οποίο βιδώνει στην εσωτερική επιφάνεια του

το οποίο αποτελείται από καμπύλες σε τρεις διαστάσεις, η ακριβής περιγραφή της γεωμετρίας δεν ήταν εφικτή με δισδιάστατα μηχανολογικά σχέδια. Επιπλέον, τα τρισδιάστατα γεωμετρικά μοντέλα αξιοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της διαδικασίας παραγωγής των εξαρτημάτων.

Για την περαιτέρω επαλήθευση της γεωμετρίας, τα τρισδιάστατα γεωμετρικά μοντέλα αξιοποιήθηκαν για την κατασκευή φυσικών πρωτοτύπων για τα εργαλεία συ-



Σχήμα 4. Τρισδιάστατα γεωμετρικά μοντέλα για τα εξαρτήματα χειρουργικής αποκατάστασης ρήξης εμπρόσθιου χιαστού, τα οποία αναπτύχθηκαν.

εξαρτήματος του σχήματος 4b. Η διάταξη αυτή έχει κατοχυρωθεί από μέλη της ερευνητικής ομάδας ανάπτυξης με διεθνή πατέντα.

Κατά τη φάση της ανάπτυξης της διάταξης, τα τρισδιάστατα γεωμετρικά μοντέλα, αναπτύχθηκαν σε λογισμικό CAD. Τα γεωμετρικά μοντέλα ήταν απαραίτητα για την οπτικοποίηση των εξαρτημάτων και την περιγραφή της γεωμετρίας τους με ακρίβεια. Λόγω της πολυπλοκότητας του σχήματος,

γκράτησης που αναπτύχθηκαν. Τα φυσικά πρωτότυπα κατασκευάστηκαν στο Τμήμα Μηχανολογίας με τη χρήση της τεχνολογίας της ταχείας πρωτοτυποποίησης (σχήμα 5). Τα φυσικά πρωτότυπα βοήθησαν την ομάδα ανάπτυξης και ιδιαίτερα τα άτομα από τον ιατρικό κλάδο, να αξιολογήσουν το σχεδιασμό και να βελτιώσουν τη γεωμετρία, ώστε να βελτιώσουν τελικά τη λειτουργικότητα των εξαρτημάτων.

Τα τρισδιάστατα γεωμετρικά μοντέλα που αναπτύχθηκαν, χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη ενός συνολικού μοντέλου του αποκατεστημένου εμπρόσθιου χιαστού στον υπολογιστή. Για το σκοπό αυτόν, αναπτύχθηκε το γεωμετρικό μοντέλο του μοσχεύματος και τοποθετήθηκε μαζί με τα εξαρτήματα συγκράτησής του στην τελική τους θέση μέσα στο γόνατο. Το συνολικό αυτό μοντέλο αναπτύχθηκε για μελέτη στον υπολογιστή των καταπονήσεων που

στο συνολικό μοντέλο με το μόσχευμα και τα εξαρτήματα συγκράτησης. Ο χρωματικός κώδικας δηλώνει την κατανομή των τάσεων και των παραμορφώσεων στο μοντέλο.

Στην ερευνητική ομάδα συμμετείχαν οι ερευνητές του ΤΕΙ Κρήτης Δρ. Βιδάκης Νεκτάριος, Δρ. Πετούσης Μάρκος, Δρ. Βαϊρης Αχιλλέας και ο ιατρός Στεφανουδάκης Γιώργος.



(a)



(b)

Σχήμα 5. Φυσικά πρωτότυπα κατασκευασμένα με χρήση τεχνολογίας ταχείας πρωτοτυποποίησης, για τα εξαρτήματα χειρουργικής αποκατάστασης ρήξης εμπρόσθιου χιαστού, τα οποία αναπτύχθηκαν.

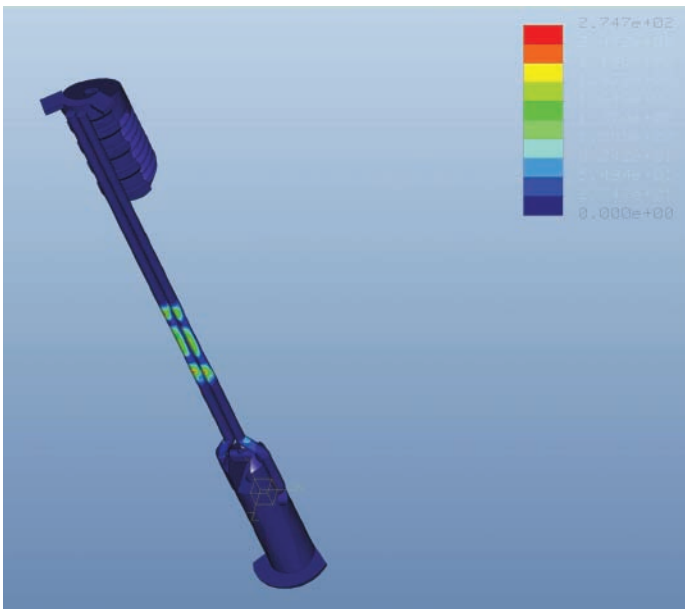
δέχεται το μόσχευμα και τα εξαρτήματα του συστήματος συγκράτησης. Η μελέτη υλοποιήθηκε με τη χρήση της μαθηματικής μεθόδου ανάλυσης με πεπερασμένα στοιχεία, σε κατάλληλο λογισμικό. Στη μελέτη εξετάστηκαν διαφορετικές περιπτώσεις φόρτισης, οι οποίες αντιστοιχούν σε πραγματικές καταστάσεις και περιγράφονται στην ιατρική βιβλιογραφία. Στο σχήμα 6 φαίνονται ενδεικτικά αποτελέσματα της μελέτης υπολογισμού των καταπονήσεων

4. Τρισδιάστατη σάρωση τμημάτων του ανθρώπινου σώματος.

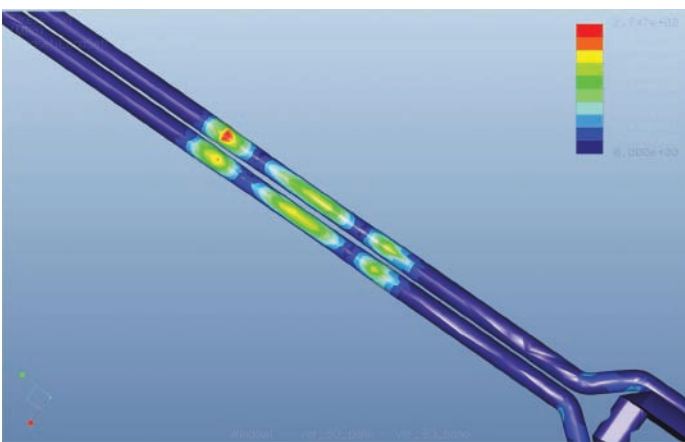
Μια άλλη τεχνολογία, διαθέσιμη στο Τμήμα Μηχανολογίας, η οποία ενδιαφέρει σημαντικά τον ιατρικό κλάδο και έχει πολλές εφαρμογές στην επιστήμη της εμβιομηχανικής, είναι η τρισδιάστατη σάρωση χωρίς επαφή. Η τεχνολογία αυτή καταγράφει και μετατρέπει σε ψηφιακή μορφή τη γεωμετρία και την υφή των επιφανειών σάρωσης. Η τρισδιάστατη σάρωση τμημάτων



(a) Κατανομή παραμόρφωσης



(b) κατανομή τάσεων



(b) κατανομή τάσεων

Σχήμα 6. Ενδεικτικά αποτελέσματα της μελέτης υπολογισμού των καταπονήσεων στο συνολικό μοντέλο με το μόσχευμα και τα εξαρτήματα συγκράτησης.



Σχήμα 7. Δεν είναι φωτογραφία, είναι το αποτέλεσμα της τρισδιάστατης σάρωσης προσώπου, δηλαδή είναι ψηφιακό τρισδιάστατο γεωμετρικό μοντέλο.

του ανθρώπινου σώματος μπορεί να αξιοποιηθεί για την πραγματοποίηση μελετών σε κλάδους της ιατρικής, όπως είναι η ανατομία, η ορθοπαιδική, ο σχεδιασμός μοσχευμάτων, ο προσδιορισμός του βαθμού αποκατάστασης βλαβών του ανθρώπινου σώματος από τραυματισμούς, κλπ.

Στο σχήμα 7 φαίνεται το αποτέλεσμα της τρισδιάστατης σάρωσης προσώπου με τη χρήση της συγκεκριμένης τεχνολογίας.

Δύο ιατρικές έρευνες σχετικές με την τρισδιάστατη σάρωση τμημάτων του ανθρώπινου σώματος είναι σε εξέλιξη αυτήν την περίοδο στο Τμήμα Μηχανολογίας και σύντομα αναμένεται να παρουσιαστούν τα πρώτα αποτελέσματα.

5. Σύνοψη

Τα σύγχρονα εργαλεία σχεδίασης και ανάπτυξης προϊόντων έχουν επεκτείνει σημαντικά τις δυνατότητες των σχεδιαστών. Τα παραπάνω εργαλεία παρέχουν στη φάση της σχεδίασης νέων συστημάτων πληροφορίες που δεν είναι εφικτό να προσδιοριστούν πριν την κατασκευή του συστήματος. Έτσι, στη φάση της ανάπτυξης εντοπίζονται έγκαιρα λάθη, διορθώνονται προβλήματα και μπορούν να συμμετέχουν πλέον άτομα χωρίς τεχνολογικό υπόβαθρο, συμβάλλοντας με τη δική τους τεχνογνωσία στη βελτίωση του σχεδιασμού. Τα χαρακτηριστικά αυτά, κάνουν τις συγκεκριμένες τεχνολογίες αρ-κετά φιλικές για χρήση στην επι-

στήμη της εμβιομηχανικής. Το Τμήμα Μηχανολογίας του ΤΕΙ Κρήτης μπορεί να παρέχει την απαιτούμενη τεχνογνωσία και υποστήριξη για τις τεχνολογίες αυτές, όπως έχει αποδειχτεί από τις ερευνητικές δραστηριότητες που έχουν υλοποιηθεί σε αυτό έως σήμερα.

6. Επικοινωνία

Τ.Ε.Ι. Κρήτης
Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών
Τμήμα Μηχανολογίας

Σταυρωμένος, Τ.Κ. 71004, Ηράκλειο
Κρήτης, Ελλάδα

Τηλέφωνο: +30 2810 379227

E-mail: petousis@emttu.org