

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Α'

Η ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΗΣ ΑΡΘΡΩΣΗΣ ΤΟΥ ΓΟΝΑΤΟΣ

Η άρθρωση του γόνατος

Η άρθρωση του γόνατος είναι η μεγαλύτερη και η πιο σύνθετη άρθρωση στο ανθρώπινο σώμα. Η δημιουργία της άρθρωσης αρχίζει να γίνεται αντιληπτή γύρω στην 4^η εβδομάδα της ενδομητρίου ανάπτυξης όταν το έμβryo έχει μήκος μόλις 5 mm, ενώ η μορφή της καθορίζεται πλήρως γύρω στην 6^η εβδομάδα.

Η άρθρωση του γόνατος αποτελείται από δύο αρθρώσεις: από την κνημομηριαία και από την επιγονατιδομηριαία άρθρωση. Οι δύο αυτές αρθρώσεις έχουν κοινό αρθρικό θύλακα. Η περόνη δεν συμμετέχει στην άρθρωση. Ωστόσο ο Magee (1997) αναφέρει ότι περίπου στο 10% του πληθυσμού, η επιγονατιδομηριαία, η κνημομηριαία και η κνημοπερονιαία άρθρωση έχουν κοινό αρθρικό θύλακα.

Οι κύριες κινήσεις του γόνατος είναι η κάμψη και η έκταση. Οι στροφές και οι κινήσεις προσαγωγής - απαγωγής της κνήμης, συμβαίνουν σε πολύ μικρότερο βαθμό. Η άρθρωση του γόνατος είναι δυνατή, με μεγάλο εύρος κίνησης και κατασκευασμένη κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να ανταποκρίνεται με επιτυχία στις μεγάλες καθημερινές επιβαρύνσεις. Αυτή η ικανότητα της άρθρωσης οφείλεται:

- στην ανατομική δομή της, όπου εμφανίζει δύο μεγάλες αρθρώσεις με ανθεκτικούς χόνδρους, ανθεκτικούς συνδέσμους και ισχυρό αρθρικό θύλακα,
- στο σύνθετο τρόπο λειτουργίας της, όπου δεν είναι αμιγώς γωνιώδης άρθρωση αφού επιτρέπει κινήσεις στροφής και προσαγωγής - απαγωγής. Επίσης ο άξονας στροφής (στιγμαίο κέντρο) δεν είναι σταθερό σημείο, αλλά μεταβάλλεται κατά την κίνηση κάμψης - έκτασης και

- στην ύπαρξη μεγάλων πολυαρθρικών μυών που συνδέουν το γόνατο με τη λεκάνη και την ποδοκνημική άρθρωση, δημιουργώντας έτσι πολύπλοκες κινητικές ενότητες.

Η άρθρωση του γόνατος από μηχανικής απόψεως, καλείται να εναρμονίσει δύο βασικές λειτουργικές ανάγκες:

- την ανάγκη για μεγάλη σταθερότητα κατά την έκταση, καθώς το γόνατο υφίσταται μεγάλα φορτία που οφείλονται στο βάρος του σώματος και στο μήκος των μοχλοβραχιόνων που εμπλέκονται στην κίνηση και
- την ανάγκη για μεγάλη κινητικότητα κατά την κίνηση της κάμψης. Η κινητικότητα είναι απαραίτητη για την επίτευξη των καθημερινών λειτουργικών δραστηριοτήτων (βάδισμα, τρέξιμο, κάθισμα κ.λ.π.).

Καθώς το γόνατο βρίσκεται μεταξύ του ισχίου και του άκρου ποδός, συνεργάζεται με τις δύο αυτές αρθρώσεις σε κλειστή βιοκινητική ενότητα κατά το κάθισμα, κατά την όρθια στάση και κατά τη βάδιση. Επίσης το γόνατο εργάζεται και σε ανοικτή βιοκινητική ενότητα προσδίδοντας μεγαλύτερη κινητικότητα στο πόδι.

Το γεγονός ότι οι αρθρικές επιφάνειες του γόνατος δεν συντάσσονται με πλήρη αρμονία μεταξύ τους λόγω του σχήματός τους, προσδίδει σ' αυτό αυξημένη κινητικότητα εις βάρος όμως της σταθερότητας. Η σταθερότητα εξασφαλίζεται από το θύλακο, από τους συνδέσμους, από τους μηνίσκους και από τις μυοτενόντιες δομές (Εικ. 1). Κατά την κάμψη το γόνατο εμφανίζει μεγαλύτερη αστάθεια, οπότε οι σύνδεσμοι και οι μηνίσκοι γίνονται πιο επιρρεπείς στους τραυματισμούς. Κατά την έκταση, ο τραυματισμός του γόνατος έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία καταγμάτων των αρθρικών επιφανειών και τη ρήξη των συνδέσμων.

Βασικά στοιχεία βιομηχανικής

Τα βασικά στοιχεία της βιομηχανικής είναι η **κινηματική** και η **κινητική**. Η κινηματική είναι ο κλάδος της βιομηχανικής που ασχολείται με την κίνηση του σώματος χωρίς να αναφέρεται σε δυνάμεις. Η δύναμη για την κινηματική είναι απλώς μία έλξη ή μία προώθηση. Η κινητική είναι ο κλάδος της βιομηχανικής που ασχολείται με την κίνηση ενός σώματος η οποία συντελείται υπό την επίδραση συγκεκριμένων δυνάμεων. Για παράδειγμα, η βιομηχανική ανάλυση του γόνατος κατά τη βάδιση, συμπεριλαμβάνει:

- 1) την κινηματική του γόνατος, δηλαδή τις κινήσεις της άρθρωσης στα τρία κύρια επίπεδα κίνησης και

2) την κινητική του γόνατος, δηλαδή τη μέτρηση των δυνάμεων που επιδρούν στο γόνατο (η δύναμη του επιγονατιδικού τένοντα, η δύναμη αντίδρασης του εδάφους και η δύναμη αντίδρασης της άρθρωσης).

Ο συνδυασμός της κινηματικής και της κινητικής δίνει μία ξεκάθαρη εικόνα της κίνησης μιας άρθρωσης, καθώς και των δυνάμεων που επιδρούν στην άρθρωση αυτή.



Εικ. 1. Η διάρθρωση του γόνατος (προσθία όψη). (Grant BJC: *Grant's Atlas of Anatomy*. Baltimore, The Williams and Wilkins Co., 1972): 1. μηριαία τροχιλία, 2. έξω χείλος μηριαίας τροχιλίας, 3. έξω μηριαίος κόνδυνος, 4. τένων του ιγνακού μυός, 5. έξω μηνίσκος, 6. στεφανιαίος σύνδεσμος, 7. έξω πλάγιος σύνδεσμος, 8. έξω κνημιαίος κόνδυνος, 9. έξω καθεκτικοί σύνδεσμοι, 10-12. αρθρικές επιφάνειες επιγονατίδος, 13. τένων του τετρακεφάλου μυός, 14. άνω πόλος της επιγονατίδος, 15. έσω χείλος της επιγονατίδος, 16. μη αρθρική επιφάνεια επιγονατίδος, 17. κάτω πόλος της επιγονατίδος, 18. επιγονατιδικός τένων, 19. ραπτικός μυς, 20. έσω πλάγιος σύνδεσμος, 21. έσω κνημιαίος κόνδυνος, 22. στεφανιαίος σύνδεσμος, 23. έσω μηνίσκος, 24. πρόσθιος χιαστός σύνδεσμος, 25. έσω μηριαίος κόνδυνος, 26. οπίσθιος χιαστός σύνδεσμος, 27. κόλπωμα για τον πρόσθιο χιαστό σύνδεσμο, 28. έσω χείλος μηριαίας τροχιλίας.

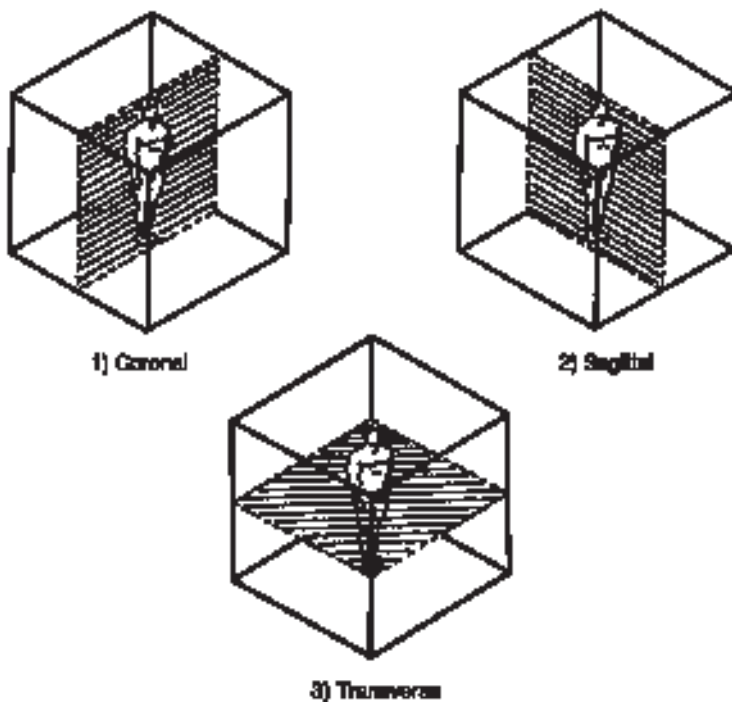
ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΤΟΥ ΓΟΝΑΤΟΣ

Η κίνηση είναι μία συνεχής αλλαγή της θέσης. Η κινηματική καθορίζει με ακρίβεια το εύρος κίνησης του γόνατος και επεξηγεί την κίνηση των αρθρικών επιφανειών στα τρία βασικά επίπεδα κίνησης: στο μετωπιαίο, στο οβελιαίο και στο εγκάρσιο (Σχ. 1, 2).

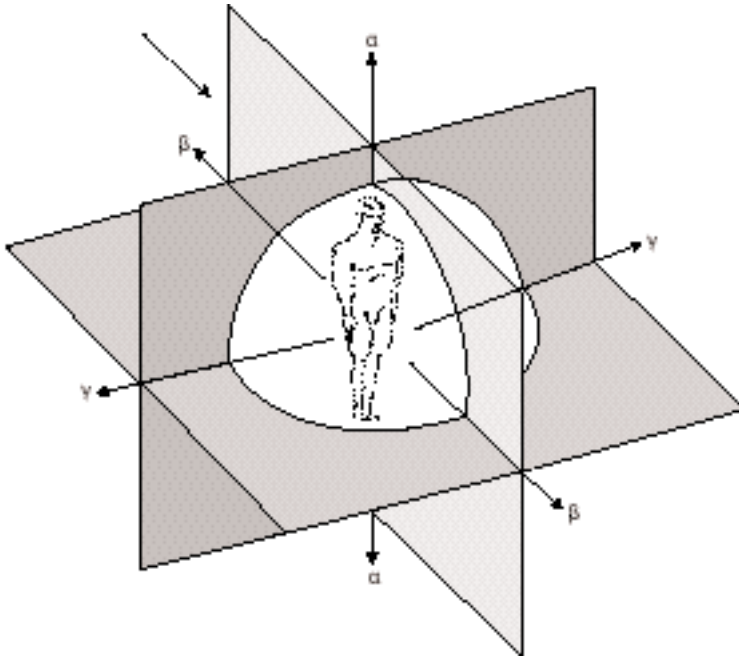
Εύρος κίνησης του γόνατος

Το εύρος της κίνησης είναι δυνατόν να μετρηθεί με ένα απλό γωνιόμετρο. Ωστόσο πιο ακριβείς μετρήσεις απαιτούν πιο ακριβείς τεχνικές (ηλεκτρογωνιόμετρο, ακτινογραφίες, ειδικές φωτογραφικές τεχνικές).

Το εύρος κίνησης στην κνημομηριαία διάρθρωση είναι μεγαλύτερο στο οβελιαίο επίπεδο. Από την πλήρη έκταση μέχρι την πλήρη κάμψη του γόνατος το εύρος κυμαίνεται από 0° έως 140° περίπου. Στο εγκάρσιο επί-



Σχ. 1. Επίπεδα κίνησης. Μετωπιαίο - Οβελιαίο - Εγκάρσιο.



Σχ. 2. Οι άξονες κίνησης. α. Οβελιαίος, β. Εγκάρσιος, γ. Μετωπιαίος CYBEX II Manual (1984).

πεδο το εύρος κίνησης της κνημομηριαίας διάρθρωσης αυξάνει σταδιακά, καθώς το γόνατο έρχεται από τη θέση της πλήρους έκτασης στις 90° κάμψης. Στη θέση πλήρους έκτασης δεν συμβαίνει σχεδόν καμία κίνηση στο εγκάρσιο επίπεδο, εξαιτίας του κλειδώματος μεταξύ των μηριαίων και των κνημιαίων κονδύλων. Στις 90° κάμψης η έξω στροφή της κνήμης κυμαίνεται από 0° έως 45° ενώ η έσω στροφή κυμαίνεται από 0° έως 30°. Μετά τις 90° κάμψης το εύρος κίνησης του γόνατος στο εγκάρσιο επίπεδο μειώνεται κυρίως εξαιτίας της περιοριστικής δραστηριότητας των συνδέσμων, των τενόντων και του σχήματος των αρθρικών επιφανειών.

Στο μετωπιαίο επίπεδο το εύρος κίνησης είναι μικρό. Η απαγωγή της κνήμης κυμαίνεται από 0° έως 2° και η κίνηση προσαγωγής της κνήμης κυμαίνεται από 0° έως 9°. Κατά την πλήρη έκταση του γόνατος δεν συμβαίνει σχεδόν καμία κίνηση προσαγωγής - απαγωγής. Καθώς η κάμψη φτάνει στις 30° αυξάνεται και η κίνηση στο μετωπιαίο επίπεδο. Μετά τις 30° κάμψης το εύρος κίνησης στο μετωπιαίο επίπεδο μειώνεται εξαιτίας της πε-

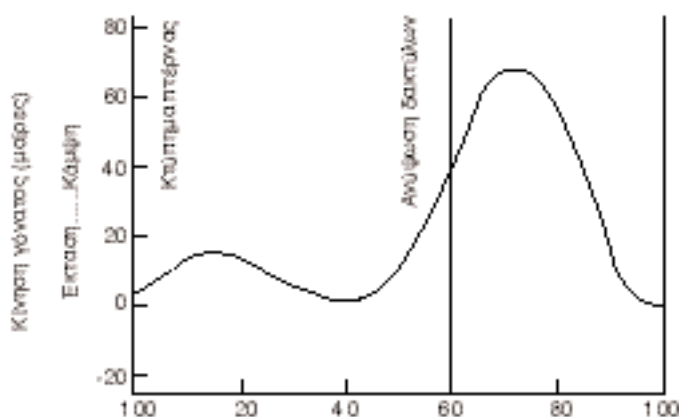
ριοριστικής δραστηριότητας των συνδέσμων, των τενόντων και του σχήματος των αρθρικών επιφανειών.

Η κινηματική κατά τη φυσική δραστηριότητα

Η ανάλυση της κινηματικής είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τον καθορισμό του εύρους κίνησης μιας άρθρωσης σε σχέση με τις διάφορες δραστηριότητες. Έρευνες πάνω στην κινηματική έδειξαν ότι τουλάχιστον 90° κάμψης του γόνατος απαιτούνται για τις πιο στοιχειώδεις δραστηριότητες της καθημερινής ζωής. Για την επίτευξη όλων των καθημερινών δραστηριοτήτων απαιτούνται τουλάχιστον 117° κάμψης. Κάθε περιορισμός του εύρους κίνησης του γόνατος αντισταθμίζεται από την αύξηση της κίνησης στις παρακείμενες αρθρώσεις.

Η κινηματική της βάδισης

Στο οβελιαίο επίπεδο το εύρος κίνησης της κνημομηριαίας διάρθρωσης κατά τη βάδιση σε οριζόντιο επίπεδο, μετρήθηκε με ακρίβεια με τη βοήθεια ηλεκτρογωνιομέτρου και καταγράφηκε από τους Murray, Drought και Kory το 1964. Σχεδόν πλήρης έκταση - 5° κάμψης - καταγράφηκε τόσο κατά την έναρξη, όσο και κατά το τέλος της φάσης στήριξης, δηλαδή κατά το κύπημα της πτέρνας και πριν από την ανύψωση των δακτύλων από το έδαφος αντίστοιχα. Μέγιστη κάμψη 75° παρατηρήθηκε κατά τη μέση περίοδο της φάσης αιώρησης (Σχ. 3). Σε καμία φάση του κύκλου της βάδισης



Σχ. 3. Εύρος κίνησης της κνημομηριαίας άρθρωσης στο οβελιαίο επίπεδο κατά τη βάδιση. (Τροποποιημένο από Frankel & Nordin 1984).

το γόνατο δε βρέθηκε σε θέση πλήρους έκτασης.

Όσον αφορά το εύρος κίνησης στο εγκάρσιο επίπεδο, σύμφωνα με αποτελέσματα μελετών που έγιναν από διάφορους ερευνητές, η ολική στροφή της κνήμης σε σχέση με το μηριαίο κυμαίνεται από $4,1^\circ$ έως $13,3^\circ$ - μέσος όρος $8,6^\circ$ (Frankel & Nordin 1984). Η έξω στροφή βρέθηκε ότι λαμβάνει χώρα κατά την έκταση του γόνατος στη φάση στήριξης και φτάνει σε μία κορυφαία τιμή κατά το τέλος της φάσης αιώρησης, αμέσως πριν από το κτύπημα της πτέρνας στο έδαφος.

Όσον αφορά το εύρος της κίνησης της κνημομηριαίας διάρθρωσης στο μετωπιαίο επίπεδο, η μέγιστη απαγωγή της κνήμης λαμβάνει χώρα κατά την έκταση στην αρχή της φάσης στήριξης, ενώ η μέγιστη προσαγωγή λαμβάνει χώρα κατά την κάμψη του γόνατος στη φάση αιώρησης. Το ολικό εύρος προσαγωγής - απαγωγής έχει ένα μέσο όρο 11° .

Δραστηριότητες καθημερινής ζωής

Διάφορες μελέτες έγιναν για το εύρος κίνησης κατά τις δραστηριότητες της καθημερινής ζωής. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω απαιτούνται τουλάχιστον 117° κάμψης για να είναι δυνατή η επίτευξη όλων των δραστηριοτήτων της καθημερινής ζωής (Πίν. 1). Όσο μεγαλύτερο μάλιστα είναι το κάτω άκρο, τόσο μεγαλύτερο είναι το εύρος της κίνησης.

Πίνακας 1. Μέσος όρος εύρους κίνησης της κνημομηριαίας άρθρωσης στο οβελιαίο επίπεδο κατά τις καθημερινές δραστηριότητες σε έρευνα με δείγμα 22 ατόμων (Από Kettelkamp et al.: Journal of Bone and joint surgery, Vol. 52 (A), p. 775, 1970).

Δραστηριότητα	Εύρος κίνησης από την έκταση προς την κάμψη (σε μοίρες)
βάδιση	0-67
ανέβασμα σκαλοπατιών	0-83
κατέβασμα σκαλοπατιών	0-90
κάθισμα σε καρέκλα	0-93
δέσιμο παπουτσιών	0-106
ανύψωση αντικειμένων	0-117

Σε μία μελέτη των Perry, Norwood και House το 1977, βρέθηκε ότι η αύξηση της ταχύτητας της κίνησης της άρθρωσης συνοδεύεται από αύξηση του εύρους κίνησης της κνημομηριαίας διάρθρωσης. από την αργή βάδιση

έως το τρέξιμο απαιτείται προοδευτικά μεγαλύτερη κάμψη του γόνατος κατά τη φάση στήριξης (Πίν. 2).

Πίνακας 2. Μέσος όρος εύρους κάμψης κατά τη φάση στήριξης στη βάδιση και στο τρέξιμο σε έρευνα με δείγμα 7 ατόμων (Από Perry J., Norwood L., House K.: *Transactions of the 23rd annual meeting of the orthopaedic research society* 2:258, Las Vegas, Feb. 1-3, 1977).

Δραστηριότητα	Εύρος κάμψης κατά τη φάση στήριξης (σε μοίρες)
ΒΑΔΙΣΗ	
αργή	0-6
ελεύθερη	6-12
γρήγορη	12-18
τρέξιμο	18-30

Η ΚΙΝΗΣΗ ΤΩΝ ΑΡΘΡΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

Η τεχνική του στιγμιαίου κέντρου

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για τη μελέτη και επεξήγηση της κίνησης των αρθρικών επιφανειών στο οβελιαίο και μετωπιαίο επίπεδο - όχι όμως και στο εγκάρσιο - ονομάζεται τεχνική του στιγμιαίου κέντρου. Με την τεχνική αυτή ο ερευνητής μπορεί να εξηγήσει τη συσχετισμένη κίνηση μεταξύ δύο συνδεδεμένων τμημάτων του σώματος και την κατεύθυνση της μετατόπισης των σημείων επαφής μεταξύ των δύο αυτών τμημάτων. Καθώς αυτά τα τμήματα στρέφονται το ένα πάνω στο άλλο, υπάρχει ένα σημείο που για μία στιγμή του χρόνου δεν κινείται. Με άλλα λόγια το σημείο αυτό έχει ταχύτητα μηδέν. Το σημείο αυτό ονομάζεται στιγμιαίο κέντρο ή στιγμιαίο κέντρο στροφής.

Το στιγμιαίο κέντρο της κίνησης μιας άρθρωσης μπορεί να ορισθεί με τη μέθοδο του Reuleaux (1876). Με τη μέθοδο αυτή το στιγμιαίο κέντρο ανευρίσκεται, αναγνωρίζοντας τη μετατόπιση δύο δεδομένων σημείων ενός τμήματος του σώματος (π.χ. του μηριαίου οστού) καθώς το τμήμα αυτό μετακινείται από μία θέση σε μία άλλη (Σχ. 4). Τα δεδομένα αυτά σημεία κατά την αρχική (σημεία α και β) και τελική θέση (σημεία α' και β') σχεδιάζονται σε μία γραφική παράσταση και φέρονται γραμμές που