

# ΓΕΝΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ

## ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Η Μηχανική είναι ο κλάδος της Φυσικής που μελετάει την επίδραση των δυνάμεων στην κίνηση των σωμάτων.

Η Βιολογική Μηχανική ή Εμβιομηχανική είναι ο κλάδος που μελετάει με ακρίβεια τις κινήσεις και τις δυνάμεις που επενεργούν στον ανθρώπινο σκελετό, αλλά και σε άλλα όργανα του ανθρώπινου σώματος, τόσο σε μακροσκοπικό όσο και σε μικροσκοπικό επίπεδο. Είναι επιστήμη που παρουσιάζει ραγδαία εξέλιξη, στην οποία οφείλονται πολλές από τις προόδους της Ιατρικής. Στην Ορθοπαιδική Χειρουργική έχει βρει μεγάλες εφαρμογές, διότι οι λειτουργίες του μυοσκελετικού συστήματος διέπονται κατεξοχήν από τους νόμους της Μηχανικής. Επομένως, ο χειρουργός, για να αποκαταστήσει τη λειτουργία του πάσχοντος οστού ή της πάσχουσας άρθρωσης, πρέπει να γνωρίζει τις μηχανικές ιδιότητες και των δύο, καθώς και των εμφυτευμάτων που θα χρησιμοποιηθούν για την αποκατάστασή τους. Διαφορετικά, το αποτέλεσμα δεν θα είναι το αναμενόμενο. Οι μεγάλες εξελίξεις στην κατασκευή τεχνητών αρθρώσεων, τεχνητών μελών, υλικών οστεοσύνθεσης των καταγμάτων κ.ά. οφείλονται στην πρόοδο της εμβιομηχανικής έρευνας.

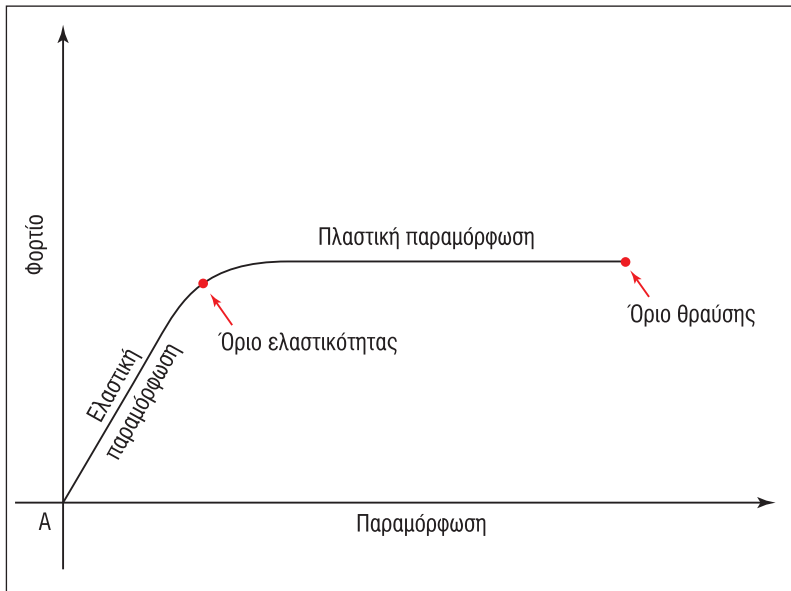
Η μελέτη, βέβαια, της Μηχανικής στο ανθρώπινο σώμα δεν είναι πάντοτε εύκολη. Οι ζωντανοί ιστοί και τα όργανα δεν

μπορούν να εξισωθούν με τα ουδέτερα σώματα. Για να εφαρμοστούν οι νόμοι της Μηχανικής στον άνθρωπο γίνονται διάφορες απλοποιήσεις, οι οποίες όμως δεν απέχουν πάρα πολύ από το φυσιολογικό. Όσο οι τεχνικές της Μηχανικής εξελίσσονται, θα βελτιώνεται και η εμβιομηχανική μελέτη του ανθρώπινου σώματος. Σήμερα, π.χ., με τις νανομετρήσεις είναι δυνατόν να μετρηθούν οι δυνάμεις που επενεργούν πάνω σε μια οστική δοκίδα.

### Βασικοί όροι

Τα φυσικά στερεά σώματα, κάτω από την επίδραση εξωτερικής δύναμης, υφίστανται παραμόρφωση, δηλαδή μεταβολές του σχήματος και του όγκου τους. Μετά την παύση της εξωτερικής αυτής δύναμης, οι μοριακές δυνάμεις του σώματος το επαναφέρουν στην αρχική του κατάσταση. Αυτή η μη μόνιμη παραμόρφωση ονομάζεται *ελαστική* και συμβαίνει όταν η δύναμη δεν ξεπεράσει μια ορισμένη τιμή, το λεγόμενο *όριο ελαστικότητας*. Εάν η δύναμη συνεχίζει να επιδρά πάνω στο σώμα, τότε πλέον αυτό υφίσταται μόνιμη παραμόρφωση, η οποία ονομάζεται *πλαστική*. Όταν η δύναμη συνεχίζει να δρα και μετά την πλαστική παραμόρφωση, προκαλείται *θραύση* του υλικού (Εικ. 1-1, 1-2, 1-3).

Ο βαθμός παραμόρφωσης ενός σώματος εξαρτάται από το σχήμα του, τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού του, καθώς και από τη δύναμη που ενεργεί πάνω του·



**Εικόνα 1-1.** Σχηματική παράσταση της παραμόρφωσης των υλικών.



**Εικόνα 1-2.** Πλαστική παραμόρφωση της μεταλλικής πλάκας μετά από οστεοσύνθεση κατάγματα του μηριαίου οστού.

συγκεκριμένα, από το μέγεθός της, το σημείο εφαρμογής της, τη διεύθυνσή της και την ταχύτητα ή την επιτάχυνσή της.

Όταν η δύναμη που επιδρά σε ένα σώμα (ράβδος) προκαλεί την επιμήκυνσή του, αυτό ονομάζεται *ελκυσμός* του σώματος. Όταν συμβαίνει το αντίθετο, δηλαδή η δύναμη έχει αντίθετη φορά και προκαλεί βράχυνση του σώματος, τότε ονομάζεται *συμπίεση* (Εικ. 1-4).

Η δύναμη που ασκείται σε ένα σώμα κάθετα προς τον κεντρικό επιμήκη άξονά του, ή σε απόσταση απ' αυτόν, προκαλεί *κάμψη*. Η μία επιφάνεια του σώματος υφίσταται συμπίεση, ενώ η άλλη ελκυσμό (Εικ. 1-4).

Όταν ένα σώμα συγκρατείται ακίνητο σε μια επιφάνεια, τότε η δύναμη που θα επιδράσει πάνω στο σώμα, με φορά παράλληλη προς την επιφάνεια, θα προκαλέσει διαχωρισμό των στρωμάτων του σώματος, τα οποία θα μετακινηθούν παράλληλα το ένα σε σχέση με το άλλο. Η δύναμη αυτή ονομάζεται *διατμητική* και έ-



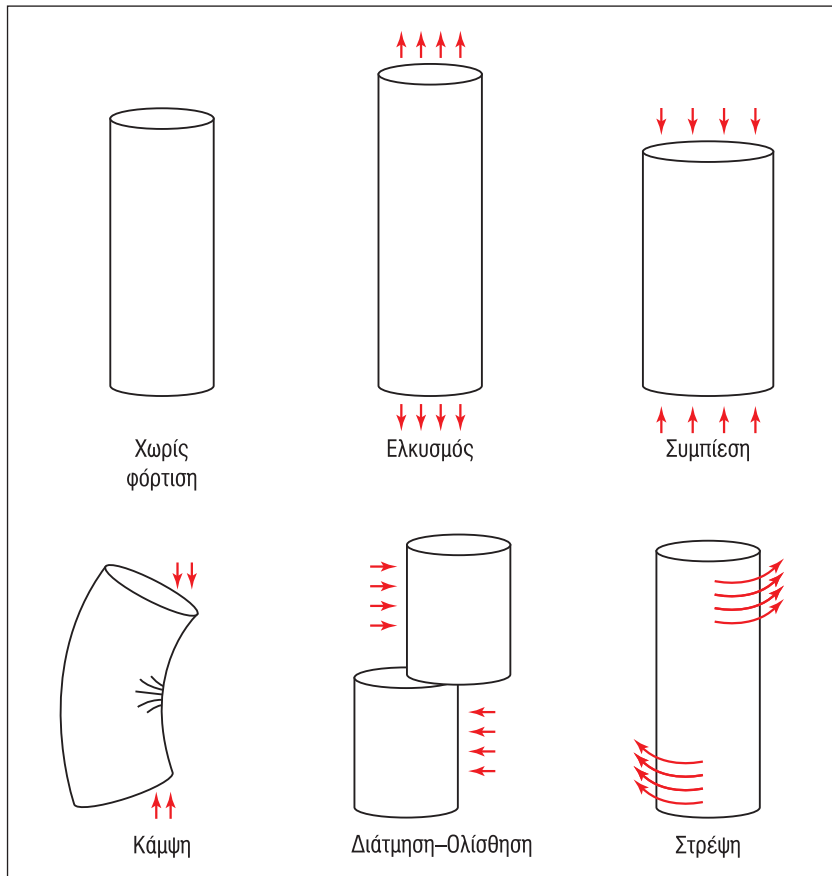
**Εικόνα 1-3.** Θραύση της μεταλλικής πλάκας μετά από οστεοσύνθεση κατάγματος κλείδας.

χει ως αποτέλεσμα τη *διάτμηση* και *ολίσθηση* της μιας επιφάνειας πάνω στην άλλη (Εικ. 1-4).

Η δύναμη που εφαρμόζεται με τρόπο που προκαλεί στροφή στα στοιχεία του σώματος ονομάζεται *ροπή* και η παραμόρφωση *στρέψη* (Εικ. 1-4).

Εάν σε ένα υλικό επιδράει επανειλημμένα δύναμη μικρού μεγέθους, είναι δυνατόν το υλικό να υποχωρήσει· να λυγίσει, δηλαδή, ή να υποστεί θραύση, αν και το μέγεθος της δύναμης είναι πολύ μικρότερο από αυτό που μπορεί να αντέξει το υλικό, όταν δεχτεί αυτή τη δύναμη μόνο μία φορά. Αυτό ονομάζεται *κόπωση* του υλικού.

*Τριβή* ονομάζεται η δύναμη, η οποία αντιστέκεται στην κίνηση μεταξύ δύο σωμά-



**Εικόνα 1-4**

των που βρίσκονται σε επαφή. Υπάρχουν δύο είδη τριβής, η τριβή που δημιουργείται κατά την ολίσθηση και η τριβή που δημιουργείται κατά την κύλιση. Η τριβή αυξάνεται όσο αυξάνεται και η δύναμη που ασκείται πάνω στα δύο σώματα. Εξαρτάται, ακόμη, από τη σύσταση των δύο επιφανειών που προστίβονται και προσδιορίζεται με τον συντελεστή τριβής. Αποτέλεσμα της τριβής είναι η φθορά των σωμάτων που έρχονται σε επαφή.

## Εφαρμογές

Όλες αυτές οι δυνάμεις, όπως και οι συνδυασμοί αυτών, ενεργούν πάνω στα οστά και στις αρθρώσεις και προκαλούν τις ανάλογες παραμορφώσεις ή φθορές.

Οι ζωντανοί, όμως, βιολογικοί ιστοί έχουν τη μοναδική ιδιότητα να προσαρμόζονται, μέχρι ενός σημείου, τις δυνατότητές τους ανάλογα με τις παρουσιαζόμενες ανάγκες. Ειδικότερα, τα οστά, των οποίων ο κύριος ρόλος είναι στηρικτικός, δέχονται πολλές δυνάμεις και υφίστανται μηχανικές καταπονήσεις. Με τη δυνατότητα, όμως, προσαρμογής τους κατορθώνουν να αυξάνουν ή να μειώνουν την αντοχή τους, ανάλογα με την αύξηση ή την ελάττωση των δυνάμεων που δρουν πάνω τους. Αυτή η αυξομείωση της αντοχής των οστών, που είναι μια θαυμαστή μηχανική ιδιότητα, επιτυγχάνεται με τη μεταβολή της πυκνότητας, τη μεταβολή του δοκιδικού συστήματος, τη μεταβολή των διαστάσεων και της γεωμετρίας των οστών και, τέλος, με τη γλοιοελαστικότητά τους. Η δυνατότητα προσαρμογής των οστών, και ειδικά της διάφυσης των μακρών οστών, έχει αναγνωριστεί από τον Γερμανό Julius Wolff ήδη από το 1870.

Παρόλα αυτά η προσαρμοστικότητα

αυτή, όπως αναφέρθηκε ήδη, έχει τα όριά της. Όταν οι δυνάμεις που επιφέρουν ελκυσμό, συμπίεση, κάμψη, ολίσθηση ή στρέψη υπερβούν τα όρια της αντοχής του οστού, θα προκαλέσουν, όπως και στα άλλα σώματα, πλαστική παραμόρφωση και τελικά θραύση του οστού.

Εάν στο οστόν επιδράσουν επί μακρό χρονικό διάστημα μικρές δυνάμεις, είναι δυνατόν αυτό να υποστεί κόπωση και θραύση, να προκληθεί δηλαδή το λεγόμενο *κάταγμα από καταπόνηση*.

Οι νόμοι της Μηχανικής λαμβάνονται υπόψη στην οστεοσύνθεση των καταγμάτων. Σε κατάγματα της διάφυσης μακρών οστών, όπως του μηριαίου και της κνήμης, η οστεοσύνθεση με ενδομυελικό ήλο είναι μηχανικά πιο ισχυρή από ό,τι η οστεοσύνθεση με πλάκες και βίδες. Ο ενδομυελικός ήλος, ο οποίος τοποθετείται μέσα στον αυλό, είναι πλησιέστερα στο σημείο όπου διέρχονται οι δυνάμεις φόρτισης που δέχεται το κάταγμα. Αποτέλεσμα αυτού είναι να απορροφούνται οι αυξημένες δυνάμεις που προκαλούν κάμψη και στρέψη τόσο στο υλικό οστεοσύνθεσης όσο και στο οστόν (Εικ. 1-5).

Οι πλάκες οστεοσύνθεσης, από την κατασκευή τους και από τον τρόπο τοποθέτησής τους, είναι υλικά που αντέχουν σε δυνάμεις που προκαλούν ελκυσμό, όχι όμως και κάμψη. Σε συντριπτικά κατάγματα της διάφυσης μακρών οστών, όταν μετά την ανάταξη και την οστεοσύνθεση με πλάκα υπάρχει οστικό έλλειμμα στην αντίθετη από την πλάκα επιφάνεια του οστού, οι δυνάμεις που προκαλούν κάμψη δεν απορροφώνται από το οστόν, αλλά από την πλάκα, η οποία δεν μπορεί να τις αντέξει, με αποτέλεσμα τη θραύση της (Εικ. 1-6). Αντίθετα, αν υπάρχει πλήρης επαφή του οστού, οι δυνάμεις κάμψης, που επι-



**Εικόνα 1-5.** Ισχυρή οστεοσύνθεση του κατάγματος κνήμης με ενδομυελικό ήλο. Πώρωση του κατάγματος.

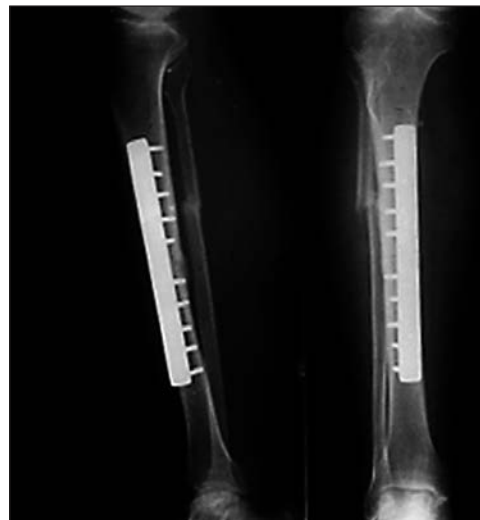
δρούν στην αντίθετη από την πλάκα επιφάνεια του οστού, προκαλούν στο κάταγμα συμπίεση και ευνοούν την πώρωσή του (Εικ. 1-7).

Τα μέταλλα, από τα οποία είναι κατασκευασμένες οι πλάκες, δεν έχουν τον ίδιο συντελεστή ελαστικότητας με το οστόν. Η διαφορά αυτή της ελαστικότητας είναι δυνατόν, μετά την οστεοσύνθεση του κατάγματος και την πώρωσή του, να εξα-



**Εικόνα 1-6.** Οστεοσύνθεση συντριπτικού κατάγματος κνήμης με μεταλλική πλάκα και βίδες. Το οστικό έλλειμμα στην έσω πλευρά της κνήμης οδήγησε στη θραύση της πλάκας.

σθενίσει το οστόν στα σημεία που τελειώνει η πλάκα. Αυτό έχει ως συνέπεια την πρόκληση κατάγματος στα σημεία αυτά μετά την πάροδο αρκετών ετών από την



**Εικόνα 1-7.** Πώρωση κατάγματος κνήμης μετά από οστεοσύνθεση, με μεταλλική πλάκα και βίδες, και πλήρη επαφή των οστικών άκρων.

πώρωση του κατάγματος. Αποτελεί, μάλιστα, έναν από τους λόγους για τους οποίους τα υλικά οστεοσύνθεσης είναι σωστό να αφαιρούνται μετά την ολοκλήρωση της πώρωσης του κατάγματος, ιδιαίτερα στα κάτω άκρα, τα οποία υφίστανται υψηλές φορτίσεις.

Και οι αρθρώσεις δέχονται δυνάμεις, τις οποίες μεταφέρουν ομοιομερώς προς το οστόν. Επιπλέον, υφίστανται δυνάμεις τριβής από τη συνεχή κίνησή τους. Οι λειτουργίες αυτές εκτελούνται κυρίως από τον αρθρικό χόνδρο. Ο αρθρικός χόνδρος είναι ιστός πιο εύκαμπτος από το οστόν και έχει τη δυνατότητα να συμπιέζεται και να αποσυμπιέζεται, ανάλογα με τις δυνάμεις που δέχεται. Αυτό το επιτυγχάνει χάρις στις υδροφιλικές του ιδιότητες, δηλαδή στη δυνατότητα να προσλαμβάνει και να διαχέει ύδωρ κατά την αποφόρτιση και τη φόρτιση. Με τον τρόπο αυτό δημιουργεί ένα υδραυλικό σύστημα. Επιπλέον, ο αρθρικός χόνδρος είναι εντελώς λείος, με αποτέλεσμα να επιτρέπει τις κινήσεις με χαμηλό συντελεστή τριβής. Στη μείωση της τριβής συμβάλλει και το αρθρικό υγρό.

Εάν όμως οι δυνάμεις φόρτισης υπερβούν τα όρια αντοχής του αρθρικού χόνδρου, τότε ο χόνδρος φθείρεται και καταστρέφεται. Οι δυνάμεις αυτές αυξάνονται, π.χ., όταν η φόρτιση στην άρθρωση δεν είναι ομοιομερής. Το μέρος της άρθρωσης που δέχεται μεγαλύτερη φόρτιση εμφανίζει κόπωση, εκφυλίζεται και καταστρέφεται, με συνέπεια την οστεοαρθρίτιδα.

Η ανομοιομερής φόρτιση εμφανίζεται συχνά στο γόνατο, όταν αυτό παρουσιάζει παραμόρφωση σε ραιβότητα ή βλαισότητα. Στις περιπτώσεις αυτές έχει αλλάξει ο άξονας φόρτισης και φορτίζεται περισσότερο το έσω μεσάρθριο διάστημα

(ραιβότητα) ή το αντίστοιχο έξω (βλαισότητα). Η υπερφόρτωση του αντίστοιχου διαστήματος οδηγεί σε φθορά του χόνδρου και οστεοαρθρίτιδα. Το ίδιο μπορεί να συμβεί και στο ισχίο, όταν, σε υπεξάρθρωμα από αναπτυξιακή δυσπλασία, τμήμα της κεφαλής βρίσκεται έξω από την κοτύλη και δεν φορτίζεται. Στην περίπτωση αυτή, όλο το βάρος δρα στο τμήμα της κεφαλής που είναι μέσα στην κοτύλη. Αποτέλεσμα, και πάλι, είναι η κόπωση του χόνδρου, η φθορά και η καταστροφή του. Μια πρώιμη επέμβαση διόρθωσης του άξονα θα ανακατανοίμει τα φορτία ομοιομερώς και θα προλάβει τη φθορά και καταστροφή του χόνδρου (οστεοτομίες βλαισότητας ή ραιβότητας στο γόνατο ή στο ισχίο) (Εικ. 1-8).

Όλοι αυτοί οι μηχανικοί παράγοντες, και πολλοί άλλοι πιο λεπτομερείς, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην κατασκευή τεχνητών αρθρώσεων. Πρέπει, δηλαδή, να είναι κατασκευασμένες έτσι και να τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο, ώστε να δέχονται ομοιομερώς τις δυνάμεις (Εικ. 1-9, 1-10). Ακόμη, να είναι κατασκευασμένες από υλικά που να επιτρέπουν τις κινήσεις με χαμηλό συντελεστή τριβής.

Η καλή μελέτη και γνώση των νόμων της Βιολογικής Μηχανικής στο μυοσκελετικό σύστημα συνέβαλε πολύ στην τελειοποίηση της κατασκευής τεχνητών μελών που τοποθετούνται σε ακρωτηριασμένα άκρα. Τα τεχνητά αυτά μέλη επιτυγχάνουν σωστή φόρτιση και καλή κίνηση στην άρθρωση.

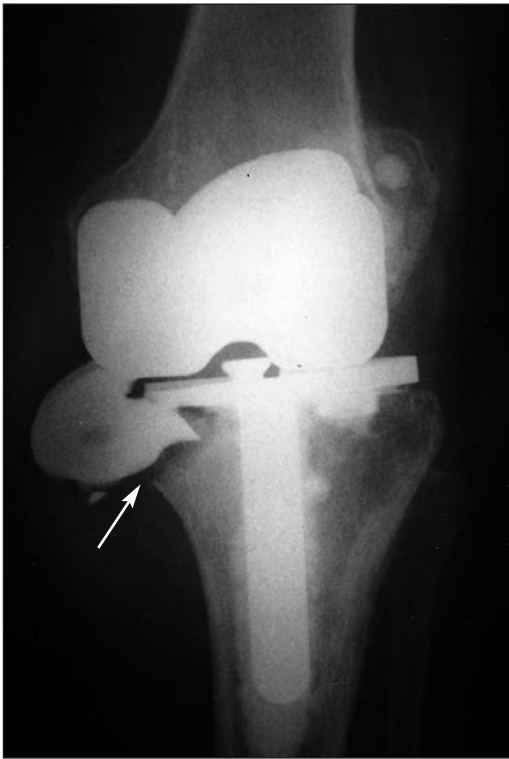
Οι νόμοι της Βιολογικής Μηχανικής έχουν πολλές άλλες εφαρμογές στο μυοσκελετικό σύστημα. Η έρευνα στον τομέα αυτό συνεχίζεται, με στόχο την ακόμη μεγαλύτερη εξέλιξη των ιατρικών μεθόδων διάγνωσης και θεραπείας.



**Εικόνα 1-8. α)** Παραμόρφωση του γόνατος σε ραιβότητα. Η υπερβολική φόρτιση του έσω μεσάρθριου διαστήματος οδηγεί στην ανάπτυξη οστεοαρθρίτιδας. **β)** Διορθωτική οστεοτομία της κνήμης για τη διόρθωση της ραιβότητας, την αποφόρτιση του έσω μεσάρθριου διαστήματος και την αναστολή εξέλιξης της οστεοαρθρίτιδας.



**Εικόνα 1-9.** Σωστή τοποθέτηση ολικής αρθροπλαστικής γόνατος.



**Εικόνα 1-10.** Ολική αρθροπλαστική γόνατος. Η έλλειψη οστού στον έσω κόνδυλο της κνήμης (βέλος) οδήγησε σε θραύση της μεταλλικής πρόθεσης, η οποία δεχόταν όλα τα φορτία χωρίς να έχει τη δυνατότητα να τα μεταφέρει στο οστόν.

## ΤΑ ΓΟΝΙΔΙΑ ΣΤΗΝ ΟΡΘΟΠΑΙΔΙΚΗ

Οι παθήσεις και οι κακώσεις του μυοσκελετικού συστήματος προσέλκυσαν από την αρχή το ενδιαφέρον των επιστημόνων που ασχολούνται με τις εφαρμογές των γονιδίων.

Κληρονομικές παθήσεις, όπως η ατελής οστεογένεση, ή συστηματικές παθήσεις και παθήσεις φθοράς, όπως η ρευματοειδής αρθρίτιδα, η οστεοαρθρίτιδα, η οστεοπόρωση, ερευνώνται σήμερα για την πιθανότητα θεραπευτικής αντιμετώπισής τους με γονίδια.

Οι κακώσεις αποτελούν και αυτές ιδιαί-

τερο αντικείμενο μελέτης. Πολλοί από τους ιστούς του μυοσκελετικού συστήματος, όπως ο αρθρικός χόνδρος, οι τένοντες και οι σύνδεσμοι, οι μηνίσκοι, οι μεσοσπονδύλιοι δίσκοι, δεν αναγεννώνται επαρκώς, ή επουλώνονται με τη δημιουργία ιστών δεύτερης ποιότητας. Οι τελευταίοι, όμως, δεν εκπληρώνουν πλήρως τους σκοπούς λειτουργίας του αρχικού ιστού. Επομένως, η δράση των γονιδίων, με τη σύνθεση των κατάλληλων πρωτεϊνών και την παραγωγή εξειδικευμένου ιστού, μπορεί να βρει σαφή εφαρμογή. Ακόμη, τα γονίδια είναι δυνατόν να ενισχύσουν και το μηχανισμό πώρωσης των καταγμάτων, όταν το ίδιο το οστόν αποτυγχάνει στην προσπάθεια αυτή.

Πολλές από τις δυνατότητες αυτές είναι σήμερα αντικείμενο συστηματικής έρευνας. Πάντως, η πρώτη εφαρμογή θεραπείας με γονίδια σε ρευματοειδή αρθρίτιδα στον άνθρωπο επιχειρήθηκε το 1996.

Η τεχνική εφαρμογής των γονιδίων στο μυοσκελετικό σύστημα, τουλάχιστον θεωρητικά, δεν είναι τόσο δύσκολη όσο σε άλλους ιστούς και όργανα. Οι ιστοί του συστήματος αυτού είναι πιο προσιτοί από τους ιστούς άλλων συστημάτων. Επιπλέον, δεν απαιτείται πάντοτε μακροχρόνια δράση των γονιδίων για την αποκατάσταση της βλάβης.

### Αυξητικοί παράγοντες

Οι αυξητικοί παράγοντες, όπως είναι γνωστό, συμβάλλουν καθοριστικά στην επούλωση των ιστών του μυοσκελετικού συστήματος. Παράγονται είτε από κύτταρα στην εστία της βλάβης, όπως οι ινοβλάστες, τα χονδροκύτταρα, τα ενδοθηλιακά κύτταρα, τα αρχέγονα μεσεγχεματικά κύτταρα, ή από φλεγμονώδη κύτταρα που διηθούν τη βλάβη, όπως τα μακροφάγα. Έχουν την ικανότητα να προά-



γουν τον πολλαπλασιασμό, τη μετανάστευση και τη διαφοροποίηση των κυττάρων, καθώς επίσης και την παραγωγή της μεσοκυττάριας ουσίας.

Αρκετοί αυξητικοί παράγοντες (π.χ. IGF, TGF, FGF, NGF, EGF, PDGF, BMP) έχουν διαχωριστεί και έχει αποδειχτεί ότι προάγουν την επούλωση και την παραγωγή αρθρικού χόνδρου, οστών, μυών, τενόντων και συνδέσμων, μηνίσκων ή μεσοσπονδύλιων δίσκων. Εξάλλου, είναι γνωστά και τα γονίδια που είναι υπεύθυνα για τη σύνθεση των παραγόντων αυτών.

### **Γονιδιακή θεραπεία**

Είναι η διαδικασία, κατά την οποία μια θεραπευτική πρωτεΐνη συντίθεται με την εισαγωγή, στα κύτταρα του πάσχοντος οργανισμού, γονιδίων που περιέχουν κωδικοποιημένη την πληροφορία για την παραγωγή της πρωτεΐνης αυτής.

Στις κληρονομικές παθήσεις τα μεταλλαγμένα γονίδια, που παράγουν την υπεύθυνη για την πάθηση παθολογική πρωτεΐνη, θα ήταν δυνατόν να αντικατασταθούν από γονίδια, τα οποία παράγουν τη φυσιολογική πρωτεΐνη. Αυτό επιχειρήθηκε στην ατελή οστεογένεση, μια κληρονομική πάθηση, η οποία χαρακτηρίζεται από ευθραυστότητα των οστών και οφείλεται στην παραγωγή παθολογικής πρωτεΐνης, συγκεκριμένα παθολογικού κολλαγόνου. Η εισαγωγή γονιδίων που παράγουν φυσιολογικό κολλαγόνο, στα κύτταρα του πάσχοντος, θα μπορούσε να ελέγξει τη νόσο. Πολύ περισσότερο εάν αδρανοποιηθούν τα υπεύθυνα γονίδια για την παραγωγή του παθολογικού κολλαγόνου.

Στη ρευματοειδή αρθρίτιδα είναι δυνατόν γονίδια, που είναι υπεύθυνα για τη σύνθεση των ανταγωνιστών των υποδοχέων της ιντερλευκίνης-1, να εισαχθούν στα κύτταρα του ασθενούς. Με τον τρόπο αυτό θα μειωθεί η ιντερλευκίνη-1, η οποία είναι ένας από τους παθογενετικούς φλεγμονώδεις παράγοντες αυτής της πάθησης.

Τέλος, σε κακώσεις του αρθρικού χόνδρου, των οστών, των τενόντων και συνδέσμων, των μηνίσκων ή των μεσοσπονδύλιων δίσκων, γονίδια υπεύθυνα για τη σύνθεση συγκεκριμένων αυξητικών παραγόντων θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην παραγωγή του επιθυμητού ιστού.

Η μεταφορά των γονιδίων στα κύτταρα μπορεί να γίνει, όπως είναι γνωστό, μέσω μεταφορέων. Οι μεταφορείς μπορεί να είναι ιοί, π.χ. ο αδενοϊός, ο ρετροϊός, ο ιός του απλού έρπητα, ο αδενοεξαρτώμενος ιός, ή άλλοι μεταφορείς, όπως τα λιποσώματα, το γυμνό DNA και τα βιοβαλιστικά.

Η εισαγωγή των μεταφορέων στο μυοσκελετικό σύστημα μπορεί να γίνει συστηματικά, με την αιματική κυκλοφορία, ή τοπικά.

Η συστηματική μέθοδος ενδείκνυται σε περιπτώσεις όπου η προσπέλαση της περιοχής που χρειάζεται θεραπεία δεν είναι εφικτή, ή σε κληρονομικές και γενικευμένες παθήσεις. Έχει, βέβαια, το μειονέκτημα ότι οι μεταφορείς των γονιδίων δεν προσβάλλουν μόνον τους ιστούς-στόχους. Γι' αυτό και απαιτούνται μεγάλες ποσότητες μεταφορέων, ώστε να επιτευχθεί η κατάλληλη συγκέντρωση. Πρέπει, μάλιστα, να ληφθεί υπόψη ότι πολλοί από τους ιστούς του μυοσκελετικού συστήματος έχουν μικρή ή και καθόλου αιμάτωση.

Η τοπική εφαρμογή γονιδίων γίνεται με δύο τρόπους. Με τον πρώτο (*in vivo*), οι μεταφορείς των γονιδίων ενίονται κατευθείαν στους ιστούς της πάσχουσας περιοχής. Με τον δεύτερο (*ex vivo*), κύτταρα από την πάσχουσα περιοχή αφαιρούνται, τροποποιούνται γενετικά εκτός οργανισμού, με

την εισαγωγή σε αυτά του ανάλογου γονιδίου, και επανατοποθετούνται στην εστία της βλάβης. Και οι δύο τρόποι εφαρμόζονται εύκολα στα οστά και στις αρθρώσεις.

Ο πρώτος τρόπος είναι ευκολότερος και φθηνότερος. Ο δεύτερος, όμως, είναι πιο ασφαλής, διότι η διαδικασία της γενετικής τροποποίησης γίνεται κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες. Με τον δεύτερο τρόπο υπάρχει η δυνατότητα να καλλιεργηθούν και να πολλαπλασιαστούν τα κύτταρα, σύμφωνα με την Ιστομηχανική (*tissue engineering*).

### **Ιστομηχανική (*tissue engineering*)**

Είναι η τεχνική με την οποία γίνεται προσπάθεια παραγωγής βιολογικών ιστών, π.χ. οστού, χόνδρου, συνδέσμων και τενόντων, μηνίσκων κ.ά. Για την εξέλιξη της τεχνικής αυτής συνεργάστηκαν πολλές επιστήμες, όπως η Βιολογία, η Βιοχημεία, η Μηχανική και η Χειρουργική.

Τα στοιχεία που απαιτούνται για την εφαρμογή των ιστομηχανικών μεθόδων είναι τα κύτταρα, το διάμεσο υλικό και οι αυξητικοί παράγοντες.

Τα κύτταρα, αρχέγονα αδιαφοροποιήτα ή διαφοροποιημένα, αφαιρούνται από τον οργανισμό και τοποθετούνται για καλλιέργεια στο διάμεσο υλικό.

Το διάμεσο υλικό χρησιμεύει για τη στέγαση, τη συγκράτηση και τη μεταφορά των κυττάρων και των αυξητικών παραγόντων. Μπορεί να δώσει το επιθυμητό σχήμα στον παραγόμενο ιστό και να αντισταθεί σε φορτία. Πρέπει, επίσης, να είναι βιοαπορροφήσιμο, πορώδες και να έχει συγκολλητικές ιδιότητες, ώστε να συγκρατεί τα κύτταρα και τους αυξητικούς παράγοντες. Μπορεί να είναι βιολογικό, όπως το κολλαγόνο και η ινική, ή συνθετικό, όπως οι γλυκόλες και τα κεραμικά.

Οι αυξητικοί παράγοντες προάγουν, όπως έχει ήδη αναφερθεί, τον πολλαπλασιασμό και τη διαφοροποίηση των κυττάρων. Γι' αυτό η Ιστομηχανική χρησιμοποιεί τους παράγοντες αυτούς στην τεχνική της. Η εφαρμογή μπορεί να γίνει με απευθείας τοποθέτηση των αυξητικών παραγόντων στο διάμεσο υλικό μαζί με τα κύτταρα. Αυτό, όμως, απαιτεί τη συνεχή και σε μεγάλες ποσότητες χορήγησή τους, διότι η ημιπερίοδος ζωής τους είναι βραχεία. Επομένως, εδώ, η γονιδιακή θεραπεία μπορεί να παίξει σημαντικό ρόλο. Τα καλλιεργούμενα κύτταρα εμβολιάζονται με γονίδια υπεύθυνα για τη σύνθεση του συγκεκριμένου αυξητικού παράγοντα. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η σταθερή παρουσία αυξητικών παραγόντων στο υπό παραγωγή βιολογικό υλικό. Συνεπώς, εδώ, η γονιδιακή θεραπεία αποτελεί τμήμα της ιστομηχανικής τεχνικής.

Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι η γονιδιακή θεραπεία θα φέρει επανάσταση στην αντιμετώπιση πολλών παθήσεων του μυοσκελετικού συστήματος. Πολλές, όμως, λεπτομέρειες μένει να διευκρινιστούν γύρω από τους λεπτούς μηχανισμούς της. Πρώτα από όλα προέχει η ασφάλεια της μεθόδου. Εάν για την αντιμετώπιση σοβαρών παθήσεων, όπως ο καρκίνος, είναι δυνατόν να γίνουν δεκτοί ορισμένοι κίνδυνοι, το ίδιο δεν ισχύει για τις παθήσεις και κακώσεις του μυοσκελετικού συστήματος. Γι' αυτό πρέπει να προηγηθεί έρευνα σε βάθος, πριν η γονιδιακή θεραπεία αποδοθεί στην ευρεία κλινική πράξη. Πάντως, οι εξελίξεις στον τομέα αυτό είναι ραγδαίες.

### **ΟΣΤΙΚΑ ΜΟΣΧΕΥΜΑΤΑ**

Η Ορθοπαιδική Χειρουργική είναι υποχρεωμένη να χρησιμοποιήσει οστικά μο-

σχεύματα σε πολλές περιπτώσεις. Οι πιο συχνές από αυτές είναι: 1. Οι ψευδαρθρώσεις καταγμάτων, 2. Η πλήρωση οστικών κύστεων, 3. Η πλήρωση οστικών κενών που δημιουργούνται μετά από τραύμα ή αφαίρεση οστού με όγκο ή λοίμωξη, 4. Οι επανεγχειρήσεις ολικών αρθροπλαστικών, 5. Οι σπονδυλοδεσίες.

Η κλασική μέθοδος για την αντιμετώπιση αυτών των περιπτώσεων ήταν και είναι η χρήση των αυτομοσχευμάτων, η λήψη, δηλαδή, οστικών μοσχευμάτων από τον ίδιο τον ασθενή, συνήθως από το λαγόνιο οστού, και η τοποθέτησή τους στην πάσχουσα περιοχή. Τα αυτομοσχεύματα, όμως, δεν είναι πολλές φορές αρκετά. Εξάλλου, η μεγάλη αύξηση των ορθοπαιδικών χειρουργικών επεμβάσεων αύξησε και τις ανάγκες σε μοσχεύματα. Επιπλέον, δημιουργούνται προβλήματα στη δότρια περιοχή, όπως πόνος και αιμάτωμα, με αποτέλεσμα την ταλαιπωρία του ασθενούς και την παράταση της νοσηλείας του. Γι' αυτό και τελευταία υπάρχει μεγάλη ανάγκη για την ανεύρεση και άλλων πηγών οστικών μοσχευμάτων.

Τα μοσχεύματα, ανάλογα με τον τρόπο δράσης τους, μπορεί να είναι:

1. **Οστεογενετικά.** Μοσχεύματα, δηλαδή, που περιέχουν ζωντανά κύτταρα, τα οποία είναι δυνατόν να δημιουργήσουν οστόν στην περιοχή που θα τοποθετηθούν.
2. **Οστεοεπαγωγικά.** Περιέχουν αυξητικούς παράγοντες, συχνά οστική μορφογενετική πρωτεΐνη (BMP), οι οποίοι προσελκύουν κύτταρα από τους γύρω ιστούς της λήπτριας περιοχής. Τα κύτταρα αυτά, με τη βοήθεια των αυξητικών παραγόντων, πολλαπλασιάζονται και διαφοροποιούνται σε οστεοβλάστες που παράγουν οστόν.

3. **Οστεοκαθοδηγητικά.** Είναι μοσχεύματα που δεν περιέχουν ζωντανά κύτταρα ή αυξητικούς παράγοντες. Δρουν, δηλαδή, ως «σκαλωστές», οι οποίες διευκολύνουν την είσοδο αγγείων, από τους γύρω ιστούς, μέσω των οποίων μεταφέρονται κύτταρα για τη δημιουργία οστού.

### **Είδη μοσχευμάτων**

**1. Αυτομοσχεύματα.** Είναι μοσχεύματα που, όπως προαναφέρθηκε, λαμβάνονται από τον ίδιο τον οργανισμό του ασθενούς. Είναι τα πιο ιδανικά μοσχεύματα. Έχουν οστεογενετικές, οστεοεπαγωγικές και οστεοκαθοδηγητικές ιδιότητες.

*Είδη αυτομοσχευμάτων:* α) Τα *σπογγώδη*, τα οποία επανααγγειώνονται και ενσωματώνονται πιο εύκολα από όλα. Λαμβάνονται, συνήθως, από το λαγόνιο οστού και, σπανιότερα, από το κάτω άκρο του μηριαίου οστού, το άνω άκρο της κνήμης και το κάτω άκρο της κερκίδας. β) Τα *φλοιώδη*. γ) Τα *αγγειούμενα οστικά μοσχεύματα*, που φέρουν και το αγγείο τους, το οποίο αναστομώνεται με αγγείο της λήπτριας περιοχής. Ως τέτοιο μόσχευμα χρησιμοποιείται συχνά το αγγειούμενο μόσχευμα περόνης. δ) Ο *αυτόλογος μυελός των οστών*. Περιέχει πρόδρομα κύτταρα οστεοβλαστικού τύπου, τα οποία διαφοροποιούνται σε οστεοβλάστες με τη βοήθεια αυξητικών παραγόντων. Αφαιρείται με σύριγγα από άλλη περιοχή του σώματος (συνήθως από το λαγόνιο οστού) και ενίεται στην πάσχουσα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνος του ή σε συνδυασμό με απομεταλλωμένη οστική ουσία ή συνθετικά οστικά υποκατάστατα. ε) Οι *αυτόλογοι αυξητικοί παράγοντες*, οι οποίοι προέρχονται από τα αιμοπετάλια του ασθενούς μετά από επεξεργασία (συμπύκνωση) του περιφερικού αίματος.

**2. Αλλομοσχεύματα.** Λαμβάνονται από πτώματα και μετά από την κατάλληλη επεξεργασία (κατάψυξη, αποξήρανση, αποστείρωση με ακτινοβολία) χρησιμοποιούνται συχνά στην Ορθοπαιδική Χειρουργική. Δεν περιέχουν κύτταρα και δεν χρησιμοποιούνται νωπά, διότι υπάρχει ο κίνδυνος ανοσολογικών αντιδράσεων και μετάδοσης ασθενειών στον λήπτη. Έχουν οστεοκαθοδηγητικές και λιγότερο οστεοεπαγωγικές ιδιότητες.

Είδη αλλομοσχευμάτων: α) τα σπογγώδη, β) τα φλοιώδη, γ) τα οστεοχόνδρινα, δ) τα μεγάλα οστικά τμήματα ή ολόκληρα οστά, ε) η απομεταλλωμένη οστική ουσία, η οποία έχει οστεοεπαγωγικές ιδιότητες μέσω των οστικών μορφογενετικών πρωτεϊνών (BMP) που περιέχει. Χρησιμοποιείται συχνά σε συνδυασμό με αυτόλογο μυελό των οστών.

**3. Ξενομοσχεύματα.** Προέρχονται από ζώα και έχουν περιορισμένη κλινική εφαρμογή. Είναι απαλλαγμένα από πρωτεΐνες και λίπος. Περιέχουν, δηλαδή, μόνο το ανόργανο τμήμα του οστού. Είναι οστεοκαθοδηγητικά.

**4. Μίγματα υδροξυαπατίτου.** Τα μίγματα αυτά (φωσφορικού ασβεστίου) παρασκευάζονται με συνθετικό τρόπο και προσομοιάζουν με το ανόργανο τμήμα του οστού. Είναι ουσίες οστεοκαθοδηγητικές και χρησιμοποιούνται για την πλήρωση οστικών κύστεων ή κοιλοτήτων.

Κάθε είδος μοσχεύματος ή υποκατάστατό του έχει τις ενδείξεις του, μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί και σε συνδυασμό με άλλο.

Οι έρευνες για την παρασκευή μοσχευμάτων συνεχίζονται. Προς το παρόν, φαίνεται ότι οδηγούνται προς τις οστικές

μορφογενετικές πρωτεΐνες (BMP) ή άλλους αυξητικούς παράγοντες και στη χρήση των τεχνικών της Ιστομηχανικής με σκοπό τη δημιουργία του ιδανικού οστικού μοσχεύματος.

Ιδιαίτερα οι οστικές μορφογενετικές πρωτεΐνες, και κυρίως η BMP-2 και BMP-7 που δεν είναι παρά αυξητικοί παράγοντες της οικογένειας των TGF- $\beta$ , εφαρμόζονται ευρέως στην κλινική πράξη ως οστεοεπαγωγικοί παράγοντες.

## ΥΛΙΚΑ ΕΜΦΥΤΕΥΜΑΤΩΝ

Η Ορθοπαιδική είναι η κατεξοχήν χειρουργική επιστήμη που χρησιμοποιεί σε μεγάλο βαθμό ξένα υλικά, όπως είναι οι τεχνητές αρθρώσεις και τα υλικά οστεοσύνθεσης.

Για την κατασκευή των ξένων αυτών υλικών, αλλά και για τη συγκράτησή τους από το οστό, χρησιμοποιούνται κυρίως: 1. Μέταλλα, 2. Πολυαιθυλένιο, 3. Κεραμικά υλικά, 4. Ακρυλικό τσιμέντο, 5. Υδροξυαπατίτης. Όλα αυτά, όταν τοποθετούνται στον οργανισμό, δημιουργούν κάποια αντίδραση στο οστό και στους ιστούς που το περιβάλλουν. Ανάλογα με το είδος της αντίδρασης τα υλικά διακρίνονται σε: α) Βιοανεκτά. Είναι υλικά απλώς ανεκτά από τον οργανισμό. Δημιουργούν έντονη αντίδραση με τους γύρω ιστούς, γι' αυτό και ο οργανισμός τα περικυκλώνει και τα απομονώνει με μεμβράνη από ινώδη συνδετικό ιστό. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν ο ανοξείδωτος χάλυβας, το πολυαιθυλένιο και το ακρυλικό τσιμέντο. β) Βιοσυδέτερα. Είναι υλικά πιο φιλικά προς τους ιστούς από ότι τα βιοανεκτά. Δεν δημιουργούν ιδιαίτερη αντίδραση και έρχονται σε άμεση επαφή με τους ιστούς, χωρίς να αναπτύσσει-

ται μεταξύ τους μεμβράνη ινώδους συνδετικού ιστού. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα κράματα χρωμίου-κοβαλτίου, τα κράματα τιτανίου, καθώς και τα κεραμικά υλικά. γ) Βιοενεργά. Τα υλικά αυτά έρχονται σε άμεση χημική σύνδεση με το οστόν. Κυριότερος εκπρόσωπός τους είναι ο υδροξυαπατίτης.

**1. Μέταλλα.** Το ιδανικό μέταλλο θα έπρεπε να είναι ανοξειδωτο, βιοουδέτερο, ισχυρό, με καλό συντελεστή ελαστικότητας, εύκολα επεξεργάσιμο, μη αλλεργιογόνο. Κανένα, όμως, από τα μέταλλα που χρησιμοποιούνται στην Ορθοπαιδική δεν πληροί τελείως όλες ανεξαιρέτως τις προϋποθέσεις αυτές.

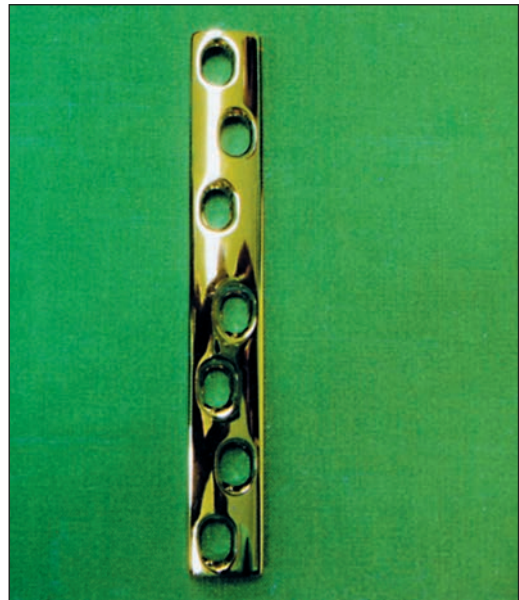
Όλα τα μέταλλα, οξειδώνονται σε μικρό αλλά ποικίλο βαθμό, ανάλογα με το είδος τους. Η οξείδωση αυτή μπορεί, σπάνια, να οδηγήσει σε φθορά του υλικού, συχνότερα όμως προκαλεί απελευθέρωση ιόντων, τα οποία συγκεντρώνονται σε παρακείμενους αλλά και απομακρυσμένους ιστούς ή όργανα. Οι φόβοι για τη δημιουργία ανοσολογικών ή και ογκογενετικών διεργασιών στον οργανισμό, από τη συγκέντρωση των ιόντων αυτών, δεν έχουν επιβεβαιωθεί, παρά την επίμονη έρευνα και τη συνεχή εμφύτευση μεταλλικών υλικών στον άνθρωπο, σε μεγάλο αριθμό και για πολλές δεκαετίες. Τα περισσότερα από τα ιόντα αυτά υπάρχουν φυσιολογικά στον οργανισμό του ανθρώπου και συμμετέχουν σε πολλούς μηχανισμούς μεταβολισμού.

Τα μέταλλα που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι: α) Ο ανοξειδωτος χάλυβας (ατσάλι), β) Τα κράματα χρωμίου-κοβαλτίου, γ) Τα κράματα τιτανίου. Σημασία, βέβαια, δεν έχει μόνον η χημική σύνθεση του μετάλλου, αλλά και ο τρόπος κατεργασίας του.

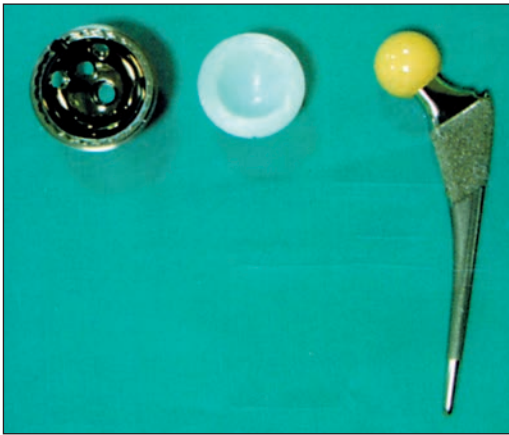
α) *Ανοξειδωτος χάλυβας.* Είναι κράμα μετάλλου που έχει ως βάση το σίδηρο. Είναι από τα πρώτα μέταλλα που χρησιμοποιήθηκαν στην Ορθοπαιδική. Είναι ισχυρό και εύκολα επεξεργάσιμο, όμως οξειδώνεται περισσότερο από τα άλλα μέταλλα. Είναι βιοανεκτό και όχι βιοουδέτερο. Να σημειωθεί ότι έχει και το χαμηλότερο κόστος. Από ανοξειδωτο χάλυβα κατασκευάζονται κυρίως τα υλικά οστεοσύνθεσης (Εικ. 1-11).

β) *Κράματα χρωμίου-κοβαλτίου.* Είναι πιο ισχυρά, αλλά πιο δύσκολα επεξεργάσιμα από τον ανοξειδωτο χάλυβα. Οξειδώνονται λιγότερο από αυτόν και είναι βιοουδέτερα. Από τα κράματα αυτά κατασκευάζονται πολλά τμήματα των τεχνητών αρθρώσεων (Εικ. 1-12).

γ) *Κράματα τιτανίου.* Το τιτάνιο είναι το πιο ευγενές από τα μέταλλα που χρησιμοποιούνται σήμερα. Οξειδώνεται λιγότερο από όλα τα άλλα, είναι βιοουδέτερο και πιο φιλικό προς το οστόν. Επίσης, είναι



**Εικόνα 1-11.** Μεταλλική πλάκα από ανοξειδωτο χάλυβα.



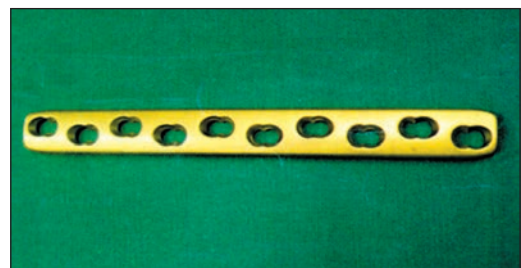
**Εικόνα 1-12.** Τεχνητή άρθρωση ισχίου. Το εξωτερικό τμήμα της κοτύλης (αριστερά) και ο μηριαίος στείλεός (δεξιά) είναι κατασκευασμένα από κράμα χρωμίου-κοβαλτίου, ενώ το εσωτερικό τμήμα της κοτύλης (στο μέσον) από πολυαιθυλένιο, και η κεφαλή του μηριαίου οστού από κεραμικό υλικό.

εύκολα επεξεργάσιμο. Δεν έχει καλό συντελεστή τριβής, γι' αυτό και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή αρθρούμενων επιφανειών. Αντίθετα, χρησιμοποιείται για την κατασκευή πολλών άλλων τμημάτων των τεχνητών αρθρώσεων, καθώς και των υλικών οστεοσύνθεσης (Εικ. 1-13). Τέλος, έχει υψηλότερο κόστος από τα υπόλοιπα μέταλλα.

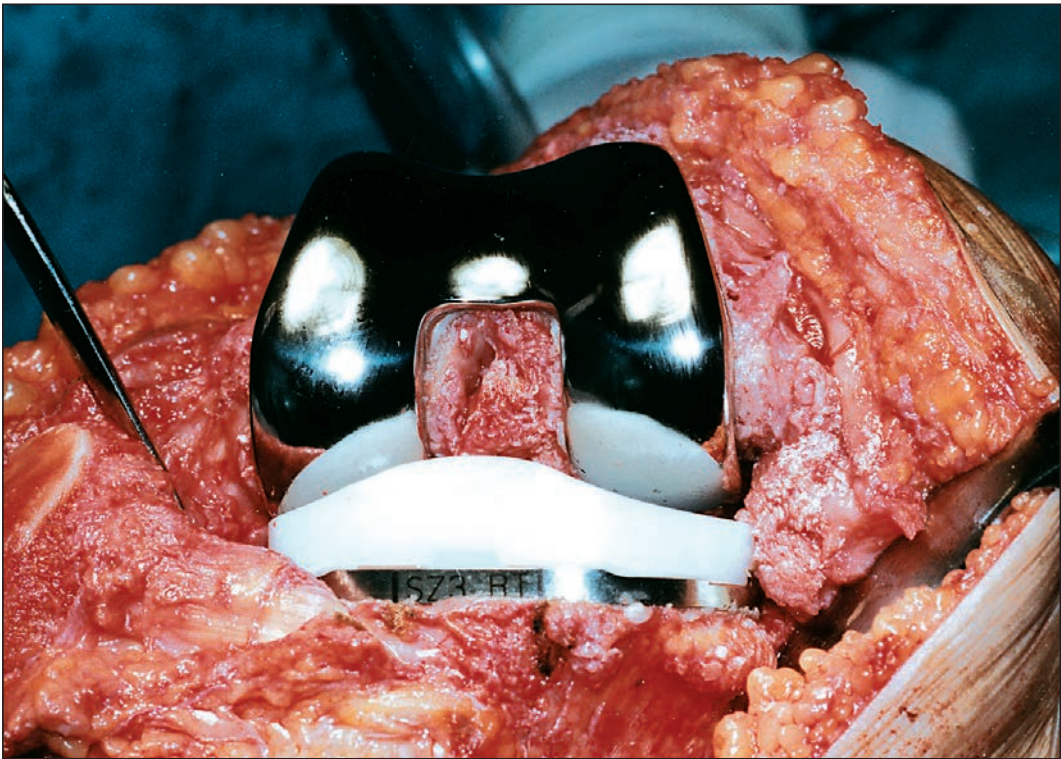
**2. Πολυαιθυλένιο.** Το πολυαιθυλένιο είναι συνθετικό υλικό που παράγεται από τον πολυμερισμό του αιθυλενίου. Με τη μορφή του εξαιρετικά υψηλού μοριακού του βάρους χρησιμοποιείται επί πολλές δεκαετίες για την κατασκευή τής μιας από τις αρθρούμενες επιφάνειες στις τεχνητές αρθρώσεις: συγκεκριμένα, της κοτύλης στην άρθρωση του ισχίου, και του κνημιαίου πλατώ και της επιγονατίδας στην άρθρωση του γόνατος (Εικ. 1-12, 1-14). Το υλικό αυτό έχει επιλεγεί, διότι είναι ισχυρό, βιοανεκτό και εύκολα επεξεργάσιμο. Με

την πάροδο, όμως, του χρόνου φθείρεται, με βραδύ βέβαια ρυθμό, λόγω της τριβής του με την αντίθετη αρθρική επιφάνεια, που συνήθως είναι μεταλλική ή κεραμική. Από την τριβή αυτή δημιουργούνται ρινίσματα, τα οποία ενεργοποιούν την αντίδραση «ξένου σώματος» συγκεντρώνοντας μακροφάγα κύτταρα, που προσπαθούν να τα απομονώσουν. Τα μακροφάγα, όταν έρχονται σε επαφή με το οστόν, δρουν ως οστεοκλάστες. Το τελικό αποτέλεσμα είναι οστική καταστροφή και, συνεπώς, χαλάρωση της τεχνητής άρθρωσης.

Προσπάθειες γίνονται για τη βελτίωση του πολυαιθυλενίου. Τελευταία, οι προσπάθειες αυτές επικεντρώθηκαν στον τρόπο αποστείρωσής του. Αποδείχτηκε ότι η μέχρι τώρα αποστείρωσή του με γ-ακτινοβολία, σε περιβάλλον που περιέχει αέρα, ευνοεί τη διάσπαση των μορίων του πολυαιθυλενίου και τη διασταυρούμενη επανένωσή τους, γεγονός που καθιστά το πολυαιθυλένιο πιο ισχυρό. Ευνοεί, όμως, και την οξειδωσή του. Γι' αυτό, σήμερα, συνιστάται η αποστείρωσή του με γ-ακτινοβολία σε κενό αέρος, που ευνοεί τη διασταυρούμενη επανένωση των μορίων πολυαιθυλενίου, ενώ παρεμποδίζει την οξειδωση. Εφαρμόζεται, επίσης, αποστείρωση με άλλες μεθόδους, όπως αυτή με οξείδιο του αιθυλενίου.



**Εικόνα 1-13.** Μεταλλική πλάκα από τιτάνιο.



**Εικ. 1-14.** Ολική αρθροπλαστική γόνατος. Η μηριαία πρόθεση είναι κατασκευασμένη από κράμα ζirkονίου και αρθρώνεται με το ένθετο από πολυαιθυλένιο της κνημιαίας πρόθεσης. Ο συντελεστής τριβής των δύο αυτών στοιχείων είναι πολύ καλός.

**3. Κεραμικά υλικά.** Τα κεραμικά υλικά, με τη μορφή κυρίως του οξειδίου του αλουμινίου, χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της μηριαίας κεφαλής στις τεχνητές αρθρώσεις του ισχίου και λιγότερο συχνά της κοτύλης. Είναι σκληρά, βιοουδέτερα και έχουν τον καλύτερο συντελεστή τριβής από όλα τα υλικά. Δημιουργούν αρθρικές επιφάνειες εξαιρετικά λείες και δεν οξειδώνονται. Αποτέλεσμα αυτών είναι η μικρότερη φθορά τους και η μικρότερη παραγωγή ρινισμάτων. Είναι, όμως, περισσότερο εύθραυστα, και γι' αυτό δεν χρησιμοποιούνται στην κατασκευή άλλων τμημάτων των τεχνητών αρθρώσεων ή άλλων υλικών όπου εφαρμόζονται ισχυρές δυνάμεις.

Τελευταία, κατασκευάζονται τεχνητές αρθρώσεις που έχουν ως βάση τα κράματα ζirkονίου. Το ζirkόνιο είναι μέταλλο που ανήκει στην ίδια οικογένεια με το τιτάνιο. Όταν στο κράμα αυτό εφαρμοστούν υψηλές θερμοκρασίες (πάνω από 500°C) μαζί με οξυγόνο, η επιφάνειά του μετατρέπεται σε κεραμική, έχοντας τον καλύτερο συντελεστή τριβής. Από το υλικό αυτό κατασκευάζεται η μηριαία πρόθεση στις ολικές αρθροπλαστικές γόνατος και η κεφαλή του μηριαίου οστού στις ολικές αρθροπλαστικές ισχίου (Εικ. 1-14).

**4. Ακρυλικό τσιμέντο.** Το ακρυλικό τσιμέντο χρησιμοποιείται, κυρίως, για τη συ-



**Εικόνα 1-15.** Οι δύο μορφές του ακρυλικού τσιμέντου (υγρό και σκόνη) πριν από την ανάμιξη.

γκράτηση των τεχνητών αρθρώσεων στο οστόν. Είναι οργανική χημική ένωση (πολυ-μεθυλ-μεθακρυλικό) και φέρεται σε δύο μορφές, μία μονομερή (υγρό) και μία πολυμερή (σκόνη) (Εικ. 1-15). Όταν οι δύο αυτές μορφές αναμιγνύονται, λίγο πριν από την τοποθέτησή τους στον οργανισμό, δημιουργούν έναν πολτό, ο οποίος στερεοποιείται μέσω εξωθερμικής αντίδρασης. Η όλη διαδικασία δεν διαρκεί περισσότερο από 10' περίπου (Εικ. 1-16).

Το τσιμέντο δεν είναι κόλλα, δεν έχει δηλαδή συγκολλητικές ιδιότητες, ούτε συνδέεται χημικά με το οστόν ή τα ξένα υλικά. Είναι βιοανεκτό υλικό, που συνδέει μη-



**Εικόνα 1-16.** Οι δύο μορφές του ακρυλικού τσιμέντου μετά την ανάμιξη.

χανικά την τεχνητή άρθρωση με το οστόν, συμπληρώνει το διάστημα μεταξύ τους και μεταφέρει τις δυνάμεις από το ένα στο άλλο.

Μακροχρόνια, το τσιμέντο υφίσταται κόπωση, με αποτέλεσμα το θρυμματισμό του και τη δημιουργία ρινισμάτων. Αυτά, σε συνδυασμό με τα ρινίσματα πολυαιθυλένιου, δημιουργούν την αντίδραση «ξένου σώματος», προάγουν την καταστροφή του οστού που περιβάλλει την τεχνητή άρθρωση και, τελικά, οδηγούν στη χαλάρωσή της.

Έγιναν προσπάθειες βελτίωσης των ιδιοτήτων του τσιμέντου, κυρίως όσον αφορά τους τρόπους παρασκευής και τοποθέτησής του. Έτσι, επιμηκύνθηκε σημαντικά ο χρόνος διατήρησης της ακεραιότητάς του.

Σήμερα, πάντως, χρησιμοποιούνται ό-



**Εικόνα 1-17.** Πλήρωση με υδροξυαπατίτη οστικού κενού που δημιουργήθηκε μετά από την ανάταξη και την οστεοσύνθεση συμπιεστικού κατάγματος στον έξω κόνδυλο της κνήμης.



λο και πιο συχνά τεχνητές αρθρώσεις, οι οποίες συγκρατούνται από το ίδιο το οστό χωρίς την παρεμβολή τσιμέντου.

**5. Υδροξυαπατίτης.** Αποτελεί μορφή φωσφορικού ασβεστίου, το οποίο είναι το κύριο συστατικό του ανόργανου τμήματος του οστού. Είναι βιοενεργό στοιχείο, με οστεοκαθοδηγητικές ιδιότητες, που προσελκύει το οστόν και συνδέεται στενά μαζί του.

Παρασκευάζεται συνθετικά και χρησιμοποιείται για την επικάλυψη των μεταλλικών τμημάτων των τεχνητών αρθρώσεων, ώστε να υπάρχει καλύτερη στερέωση και σύνδεση με το οστόν, όταν δεν χρησιμοποιείται τσιμέντο.

Με τη μορφή του τριφωσφορικού ασβεστίου χρησιμοποιείται και ως οστικό μόσχευμα, για την πλήρωση οστικών κύστεων ή κοιλοτήτων (Εικ. 1-17).

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bauer TW, Muschler GF: Bone graft materials. *Clin Orthop* 2000;371:10-27.
- Chen Y: Orthopaedic applications of gene therapy. *J Orthop Sci* 2001;6:199-207.
- Fernandez JC, Martel-Pelletier J, Pelletier J-P: Gene therapy for osteoarthritis. New perspectives for the twenty-first century. *Clin Orthop* 2000; 379S: 262-272.
- Finkemeier CG: Bone-grafting and bone-graft substitutes. *Current Concepts Review. J Bone Joint Surg* 2002;84-A:454-464.
- Ghivizzani SC, Oligino TJ, Glorioso JC, Robbins PD, Evans CH: Gene therapy approaches for treating rheumatoid arthritis. *Clin Orthop* 2000;379S:288-299.
- Goel VK, Khadha A, Vadapalli S: Musculoskeletal biomechanics. In Voccaro AR (ed) *Orthopaedic Knowledge Update No 8. American Academy of Orthopaedic Surgeons*; 2005, p. 39-56.
- Greenwald AS, Boden SD, Goldberg VM, Khan Y, Laurencin CT, Rosier RN: Bone-graft substitutes: Facts, fictions and application. *J Bone Joint Surg* 2001;83-A (Suppl):98-103.
- Hallab N, Merritt K, Jacobs JJ: Metal sensitivity in patients with orthopaedic implants. *Current Concepts Review. J Bone Joint Surg* 2001;83-A:428-436.
- Hamadouche M, Sedel: Ceramics in orthopaedics. *Review article. J Bone Joint Surg* 2000;82-B:1095-1099.
- Harris WH, Muratoglu OK: A review of current cross-linked polyethylenes used in total joint arthroplasty. *Clin Orthop* 2005;430:46-52.
- Keating JF, McQueen MM: Substitutes for autologous bone graft in orthopaedic trauma. *Review article. J Bone Joint Surg* 2001;83-B:3-8.
- Lian JB, Niyibizi C: Gene therapy for genetic diseases of bone. *Clin Orthop* 2000;379S:159-163.
- Malizos KN, Zalavras CG, Soucacos PN, Beris AE, Urbaniak JR: Free vascularized fibular grafts for reconstruction of skeletal defects. *J Am Acad Orthop Surg* 2004; 12:360-369.
- Martinek V, Weblucker P, Imhof AB: Current concepts of gene therapy and cartilage repair. *Review article. J Bone Joint Surg* 2003;85-B:782-788.
- Mont MA, Ragland PS, Biggins B, Friedlaender G, Patel T, Cook S, Etienne G, Shimmin A, Kildey R, Rueger DC, Einhorn TA: Use of Bone Morphogenetic Proteins for musculoskeletal applications. An overview. *J Bone Joint Surg* 2004;86-A (Suppl 2):41-55.
- Muschler GF, Nakamoto C, Griffith LG: Engineering principles of clinical cell based tissue engineering. *Current concepts review. J Bone Joint Surg* 2004;86-A:1541-1558.
- Panjabi MM, White AA, III: *Biomechanics of the Musculoskeletal System*. New York Churchill-Livingstone; 2001.
- Πουρνάρας Ι. Η χρήση του φωσφορικού ασβεστίου (Norian SRS) στην αντιμετώπιση των καταγμάτων. *Ορθοπαιδική* 1999,12:67-76.
- Πουρνάρας Ι: Αποτυχία βιο-υλικών. *Ελλην Χειρ Ορθοπ Τραυμ* 1995,46:238-246.
- Puzas JE, O'Keefe RJ, Lieberman JR: The orthopaedic genome: what does the future hold and are we ready? *J Bone Joint Surg* 2002;84-A:133-141.
- Tharani R, Dorey FJ, Schmalzried TP: The risk of cancer following total hip or knee arthroplasty. *J Bone Joint Surg* 2001;83-A:774-780.

Σελ. 18 Λευκή  
να σβήσει στον τσίγκο