

Κεφάλαιο 3: Μέθοδοι Κινηματικής Ανάλυσης

Σύνοψη

Υπάρχουν δύο μεγάλες κατηγορίες μεθόδων κινηματικής ανάλυσης: οι άμεσες και οι έμμεσες. Οι άμεσες μέθοδοι περιλαμβάνουν τα γωνιόμετρα και τα επιταχυνσιόμετρα, τα οποία τοποθετούνται πάνω στον εξεταζόμενο και καταγράφουν τις γωνίες και τις επιταχύνσεις συγκεκριμένων αρθρώσεων και μελών του σώματος. Οι έμμεσες μέθοδοι περιλαμβάνουν τη βιντεοσκόπηση και τα οπτοηλεκτρονικά συστήματα, τα οποία καταγράφουν την κίνηση του αθλητή με ειδικά οπτικά μέσα και στη συνέχεια υπολογίζουν τα κινηματικά χαρακτηριστικά των μελών και αρθρώσεων του σώματος. Η θέση των μελών και των αρθρώσεων του σώματος περιγράφεται σε κάθε χρονική στιγμή σε ένα σύστημα συντεταγμένων. Ένα σύστημα κινηματικής ανάλυσης χαρακτηρίζεται ως δισδιάστατο ή τρισδιάστατο ανάλογα με το σύστημα αναφοράς που χρησιμοποιεί. Το αρχικό στάδιο της κινηματικής ανάλυσης περιλαμβάνει την προετοιμασία της κάθε κάμερας, την τοποθέτηση των ανακλαστήρων στο σώμα του εξεταζόμενου και τη βαθμονόμηση του χώρου. Μετά την καταγραφή, ακολουθεί η ψηφιοποίηση και η εξαγωγή της μετατόπισης των ανακλαστήρων ως προς το χρόνο. Οι μεταβλητές που αξιολογούνται, περιλαμβάνουν τις γραμμικές μετατοπίσεις, ταχύτητες και επιταχύνσεις συγκεκριμένων ανακλαστήρων ή μελών του σώματος καθώς και του κέντρου μάζας και τις γωνιακές μετατοπίσεις, ταχύτητες και επιταχύνσεις μελών του σώματος και των αρθρώσεων.

Προαπαιτούμενη γνώση

Για την κατανόηση του κεφαλαίου αυτού απαιτείται η στοιχειώδης γνώση της κινηματικής ανάλυσης, όπως παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 2. Σχετικά συγγράμματα τα οποία μπορούν να εμπλουτίσουν τη γνώση αναφορικά με το προαναφερόμενο αντικείμενο, είναι: Robertson, G., Caldwell, G., Hamill, J., Kamen, G., & Whittlesey, S. (2013). *Research Methods in Biomechanics*, 2E. Human Kinetics, Champaign, IL και Zatsiorski, V., 1998. *Kinematics of Human Motion*. Human Kinetics, Champaign, IL. 42-48

Στόχοι κεφαλαίου

Μετά την ανάγνωση αυτού του κεφαλαίου θα είστε σε θέση να:

- Κατανοήσετε τις διάφορες μεθόδους εξέτασης των κινηματικών χαρακτηριστικών.
- Εξηγήτε την κίνηση ενός σημείου ή μέλους του σώματος με συστήματα συντεταγμένων.
- Να σχεδιάζετε και να εφαρμόζετε μια καταγραφή κινηματικής ανάλυσης σε δύο διαστάσεις.
- Περιγράφετε μια αθλητική κίνηση μέσα από μια σειρά δεδομένων κινηματικής ανάλυσης.

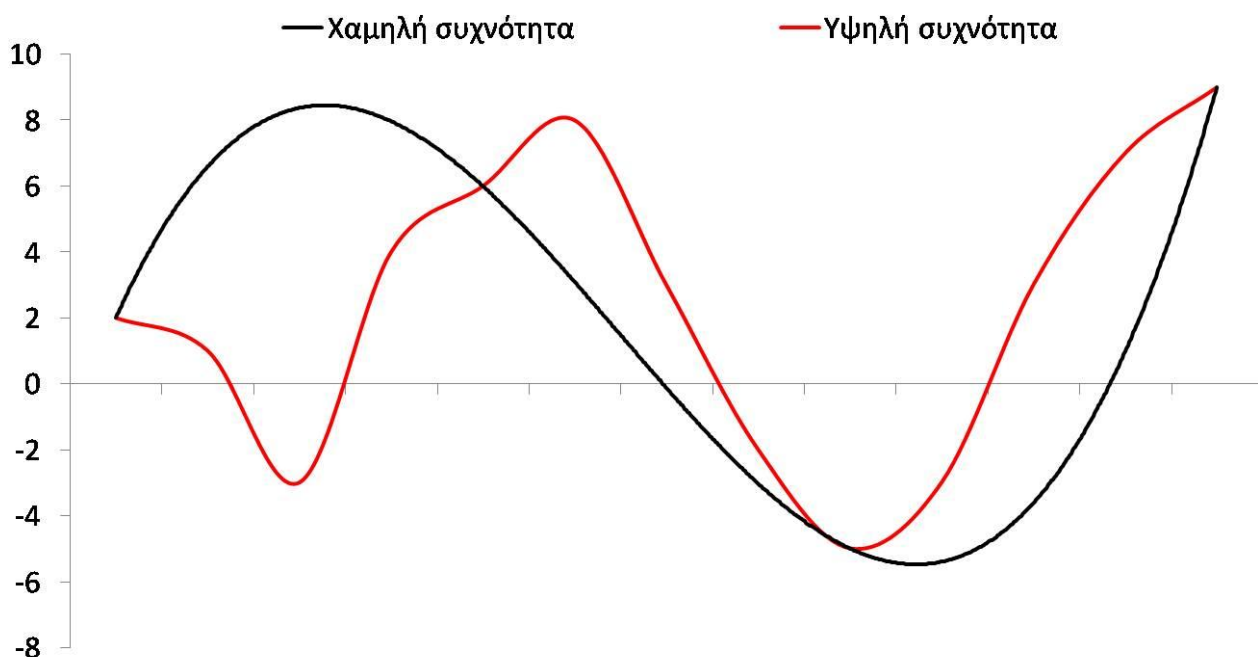
1. Εισαγωγή

Η ποιότητα της κινηματικής ανάλυσης αλλά και η ερμηνεία της συνδέονται άμεσα με τον τρόπο με τον οποίο έγινε η συλλογή των δεδομένων. Τα σύγχρονα συστήματα κινηματικής ανάλυσης εκμεταλλεύονται την ανάπτυξη της τεχνολογίας και τις δυνατότητες υψηλής υπολογιστικής ισχύος και προσφέρουν πολλές δυνατότητες στην καταγραφή, την επεξεργασία και την ανάλυση των δεδομένων. Οι κατασκευαστές έχουν αναπτύξει λογισμικά προγράμματα τα οποία είναι ιδιαίτερα φιλικά προς το χρήστη. Η διαδικασία της καταγραφής πραγματοποιείται μέσα από ειδικά προκαθορισμένα πρωτόκολλα, τα οποία την καθιστούν πιο εύκολη και γρήγορη. Οι περισσότερες δυνατότητες ανάλυσης που προσφέρει ένα σύγχρονο σύστημα απαιτούν πολύπλοκους μαθηματικούς αλγόριθμους. Ο χρήστης θα πρέπει να γνωρίζει τα βασικά στάδια της κινηματικής ανάλυσης, για να ρυθμίζει τις λεπτομέρειες μιας επιτυχημένης καταγραφής καθώς και για να ερμηνεύει τα αποτελέσματά.

1.1. Συχνότητα δειγματοληψίας

Για να υπολογίσουμε την ταχύτητα και την επιτάχυνση ενός σημείου θα πρέπει να είναι γνωστή η χρονική απόσταση που χωρίζει δύο διαδοχικές στιγμές της κίνησης. Εφόσον η κίνηση είναι καταγεγραμμένη από μια κάμερα, η χρονική διάρκεια από καρτέ σε καρτέ, εξαρτάται από τις δυνατότητες της κάμερας αυτής. Πιο συγκεκριμένα, ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία στην κινηματική ανάλυση είναι η *συχνότητα δειγματοληψίας*. Αυτή ορίζεται ως ο αριθμός των καρτέ (εικόνων) που καταγράφει η κάμερα σε 1 s. Η μονάδα μέτρησης της συχνότητας δειγματοληψίας είναι το Hz, όπου 1 Hz είναι ίσο με μια εικόνα το δευτερόλεπτο. Εάν η συχνότητα είναι 50 Hz, τότε η κάμερα καταγράφει 50 εικόνες το δευτερόλεπτο. Συνεπώς, η χρονική διάρκεια από το

ένα καρέ στο επόμενο είναι $1/50 = 0.02s$ (Εικόνα 3.1). Η συχνότητα δειγματοληψίας πάνω από 60 Hz θεωρείται ικανοποιητική για την ανάλυση αργών κινήσεων, όπως η βιάδιση, ενώ συχνότητες πάνω από 100 Hz θεωρούνται ικανοποιητικές για την ανάλυση των περισσότερων κινήσεων. Τέλος, η ανάλυση συγκεκριμένων φάσεων μιας κίνησης, όπως η κρούση της ρακέτας του τένις με την μπάλα, απαιτεί πολύ υψηλότερη συχνότητα δειγματοληψίας (πάνω από 1000 Hz).



Εικόνα 3. 1: Παράδειγμα της επίδρασης της συχνότητας δειγματοληψίας στην ανάλυση ενός σήματος. Από τη σύγκριση των δύο κυματομορφών φαίνεται ότι η χρήση της χαμηλής συχνότητας δειγματοληψίας (30 Hz) οδηγεί σε απώλεια σημαντικών πληροφοριών κατά τη χρονική διάρκεια εκτέλεσης της κίνησης σε σχέση με την κυματομορφή η οποία καταγράφηκε με υψηλότερη συχνότητα δειγματοληψίας (60 Hz).

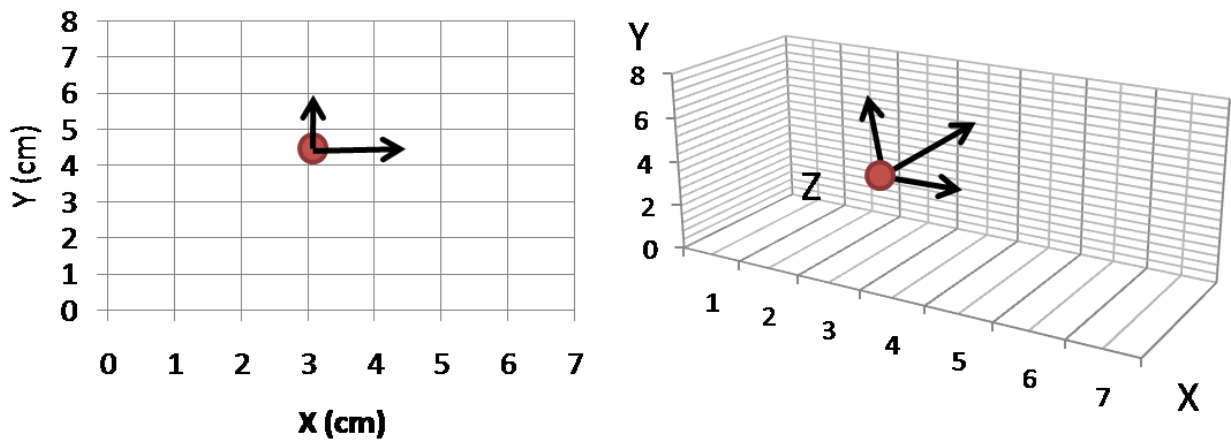
1.2. Συστήματα αναφοράς

Η κίνηση ενός σώματος στο χώρο περιγράφεται ως προς ένα *πλαίσιο αναφοράς*. Τα *συστήματα αναφοράς* ονομάζονται και συστήματα συντεταγμένων, επειδή ακριβώς οριοθετούν ένα χώρο ή επίπεδο, τα σημεία των οποίων έχουν γνωστές συντεταγμένες. Υπάρχουν δύο διαφορετικά συστήματα αναφοράς με τα οποία περιγράφουμε τη θέση και την κίνηση ενός σημείου / σώματος (Εικόνα 3.2):

- Το δισδιάστατο σύστημα, με το οποίο πραγματοποιείται ανάλυση της κίνησης στο επίπεδο.
- Το τρισδιάστατο σύστημα, με το οποίο πραγματοποιείται ανάλυση της κίνησης στο χώρο.

Και στις δύο περιπτώσεις, το σύστημα αναφοράς αποτελείται από την αρχή των αξόνων και από δύο (δισδιάστατη ανάλυση) ή τρεις (τρειςδιάστατη ανάλυση) ορθογώνιους άξονες, οι οποίοι διαπερνούν την αρχή των αξόνων (Εικόνα 3.22).

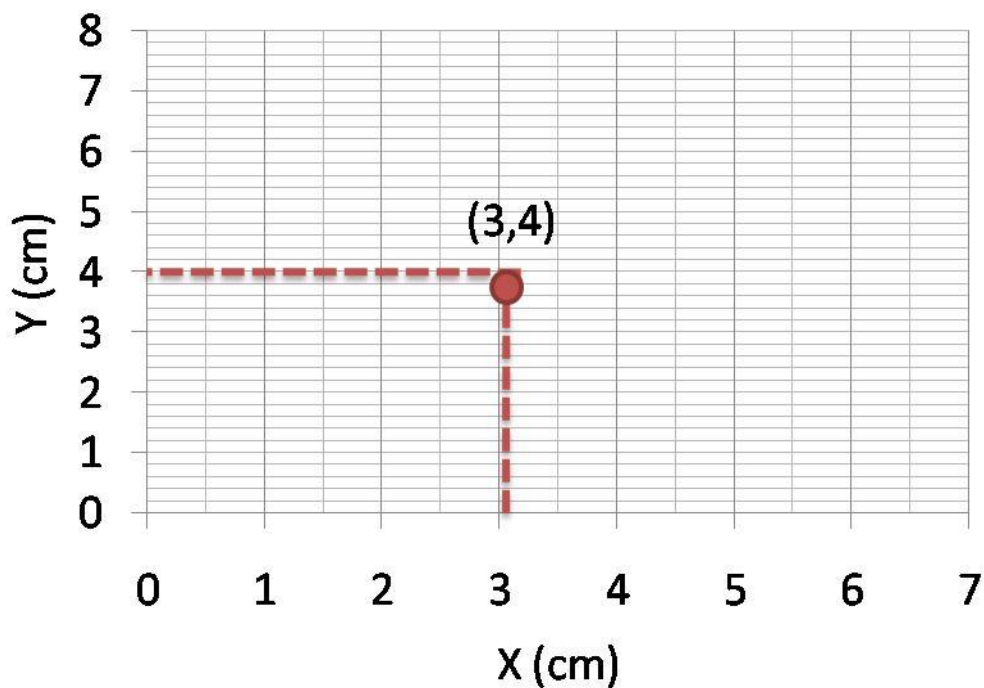
Στη δισδιάστατη ανάλυση, η κίνηση ενός σημείου περιγράφεται με τη θέση του ως προς δύο άξονες, τον οριζόντιο (X) και τον κατακόρυφο (Y), ενώ στην τρισδιάστατη προστίθεται ένας τρίτος άξονας (Z) ο οποίος είναι κάθετος στους άλλους δύο. Η αρχή των αξόνων με συντεταγμένες (0,0,0) τοποθετείται, συνήθως, στο έδαφος (Zatsiorski, 1998).



Εικόνα 3. 2: Σύστημα συντεταγμένων σε δύο (αριστερά) και τρεις (δεξιά) διαστάσεις.

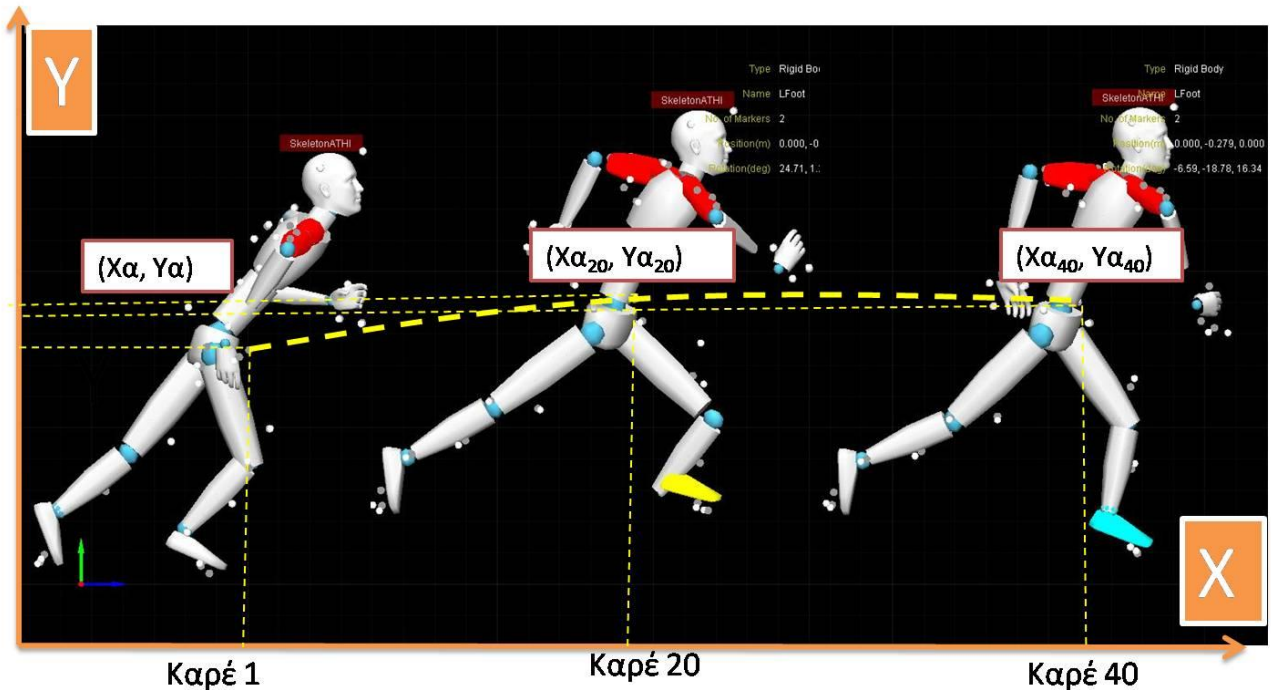
1.3. Προσδιορισμός της θέσης ενός σημείου σε δύο διαστάσεις

Για να προσδιορίσουμε τη θέση ενός τυχαίου σημείου στο επίπεδο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.3, ορίζουμε ένα ορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων, με συγκεκριμένη αρχή των αξόνων και κλίμακες μέτρησης σε κάθε άξονα. Στη συνέχεια βρίσκουμε την τετμημένη και την τεταγμένη του σημείου, δηλαδή τις συντεταγμένες του (3, 4).



Εικόνα 3.3: Προσδιορισμός της θέσης ενός σημείου (συντεταγμένες) σε δύο διαστάσεις.

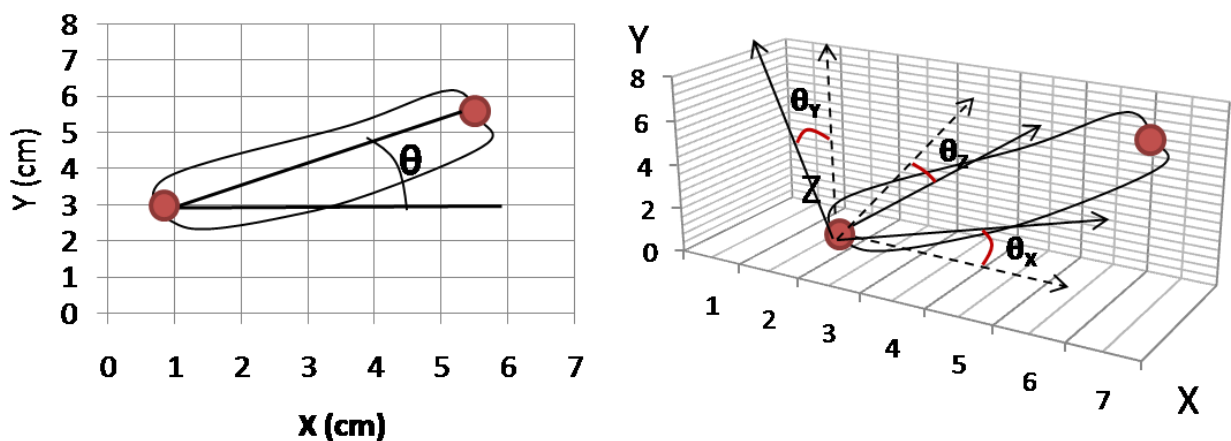
Ακολουθώντας την παραπάνω διαδικασία προσδιορίζονται οι συντεταγμένες όλων των ανακλαστήρων ενός δρομέα καρέ-καρέ κατά τη διάρκεια ενός διασκελισμού (Εικόνα 3.4). Στη συνέχεια αναγνωρίζονται οι συντεταγμένες (τετμημένη και τεταγμένη) του κάθε σημείου σε κάθε καρέ.



Εικόνα 3.4: Προσδιορισμός της θέσης καρέ – καρέ. Ο υπολογισμός των δεδομένων ανάγεται σε μεταβολές των συντεταγμένων των ανακλαστήρων.

Με την ολοκλήρωση της παραπάνω διαδικασίας προσδιορίζονται οι συντεταγμένες (X,Y) ενός οποιουδήποτε σημείου στο διαβαθμισμένο χώρο. Όμως, η κίνηση του σώματος δε συνίσταται σε κίνηση μεμονωμένων σημείων αλλά σε κίνηση μελών. Συνεπώς, για να μπορέσουμε να προσδιορίσουμε την κίνηση ενός μέλους του σώματος στο επίπεδο, απαιτείται ο προσδιορισμός τριών μεταβλητών: οι συντεταγμένες ενός σημείου πάνω στο μέλος (π.χ. το ένα άκρο ή το κέντρο μάζας), σε δύο άξονες (X, Y) και η γωνία που σχηματίζεται από το μέλος του σώματος σε σχέση με τον οριζόντιο άξονα (X).

Στην τρισδιάστατη ανάλυση, η θέση ενός οποιουδήποτε σημείου στο χώρο μπορεί να περιγραφεί από τις συντεταγμένες σε τρεις άξονες (X, Y, Z). Στην περίπτωση αυτή, η περιγραφή της κίνησης ενός μέλους (ή σώματος) στο χώρο απαιτεί συνολικά έξι μεταβλητές, δηλαδή τις θέσεις ενός σημείου πάνω στο μέλος (π.χ. το κέντρο μάζας ή ένα άκρο) σε τρεις άξονες (X, Y, Z) και τρεις γωνίες που σχηματίζονται από το μέλος του σώματος με καθέναν από τους τρεις άξονες (X,Y,Z).



Εικόνα 3.5: Προσδιορισμός της θέσης ενός μέλους του σώματος. Στη δισδιάστατη ανάλυση (αριστερό γράφημα), η θέση του μέλους υπολογίζεται από τις θέσεις ενός σημείου πάνω στο μέλος (στην προκειμένη περίπτωση το ένα άκρο) και τη γω-

νία με έναν άξονα. Στην τρισδιάστατη ανάλυση, η θέση του μέλους υπολογίζεται από τις τρισδιάστατες συντεταγμένες ενός σημείου του μέλους και τις γωνίες του μέλους με καθέναν άξονα (θ_x , θ_y , θ_z).

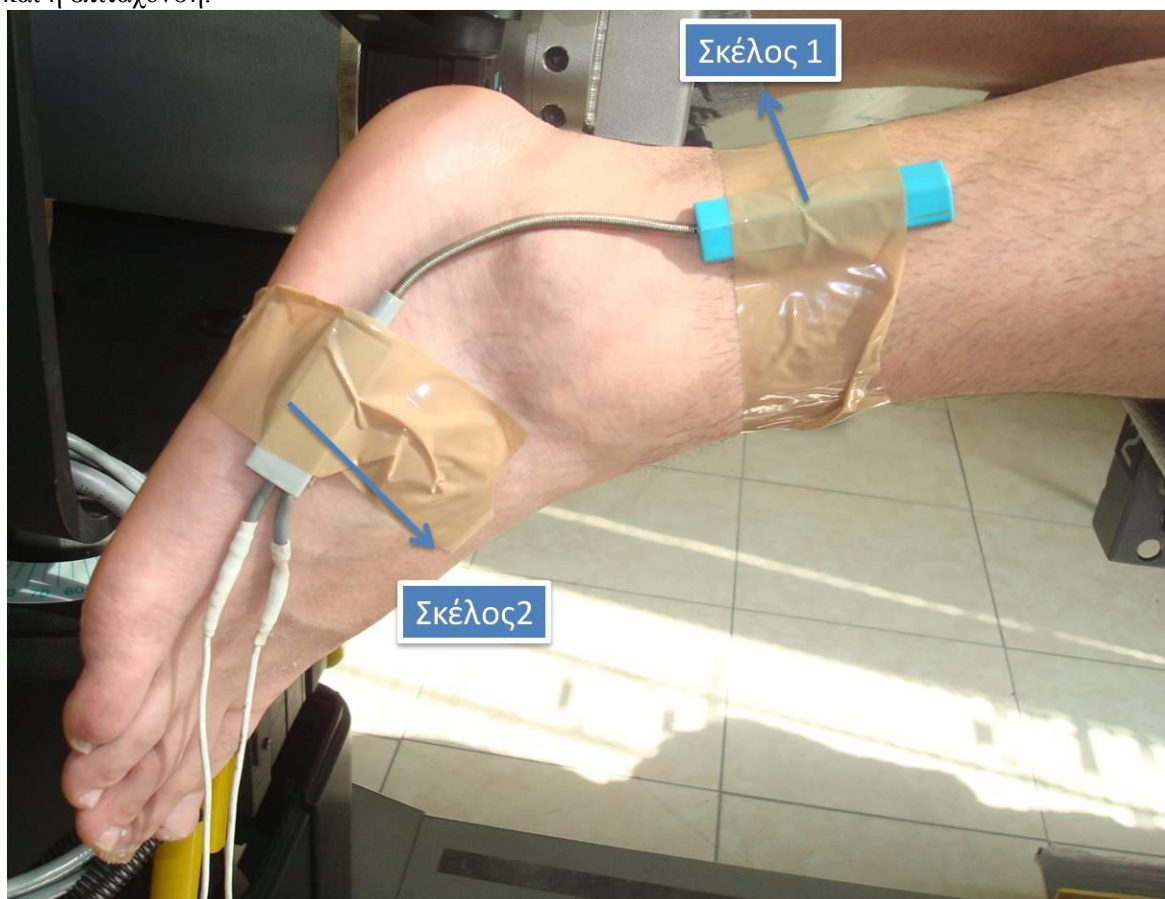
2. Μέθοδοι ανάλυσης

Ο στόχος των μεθόδων κινηματικής ανάλυσης είναι ο υπολογισμός των βασικών μεγεθών περιγραφής της αθλητικής κίνησης, δηλαδή, της μετατόπισης, της ταχύτητας και της επιτάχυνσης των μελών και των αρθρώσεων του σώματος, όπως και διάφορων άλλων αθλητικών οργάνων που επηρεάζουν την κίνηση ενός αθλητή. Για να επιτευχθεί ο σκοπός αυτός, χρησιμοποιούνται δύο κατηγορίες μεθόδων κινηματικής ανάλυσης, οι άμεσες και οι έμμεσες.

2.1. Άμεσες μέθοδοι

Τα γωνιόμετρα είναι όργανα τα οποία χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της γωνιακής μετατόπισης. Αποτελούνται από δύο μέρη (σκέλη) τα οποία τοποθετούνται στα δύο μέλη της άρθρωσης με κολλητική ταινία (Εικόνα 3.6). Εάν θέλουμε να καταγράψουμε τη γωνιακή μετατόπιση του γονάτου, τότε τοποθετούμε το ένα σκέλος στο μηρό και το άλλο στην κνήμη, έτσι ώστε το κέντρο περιστροφής του οργάνου να συμπίπτει με τον αντίστοιχο άξονα περιστροφής της άρθρωσης όσο καλύτερα γίνεται.

Υπάρχουν δύο είδη γωνιομέτρων: τα χειροκίνητα και τα ηλεκτρονικά (Tesio, Monzani, Gatti, & Franchignoni, 1995). Τα χειροκίνητα μετρούν τη γωνιακή θέση μόνο στατικά και δε χρησιμοποιούνται στην κινηματική ανάλυση. Τα ηλεκτρονικά διαθέτουν μια ηλεκτρονική αντίσταση (ποτενσιόμετρο) η οποία καταγράφει την αλλαγή στο ηλεκτρικό φορτίο που προέρχεται από την κίνηση των δύο σκελών του γωνιομέτρου ως προς το κέντρο περιστροφής. Η επεξεργασία του σήματος γίνεται από ειδικά λογισμικά που μας παρέχουν τη γωνιακή θέση σε σχέση με το χρόνο. Με βάση αυτές τις πληροφορίες, υπολογίζονται η γωνιακή ταχύτητα και η επιτάχυνση.



Εικόνα 3.6: Το γωνιόμετρο αποτελείται από δύο σκέλη. Το καθένα τοποθετείται στα μέλη που συνθέτουν την άρθρωση.

Τα επιταχυνσιόμετρα είναι όργανα τα οποία καταγράφουν τη γραμμική επιτάχυνση του σημείου στο οποίο προσδένονται (Morris, 1973). Το βάρος και το μέγεθός τους είναι σχετικά μικρά, ώστε να μπορούν να προσδένονται στα μέλη του σώματος. Η επιτάχυνση δεν υπολογίζεται ως η μεταβολή της ταχύτητας ως προς

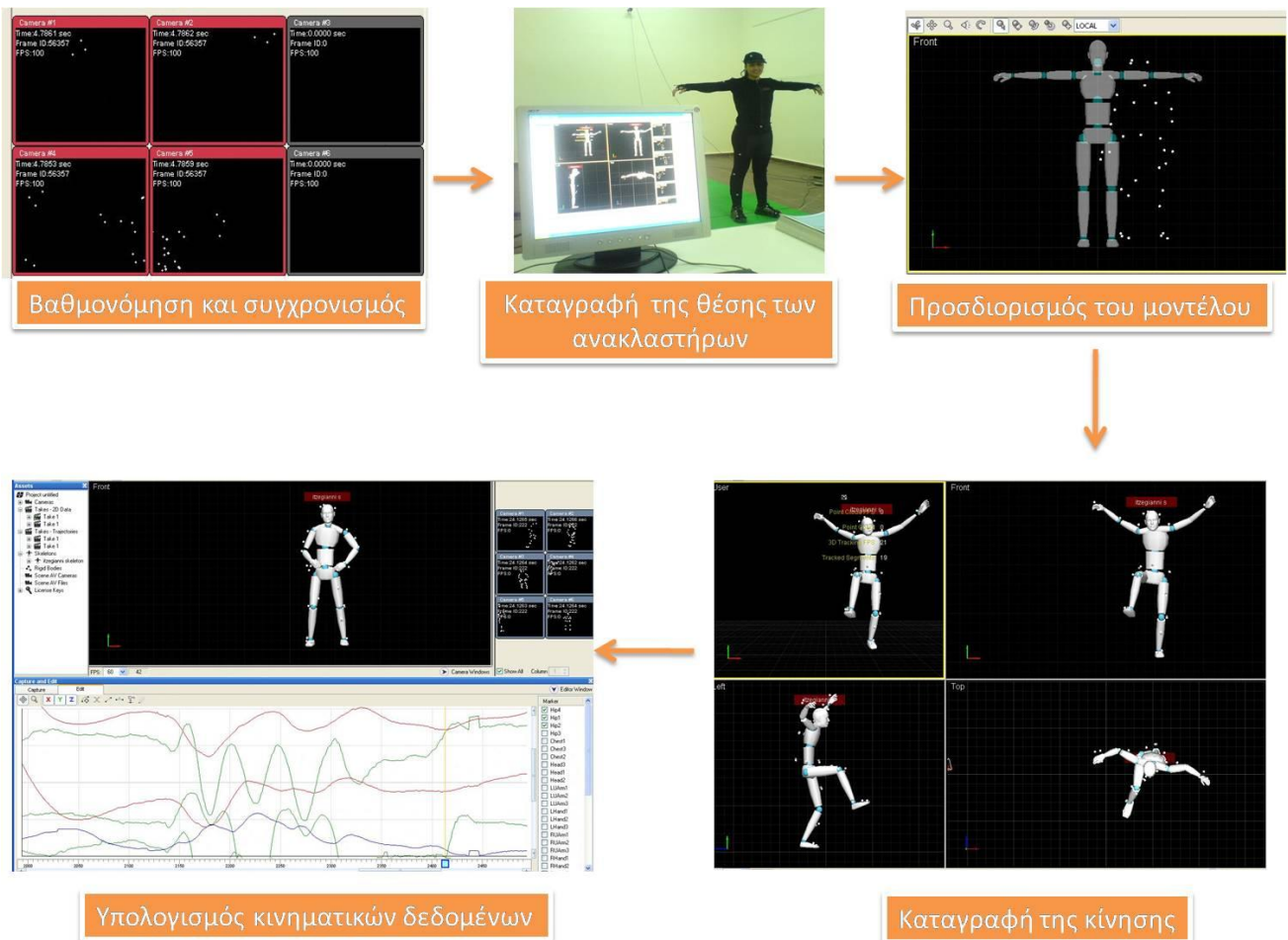
το χρόνο αλλά ως η επιτάχυνση της μάζας, η οποία οφείλεται στην επίδραση της βαρύτητας. Για παράδειγμα, ένα σώμα που στέκεται ακίνητο πάνω στο έδαφος της γης εμφανίζει επιτάχυνση $g = 9.81 \text{ m/s}^2$.

Τα επιταχυνσιόμετρα χρησιμοποιούνται συχνότερα για την εμβιομηχανική ανάλυση εξειδικευμένων κινήσεων, όπως για τη μελέτη της επιτάχυνσης της άκρας χείρας ενός αθλητή αντισφαίρισης κατά το σερβίς. Η χρήση των επιταχυνσιόμετρων για την περιγραφή της κίνησης όλου του σώματος, τόσο της ευθύγραμμης όσο και της κυκλικής, απαιτεί την τοποθέτηση πολλών επιταχυνσιόμετρων σε διάφορα σημεία του σώματος. Η τεχνική αυτή, όμως, δε χρησιμοποιείται διότι τα πολλά επιταχυνσιόμετρα εμποδίζουν την κίνηση, ενώ οι διαδικασίες συγχρονισμού και βαθμονόμησής τους στο χώρο είναι εξαιρετικά πολύπλοκη.

2.2. Έμμεσες μέθοδοι

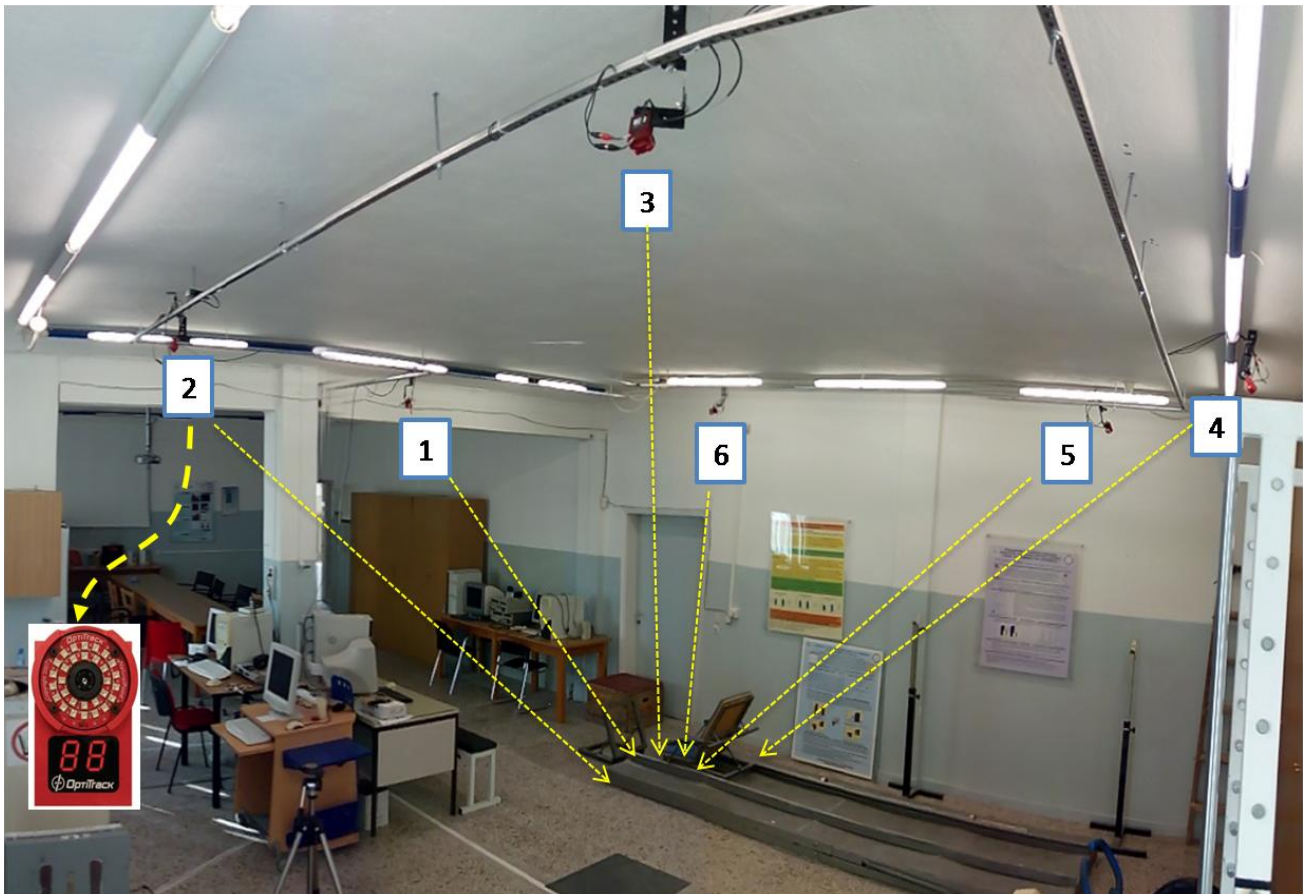
Οι έμμεσες μέθοδοι στηρίζονται στην καταγραφή και ανάλυση της κίνησης ενός σώματος με διάφορα οπτικο-ηλεκτρονικά μέσα ή ηλεκτρομαγνητικά μέσα. Τα ηλεκτρομαγνητικά συστήματα βασίζονται στην τοποθέτηση ειδικών αισθητήρων στα μέλη του σώματος. Οι αισθητήρες παρέχουν πληροφορίες (με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων) για τη μεταβολή της θέσης των μελών του σώματος σε ένα προκαθορισμένο σύστημα αναφοράς. Τα κύματα αυτά λαμβάνονται από ειδικούς δέκτες και στη συνέχεια υφίστανται επεξεργασία για τον υπολογισμό των κινηματικών χαρακτηριστικών. Η χρήση των συστημάτων προτιμάται, κυρίως, όταν μελετάται η κίνηση ενός μέρους του σώματος (π.χ. η ωμική ζώνη και άνω άκρο), επειδή παρουσιάζει χαμηλό κόστος αλλά και άμεση πληροφόρηση.

Τα πιο ευρέως διαδεδομένα έμμεσα συστήματα είναι τα οπτοηλεκτρονικά, τα οποία στηρίζονται στην καταγραφή και ανάλυση της εικόνας του κινούμενου σώματος με ειδικές κάμερες (Εικόνα 3.7). Στον αθλητή τοποθετούνται ειδικοί αυτοκόλλητοι ανακλαστήρες, ώστε να επιτευχθεί η αναπαράσταση του σώματος σε ψηφιακή μορφή. Τα σημεία τοποθέτησης των ανακλαστήρων προσδιορίζονται από ανθρωπομετρικά μοντέλα. Το τελικό αποτέλεσμα της διαδικασίας μέτρησης είναι ο προσδιορισμός των συντεταγμένων των ανακλαστήρων στο επίπεδο (δισδιάστατη ανάλυση) ή στο χώρο (τρισδιάστατη ανάλυση). Τέλος, με ειδικές μαθηματικές – γεωμετρικές εξισώσεις, υπολογίζονται οι παράγωγες μεταβλητές, δηλαδή η ταχύτητα και η επιτάχυνση των μελών και των αρθρώσεων του σώματος.



Εικόνα 3.7: Διαδικασία έμμεσης κινηματικής ανάλυσης.

Η κινηματογράφηση είναι η παλαιότερη τεχνική ανάλυσης της κίνησης. Στην αρχική της μορφή βασίστηκε στις αρχές και στην τεχνολογία της λήψης εικόνας μέσω κινηματογραφικού φιλμ. Σταδιακά, η κινηματογράφηση αντικαταστάθηκε από τη βιντεοσκόπηση, η οποία βασιζόταν στην καταγραφή της εικόνας σε βιντεοταινίες. Με τη διατήρηση των ίδιων διαδικασιών μέτρησης, σήμερα, η βιντεοσκόπηση χρησιμοποιεί την ψηφιακή εικόνα σε συνδυασμό με νεότερα λογισμικά ανάλυσης της κίνησης. Η κίνηση μπορεί να καταγραφεί με μια (δισδιάστατη) ή περισσότερες κάμερες (τρισδιάστατη ανάλυση). Η εικόνα καταγράφεται σε ψηφιακή μορφή (π.χ. AVI, MPEG). Όπως θα αναφερθεί λεπτομερέστερα παρακάτω, ακολουθεί η διαδικασία της ψηφιοποίησης των ανακλαστήρων μέσω κατάλληλου λογισμικού, η εξομάλυνση των αρχικών δεδομένων και ο υπολογισμός των κινηματικών χαρακτηριστικών.



Εικόνα 3.8: Οπτοηλεκτρονικό σύστημα με έξι κάμερες. Η διάταξη είναι τέτοια ώστε να εστιάζουν όλες στην ίδια οριοθετημένη περιοχή. Η στερέωση της κάθε κάμερας στον τοίχο είναι προαιρετική, αλλά μειώνει σημαντικά το χρόνο πραγματοποίησης διαδοχικών μετρήσεων.

Τα οπτοηλεκτρονικά συστήματα χρησιμοποιούν ειδικές κάμερες (π.χ. με υπέρυθρες ακτίνες) οι οποίες μπορούν να καταγράψουν με ακρίβεια την κίνηση ενός σώματος (Εικόνα 3.8). Η διαφορά με τη βιντεοσκόπηση είναι ότι τα συγκεκριμένα συστήματα δεν καταγράφουν την εικόνα του αθλητή αλλά απευθείας τις συντεταγμένες των ανακλαστήρων στο χώρο. Έτσι, αποφεύγεται η χρονοβόρα διαδικασία της ψηφιοποίησης, δηλαδή, της αναγνώρισης των ανακλαστήρων σε κάθε καρέ της κίνησης. Η μέτρηση απαιτεί ιδιαίτερα σκοτεινό χώρο, ώστε οι κάμερες να καταγράφουν μόνον την κίνηση των ανακλαστήρων. Επίσης, οι ανακλαστήρες ποικίλλουν ανάλογα με το σύστημα και μπορεί να είναι παθητικοί (με μια χαρακτηριστική χρώση που αντανακλάται στην κάμερα) ή ενεργητικοί, και είναι κατασκευασμένοι με τέτοιο τρόπο ώστε να αναγνωρίζονται από ειδικές υπέρυθρες κάμερες μέσα από μια κεντρική ηλεκτρονικά ελεγχόμενη μονάδα. Αφού γίνει η καταγραφή, το σύστημα, αμέσως, παρέχει ένα ελεύθερο διάγραμμα του σώματος καρέ-καρέ ή αλλιώς το κινησιόγραμμα. Το επόμενο στάδιο είναι ο άμεσος υπολογισμός της ταχύτητας και επιτάχυνσης μελών και αρθρώσεων.

Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των διαφόρων μεθόδων κινηματικής ανάλυσης.

Έμμεσες Μέθοδοι	Κινηματογράφηση	Βιντεοσκόπηση	Οπτοηλεκτρονικά συστήματα
Πλεονεκτήματα	<ul style="list-style-type: none"> Υψηλή συχνότητα δειγματοληψίας Υψηλή ακρίβεια 	<ul style="list-style-type: none"> Χαμηλό κόστος Δυνατότητα επανάληψης Εύκολη αποθήκευση δεδομένων Δυνατότητα 	<ul style="list-style-type: none"> Αυτόματη ψηφιοποίηση Αυτόματη ψηφιακή αναπαραγωγή της κίνησης Γρήγορη

		λήψης σε εξωτερικό χώρο	διαδικασία λήψης
Μειονεκτήματα	<ul style="list-style-type: none"> Υψηλό κόστος Χρονοβόρα διαδικασία Αδύνατη η αποθήκευση δεδομένων Αδύνατη η επανάληψη της κίνησης 	<ul style="list-style-type: none"> Σχετικά χαμηλή συχνότητα δειγματοληψίας Λάθη κατά την ψηφιοποίηση Χρονοβόρα διαδικασία ψηφιοποίησης Δυσκολίες στο συγχρονισμό μιας κάμερας σε σχέση με άλλη 	<ul style="list-style-type: none"> Υψηλό κόστος Μεγάλος χρόνος προετοιμασίας συστήματος και εξεταζόμενου Δυσκολία λήψης σε εξωτερικούς (αθλητικούς) χώρους
Άμεσες Μέθοδοι	Γωνιόμετρα	Επιταχυνσιόμετρα	
Πλεονεκτήματα	<ul style="list-style-type: none"> Χαμηλό κόστος Άμεση λήψη δεδομένων Εύκολη επεξεργασία Υψηλή συχνότητα δειγματοληψίας 	<ul style="list-style-type: none"> Χαμηλό κόστος Άμεση λήψη δεδομένων Υψηλή συχνότητα δειγματοληψίας 	
Μειονεκτήματα	<ul style="list-style-type: none"> Αφορούν μόνον αρθρώσεις Η κάλυψη όλων των αρθρώσεων του σώματος είναι πρακτικά αδύνατη Παρεμποδίζουν την κίνηση του σώματος Ατέλειες στην τοποθέτηση, με συνέπεια τη μειωμένη ακρίβεια μέτρησης Διαστρέβλωση σήματος από κίνηση του γωνιομέτρου Δεν παρέχουν τρισδιάστατα κινηματικά χαρακτηριστικά 	<ul style="list-style-type: none"> Παρεμποδίζουν την κίνηση Η κάλυψη όλων των μελών του σώματος είναι πρακτικά δύσκολη Ατέλειες στην τοποθέτησή τους αυξάνουν το σφάλμα μέτρησης Διαστρέβλωση σήματος λόγω της κίνησης Δυσκολία μέτρησης γωνιακών μεγεθών Δυσκολία εύρεσης της θέσης τους στο χώρο 	

Πίνακας 3.1: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των συστημάτων κινηματικής ανάλυσης.

3. Διαδικασία μέτρησης

Τα χαρακτηριστικά ενός πρωτοκόλλου μέτρησης και ανάλυσης των κινηματικών χαρακτηριστικών μιας κίνησης εξαρτώνται από τον τύπο του συστήματος το οποίο χρησιμοποιείται και ποικίλλουν, ανάλογα με τον κατασκευαστή. Στη συνέχεια, περιγράφονται τρεις χαρακτηριστικές περιπτώσεις μεθόδων κινηματικής ανάλυσης, δηλαδή η διεξαγωγή κινηματικής ανάλυσης με μια βιντεοκάμερα, τρισδιάστατης ανάλυσης με βιντεοκάμερες και τρισδιάστατης ανάλυσης με ένα σύγχρονο οπτοηλεκτρονικό σύστημα.

3.1. Δισδιάστατη ανάλυση με μια βιντεοκάμερα

Έστω ότι στη διάθεσή μας βρίσκεται μια κάμερα υψηλής συχνότητας, με συχνότητα δειγματοληψίας ίση ή μεγαλύτερη από 50 Hz. Η διαδικασία μέτρησης ακολουθεί τα εξής βήματα:

3.1.1. Βήμα 1: Προσδιορισμός του χώρου εκτέλεσης της κίνησης

Θα πρέπει να προσδιοριστεί ο απαραίτητος χώρος, για να εκτελεστεί η κίνηση και να τοποθετηθεί η κάμερα. Θα πρέπει, επίσης, ο χώρος να είναι κατάλληλα διαμορφωμένος με κατάλληλο φωτισμό, ώστε να συνεισφέρει στην καλύτερη λήψη της εικόνας.

3.1.2. Βήμα 2: Τοποθέτηση της κάμερας

Η κάμερα πρέπει να είναι σταθερή και να εστιάζει στο κέντρο του επιπέδου της κίνησης που καταγράφεται. Συνήθως, η κάμερα τοποθετείται σε έναν τρίποδα ή στερεώνεται στον τοίχο (Εικόνα 3.9). Η τοποθέτηση γίνεται κάθετα στο επίπεδο της κίνησης και σε μια αρκετά μεγάλη απόσταση από αυτό, ώστε να επιτυγχάνεται η λήψη ολόκληρης της κίνησης, αλλά και να μειώνεται το σφάλμα παράλλαξης το οποίο προκύπτει από τη διαγώνια μετατόπιση του ειδώλου από τον άξονα του φακού.



Εικόνα 3.9: Παράδειγμα τοποθέτησης βιντεοκάμερας υψηλής συχνότητας. Η κάμερα τοποθετείται κάθετα προς το επίπεδο μέτρησης και καθορισμένο ύψος, ώστε να γίνεται λήψη ολόκληρου του σώματος.

3.1.3. Βήμα 3: Ρύθμιση της κάμερας

Ορισμένοι κατασκευαστές επιτρέπουν στο χρήστη να προσδιορίσει την τιμή της συχνότητας δειγματοληψίας της κάμερας. Όσο υψηλότερη είναι η συχνότητα δειγματοληψίας τόσο περισσότερες εικόνες καταγράφονται το δευτερόλεπτο. Η αύξηση της συχνότητας δειγματοληψίας, όμως, πραγματοποιείται σε βάρος της διάστασης της περιοχής λήψης της κάμερας. Για παράδειγμα, μια κάμερα με συχνότητα δειγματοληψίας 50 Hz, καταγράφει βίντεο σε ψηφιακή μορφή με ανάλυση 1024 X 768 κουκκίδες. Εάν η συχνότητα δειγματοληψίας αυξηθεί στα 100 Hz, τότε η ανάλυση της ψηφιακής εικόνας μειώνεται στις 512 X 256 κουκκίδες.

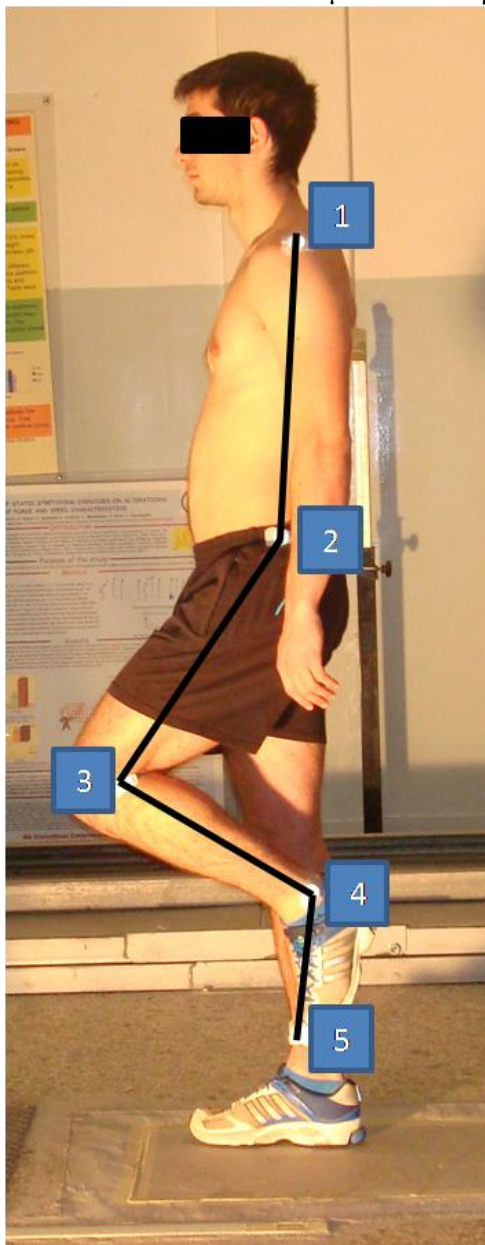
Μια άλλη παράμετρος είναι η ταχύτητα του διαφράγματος της κάμερας. Η ταχύτητα του διαφράγματος αναφέρεται στην ταχύτητα με την οποία «ανοίγει» ο φακός της κάμερας στο φως. Όσο πιο μεγάλη είναι η ταχύτητα, τόσο πιο πολύ «γρήγορα» ανοιγοκλείνει ο φακός και τόσο πιο ξεκάθαρη είναι η λήψη. Όσο πιο μεγάλη η ταχύτητα, τόσο πιο σκοτεινή γίνεται η εικόνα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, χρησιμοποιούνται ειδικοί λαμπτήρες φωτισμού, ώστε η εικόνα να είναι ευδιάκριτη και φωτεινή.

3.1.4. Βήμα 4: Προσδιορισμός του μοντέλου του σώματος

Ως μοντέλο νοείται το σύνολο των μελών του σώματος και τυχόν εξωτερικών οργάνων που συμμετέχουν στην εξεταζόμενη κίνηση. Για παράδειγμα, εάν η ανάλυση αναφέρεται στην κίνηση μόνον των κάτω άκρων, τότε το μοντέλο μπορεί να περιλαμβάνει τον κορμό, το μηρό, την κνήμη, και το πέλμα (μοντέλο τεσσάρων μελών). Εάν ληφθούν υπόψη και τα άνω άκρα, τότε το μοντέλο, πέρα από τα κάτω άκρα, περιλαμβάνει την άκρα χείρα, το αντιβράχιο και το βραχιόνιο οστό (μοντέλο οκτώ μελών).

Με βάση το μοντέλο που επιλέγεται, ορίζεται και ο αριθμός των ανακλαστήρων που θα τοποθετηθούν στον ασκούμενο. Στην απλούστερη μορφή της δισδιάστατης ανάλυσης κάθε μέλος αναπαρίσταται από δύο ανακλαστήρες, οι οποίοι τοποθετούνται στα άκρα του (Lundberg, 1996). Έτσι, για τον προσδιορισμό ενός μοντέλου τεσσάρων μελών απαιτούνται τουλάχιστον οκτώ ανακλαστήρες. Όταν τα μέλη συνδέονται μεταξύ τους, τότε το τελικό άκρο του ενός μέλους μπορεί ταυτόχρονα να θεωρηθεί ως το αρχικό άκρο του επόμενου μέλους. Για παράδειγμα, ένα μοντέλο τεσσάρων μελών το οποίο περιλαμβάνει τον κορμό, το μηρό, την κνήμη και το πέλμα, μπορεί να προσδιοριστεί χρησιμοποιώντας 5 ανακλαστήρες ως εξής (Εικόνα 3.10):

1. κορμός: στο ακρώμιο (No 1) και στο ισχίο (No 2),
2. μηρός: στο ισχίο και στο γόνατο (No 3),
3. κνήμη: στο γόνατο και στον αστράγαλο (No 4),
4. πέλμα: στον αστράγαλο και στην τελική φάλαγγα του 5^{ου} μεταταρσίου (No 5).



Εικόνα 3.10: Ανακλαστήρες για τον προσδιορισμό ενός μοντέλου τεσσάρων μελών.

3.1.5. Βήμα 5: Προετοιμασία εξεταζομένου

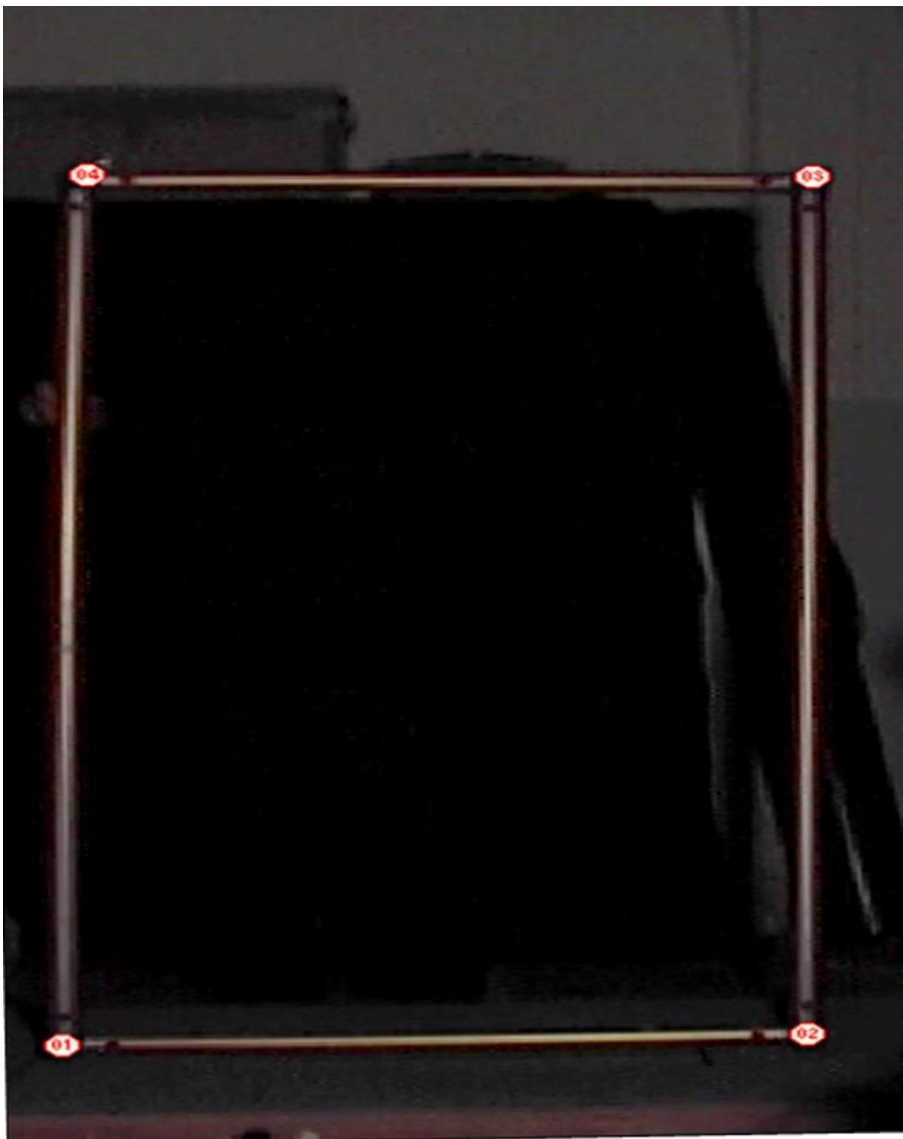
Ο εξεταζόμενος πρέπει να φορά παντελονάκι ή κατά προτίμηση εφαρμοστή φόρμα, σκούρου χρώματος. Τοποθετούνται ανακλαστήρες σε προκαθορισμένα σημεία του σώματος, ανάλογα με το μοντέλο που χρησιμοποιείται αλλά και το σκοπό της μέτρησης.

3.1.6. Βήμα 6: Βαθμονόμηση του χώρου

Πρόκειται για τη διαδικασία καθορισμού του πλαισίου αναφοράς. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται ένας κύβος ή πλαίσιο βαθμονόμησης. Πρόκειται για ένα πλαίσιο που κατασκευάζεται από ξύλο, αλουμίνιο ή άλλο υλικό και έχει, συνήθως, το σχήμα ορθογώνιου παραλληλόγραμμου. Το πλαίσιο έχει συγκεκριμένες διαστάσεις και φέρει στις γωνίες του ανακλαστήρες. Οι ανακλαστήρες ονομάζονται σημεία βαθμονόμησης και χρησιμοποιούνται για να οριστεί το σύστημα αναφοράς το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση της κίνησης (Εικόνα 3.11).

Το πλαίσιο τοποθετείται στο χώρο με ιδιαίτερη προσοχή, ώστε να καλύπτει ολόκληρο το χώρο μέσα στον οποίο πραγματοποιείται η κίνηση. Στη συνέχεια γίνεται λήψη της εικόνας από την κάμερα. Από τη στιγμή που γίνει η λήψη του πλαισίου αναφοράς, η θέση της κάμερας δεν αλλάζει.

Η ανάλυση της εικόνας του πλαισίου βαθμονόμησης αποτελεί το πρώτο βήμα της κινηματικής ανάλυσης. Συγκεκριμένα, όταν το πλαίσιο έχει τέσσερις γωνίες τότε έχει τέσσερα σημεία βαθμονόμησης. Το ένα από αυτά τα σημεία ορίζεται ως η αρχή των αξόνων $(0,0)$, ενώ τα υπόλοιπα έχουν τις συντεταγμένες με βάση την απόστασή τους από την αρχή των αξόνων. Για παράδειγμα, το πλαίσιο αναφοράς της εικόνας 3.11 έχει πλευρά ίση με 1 μ και ύψος 1.80μ. Συνεπώς, τα σημεία βαθμονόμησης θα είναι τα εξής: A $(0,0)$, B $(0,180)$ Γ $(100, 180)$ και Δ $(180, 0)$. Ο προσδιορισμός αυτών των σημείων καθιστά εφικτή την εύρεση των συντεταγμένων οποιοδήποτε σημείου στο βαθμονομημένο χώρο.



Εικόνα 3.11: Σημεία βαθμονόμησης πάνω σε ένα διδιάστατο πλαίσιο αναφοράς διαστάσεων 1.80 X 1.80 m.

3.1.7. Βήμα 7: Πραγματοποίηση της λήψης

Κατά τη φάση αυτή ελέγχεται, συνεχώς, η καταγεγραμμένη εικόνα, η θέση της κάμερας και ο φωτισμός. Η λήψη αποθηκεύεται σε ψηφιακή μορφή και είναι έτοιμη για ανάλυση.

3.2. Τρισδιάστατη ανάλυση με βιντεοκάμερες

Η κινηματική ανάλυση με μια κάμερα επιτρέπει την ανάλυση της κίνησης σε δύο διαστάσεις. Όταν το σύστημα κινηματικής ανάλυσης αποτελείται από δύο ή περισσότερες βιντεοκάμερες, είναι εφικτή η εύρεση των τρισδιάστατων συντεταγμένων των ανακλαστήρων.

Στην περίπτωση αυτή, η τοποθέτηση των καμερών στο χώρο καθορίζει και την εγκυρότητα των μετρήσεων. Συγκεκριμένα, όταν το σύστημα αποτελείται από δύο ή τρεις κάμερες, τότε οι κάμερες πρέπει να τοποθετηθούν με τέτοια διάταξη, ώστε οι οπτικοί τους άξονες να είναι κάθετοι μεταξύ τους ή να σχηματίζουν γωνίες από 60° έως 120°. Για παράδειγμα, η λήψη ενός διασκελισμού της βάδισης με τρεις κάμερες μπορεί να επιτευχθεί με μια κάμερα μπροστά, μια κάμερα πίσω και μια κάμερα πλάγια από τον εξεταζόμενο. Η αντίστοιχη διάταξη σε ένα σύστημα με δύο κάμερες περιλαμβάνει μια κάμερα τοποθετημένη πλάγια (και κάθετα) στο επίπεδο κίνησης και μια κάμερα από την πρόσθια πλευρά. Όσο ο αριθμός των καμερών αυξάνει, τόσο η θέση της κάθε κάμερας σε σχέση με τις άλλες έχει μικρότερη σημασία.

Ο ελάχιστος αριθμός καμερών που χρειάζεται για να πραγματοποιηθεί κινηματική ανάλυση σε τρεις διαστάσεις είναι δύο. Όμως, με δύο κάμερες είναι δύσκολο να μπορεί να καταγραφεί η θέση του σώματος σε όλους τους άξονες, επειδή κάποιος ανακλαστήρας μπορεί να μην είναι ευδιάκριτος εξαιτίας του είδους της κίνησης του μέλους (π.χ. στροφές των μελών) ή σε περίπτωση που η κίνηση λαμβάνει χώρα έξω από το βαθμονομημένο χώρο της κάμερας. Για το λόγο αυτό, τα συστήματα τρισδιάστατης ανάλυσης βασίζονται σε λήψεις από πολλές βιντεοκάμερες.

Όταν χρησιμοποιούμε ένα τρισδιάστατο σύστημα με πολλές βιντεοκάμερες είναι απαραίτητο οι κάμερες να είναι συγχρονισμένες μεταξύ τους (Darpena & Feltner, 1987). Ορισμένες βιντεοκάμερες έχουν τη δυνατότητα συγχρονισμού (genlock) μεταξύ τους, έτσι ώστε η καταγραφή να ξεκινά αυτόματα από όλες τις κάμερες. Αρκετοί τύποι κάμερας, όμως, δε διαθέτουν αυτήν την δυνατότητα. Στη περίπτωση αυτή, χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές όπως: α) η χρήση ειδικών διόδων εκπομπής φωτός (L.E.D) ή στροβοσκοπικού φωτός, τα οποία είναι ορατά από όλες τις κάμερες και ενεργοποιούνται από το χρήστη σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές κατά τη διάρκεια της κίνησης, β) η χρήση ενός στιγμιαίου σήματος ήχου το οποίο καταγράφεται ταυτόχρονα από όλες τις κάμερες κατά τη διάρκεια της κίνησης και γ) η ανεύρεση «κοινών» σημείων της κίνησης στα ήδη ληφθέντα (offline) αρχεία βίντεο από τις κάμερες και μετέπειτα η χρήση των σημείων αυτών για το συγχρονισμό των αρχείων της ψηφιακής εικόνας. Ο συγχρονισμός στην περίπτωση αυτή διεξάγεται μέσω της διαδικασίας της αριθμητικής παρεμβολής η οποία συνίσταται στη χρονική μεταβολή των εικόνων κάθε κάμερας, ώστε ένα διακριτό σημείο κατά την κίνηση να φαίνεται, ταυτόχρονα, σε όλες τις κάμερες. Η περίπτωση (γ) είναι η λιγότερο ακριβής και πρέπει να αποφεύγεται.

Στην τρισδιάστατη ανάλυση το πλαίσιο βαθμονόμησης χρησιμεύει για τη βαθμονόμηση του χώρου σε τρεις άξονες (Εικόνα 3.12). Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιείται μια κατασκευή σε σχήμα κύβου με γνωστές διαστάσεις, η οποία φέρει ένα ελάχιστο αριθμό 8 ανακλαστήρων (σημείων) βαθμονόμησης. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι παρόμοια με αυτήν της διςδιάστατης ανάλυσης.



Εικόνα 3. 12: Σημεία βαθμονόμησης πάνω σε ένα τρισδιάστατο πλαίσιο αναφοράς 1.80 X 1.80 X 1.80 m.

Για να είναι εφικτή η ανεύρεση των συντεταγμένων του ανακλαστήρα σε τρεις διαστάσεις θα πρέπει να συνδυαστούν οι δισδιάστατες συντεταγμένες της κάθε κάμερας με τις άλλες. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται η μαθηματική διαδικασία του άμεσου γραμμικού μετασχηματισμού (Direct Linear Transformation, DLT). Η μέθοδος DLT αναφέρεται σε ένα μαθηματικό αλγόριθμο μέσω του οποίου υπολογίζονται οι τρισδιάστατες συντεταγμένες οποιοδήποτε σημείου στο χώρο με βάση: α) τις συντεταγμένες τουλάχιστον έξι σημείων βαθμονόμησης και β) τις αντίστοιχες συντεταγμένες των ίδιων σημείων στην εικόνα που λαμβάνεται από κάθε κάμερα. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του υπολογισμού ειδικών συντελεστών DLT. Όσο περισσότερα σημεία βαθμονόμησης χρησιμοποιούνται, τόσο πιο ακριβής θα είναι η διαδικασία της DLT.

3.3. Τρισδιάστατη ανάλυση με οπτοηλεκτρονικά συστήματα

Στη τρισδιάστατη ανάλυση με οπτοηλεκτρονικά συστήματα, ο αριθμός των καμερών καθορίζει τις λεπτομέρειες και την ακρίβεια της κινηματικής ανάλυσης. Τα περισσότερα οπτοηλεκτρονικά συστήματα αφήνουν στο χρήστη να αποφασίσει πόσες κάμερες θα χρησιμοποιήσει.

Ένα βασικό οπτοηλεκτρονικό σύστημα αποτελείται από έξι κάμερες. Το σύστημα αυτό επιτρέπει την κινηματική ανάλυση των κινήσεων του σώματος σε όλα τα επίπεδα με υψηλή ακρίβεια. Όμως, ο αριθμός των καμερών δεν επαρκεί για να την καταγραφή πολύπλοκων κινήσεων των μελών του σώματος π.χ. της συνδυασμένης οριζόντιας απαγωγής και έξω στροφής του ώμου ή της προσαγωγής και έξω στροφής του ισχίου.

Για το λόγο αυτό, τα νέα συστήματα διαθέτουν και την «προχωρημένη» έκδοσή τους η οποία αποτελείται από 8 έως 24 κάμερες. Ένα πλεονέκτημα της χρήσης πολλών καμερών είναι ότι η ακριβής τοποθεσία και ο προσανατολισμός της κάθε κάμερας δεν είναι, πλέον, κρίσιμης σημασίας.

Η διαδικασία της τρισδιάστατης ανάλυσης συνδέεται στενά με τον τύπο και το λογισμικό του οπτοηλεκτρονικού συστήματος. Συνεπώς, είναι δύσκολο να παρουσιαστούν οι διαδικασίες μέτρησης για κάθε σύστημα ξεχωριστά. Στη συνέχεια παρουσιάζονται ορισμένες γενικές αρχές διεξαγωγής της μέτρησης οι οποίες ισχύουν για όλα τα συστήματα (Robertson, Caldwell, Hammill, Kamen, & Whittlesey, 2004).

3.3.1. Βήμα 1: Τοποθέτηση των καμερών στο χώρο

Οι κάμερες τοποθετούνται σε τέτοια διάταξη ώστε όλες να εστιάζουν σε ένα συγκεκριμένο χώρο, στον οποίο θα εκτελείται η κίνηση. Οι κάμερες τοποθετούνται σε τρίποδες ή στερεώνονται στον τοίχο.

3.3.2. Βήμα 2: Προσδιορισμός του μοντέλου του σώματος

Η διαδικασία είναι παρόμοια με αυτή που ακολουθείται κατά τη δισδιάστατη ανάλυση. Η διαφορά είναι ότι χρειάζεται ένας ελάχιστος αριθμός από τρεις μη-γραμμικά τοποθετημένους ανακλαστήρες για να οριστεί ένα μέλος του σώματος (Jensen, 1993). Ως μη-γραμμικά τοποθετημένοι είναι οι ανακλαστήρες που δεν τοποθετούνται κατά μήκος ενός μέλους στην ίδια ευθεία γραμμή.

Τα σύγχρονα συστήματα διαθέτουν προκατασκευασμένα μοντέλα και σημεία τοποθέτησης των ανακλαστήρων, κάτι που διευκολύνει πολύ την καθημερινή χρηστικότητα τους (Della Croce, Leardini, Chiari, & Carrozzo, 2005). Οι ανακλαστήρες έχουν τρεις συνηθισμένες μορφές: α) την «κλασική», όπου τοποθετούνται αυτοκόλλητα πάνω στο δέρμα β) τη χρήση μιας ελαφριάς (συνήθως πλαστικής) κατασκευής που φέρει ανακλαστήρες και προσδένεται πάνω στο δέρμα. Οι πλαστικές κατασκευές με πολλαπλούς ανακλαστήρες μειώνουν την κίνηση των ανακλαστήρων σε σχέση με το δέρμα και γ) τη χρήση ενός πλαστικού σωλήνα, ο οποίος φέρει στο άκρο του έναν ανακλαστήρα και προσδένεται στο μέλος, ενώ προεξέχει από το σώμα. Ο συγκεκριμένος τρόπος επιτρέπει τη βέλτιστη ποσοτικοποίηση της κίνησης στον επιμήκη άξονα.

3.3.3. Βήμα 3: Βαθμονόμηση του χώρου μέτρησης

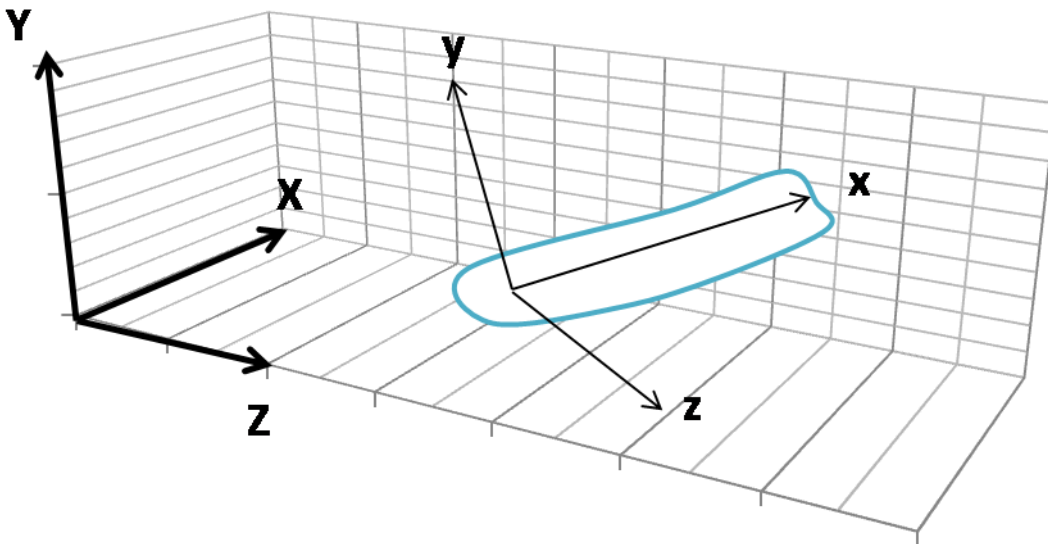
Η βαθμονόμηση διακρίνεται στη στατική και τη δυναμική. Κατά τη *στατική βαθμονόμηση*, ένα αντικείμενο τριγωνικού σχήματος το οποίο φέρει τρεις ανακλαστήρες τοποθετείται στο έδαφος. Η θέση του είναι τέτοια ώστε να είναι ορατό από όλες τις κάμερες και να βρίσκεται στο κέντρο του χώρου που πρόκειται να λάβει χώρα η μέτρηση. Αφού καταγραφεί το αντικείμενο αυτό για μερικά δευτερόλεπτα απ' όλες τις κάμερες, στη συνέχεια απομακρύνεται από το χώρο. Κατά τη *δυναμική βαθμονόμηση*, μία ράβδος με τρεις ανακλαστήρες επάνω της αιωρείται για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα (συνήθως 10-60 s) από τον εξεταστή προς όλες τις κατευθύνσεις του χώρου, όπου θα πραγματοποιηθεί η κίνηση και αφού καταγραφεί απ' όλες τις κάμερες, θα απομακρυνθεί από το χώρο.



Εικόνα 3.13: Τοποθέτηση ανακλαστήρων.

3.3.4. Βήμα 4: Προσδιορισμός του τοπικού συστήματος αναφοράς

Η βαθμονόμηση του χώρου βάσει του προαναφερόμενου πλαισίου αναφοράς ορίζει το γενικό σύστημα αναφοράς ως προς το οποίο εκφράζονται οι συντεταγμένες όλων των σημείων μέσα στο χώρο αυτό. Όμως, το σύστημα αυτό δεν επαρκεί για να περιγράψει την κίνηση ενός μέλους. Για τη μαθηματική περιγραφή της θέσης και της μετακίνησης ενός μέλους στον τρισδιάστατο χώρο χρησιμοποιείται ένα σύστημα συντεταγμένων, που έχει την αρχή του πάνω στο μέλος και το οποίο ονομάζεται *τοπικό σύστημα συντεταγμένων*. Το τοπικό σύστημα συντεταγμένων έχει ως αρχή ένα από τα άκρα (κεντρικό ή περιφερικό) ή το κέντρο μάζας του μέλους και, συνήθως, ευθυγραμμίζεται έτσι ώστε, όταν το άτομο βρίσκεται σε ανατομική θέση, τότε οι άξονές του να ταυτίζονται με τους άξονες του γενικού συστήματος αναφοράς (Εικόνα 3.14) (Levanon & Darpena, 1998·Wu & Cavanagh, 1995)



Εικόνα 3.14: Η θέση και η κίνηση ενός μέλους στον τρισδιάστατο χώρο εκφράζεται μέσα από τη σχέση ενός τοπικού συστήματος αναφοράς (xyz) ως προς το γενικό σύστημα αναφοράς (XYZ).

Για να μπορέσουμε να περιγράψουμε την κίνηση ενός μέλους στον τρισδιάστατο χώρο πρέπει πρώτα να προηγηθεί η διαδικασία της εύρεσης των συντεταγμένων των άκρων ή του κέντρου μάζας του και έπειτα να οριοθετηθεί το τοπικό σύστημα συντεταγμένων. Συνεπώς, η τοποθεσία των ανακλαστήρων πάνω στο κάθε μέλος προσδιορίζει και τον τρόπο με τον οποίο ορίζεται το τοπικό σύστημα αναφοράς (Εικόνα 3.13). Στη συνέχεια, η θέση του μέλους ανάγεται στη σχέση ανάμεσα στο τοπικό και στο γενικό σύστημα συντεταγμένων

(Εικόνα 3.14). Για παράδειγμα, εάν εξετάζεται η κίνηση των κάτω άκρων, η κίνηση των μελών απεικονίζεται μέσα από τη μεταβολή τριών τοπικών συστημάτων συντεταγμένων μέσα στο χώρο (δηλαδή, το γενικό σύστημα συντεταγμένων).

Για να επιτευχθεί η πλήρης περιγραφή της κίνησης ενός μέλους σε τρεις διαστάσεις, πρέπει να είναι γνωστή η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα σε κάθε άξονα του τοπικού συστήματος με τον αντίστοιχο άξονα του γενικού συστήματος αναφοράς. Η διαδικασία ορισμού του τοπικού συστήματος αναφοράς από τις συντεταγμένες των ανακλαστήρων ανάγεται σε πράξεις διανυσμάτων και μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τη θέση των ανακλαστήρων μεταξύ τους. Για αυτόν το λόγο κάθε οπτοηλεκτρονικό σύστημα προτείνει διάφορους τρόπους και σημεία τοποθέτησης των ανακλαστήρων πάνω στο σώμα. Εάν δεν ακολουθηθεί η προτεινόμενη διαδικασία από το χρήστη, τότε προφανώς οι υπολογισμοί θα είναι εσφαλμένοι (Della Croce et al., 2005-Leardini, Chiari, Della Croce, & Carrozzo, 2005). Στη συνέχεια, το κάθε τοπικό σύστημα συγχρονίζεται με το γενικό σύστημα αναφοράς με τη χρήση τρισδιάστατων συντεταγμένων των διανυσμάτων του τοπικού συστήματος αναφοράς. Η διαδικασία της μετακίνησης των μελών του σώματος ανάγεται σε γραμμική και περιστροφική μεταφορά των συστημάτων αναφοράς (Robertson et al., 2004).

3.3.5. Βήμα 5: Αντιστοίχιση των ανακλαστήρων με το επιλεγμένο μοντέλο του σώματος

Ο αθλητής εισέρχεται στο βαθμονομημένο χώρο φέροντας τους ανακλαστήρες και ακολουθεί μια λήψη της εικόνας του από όλες τις κάμερες (στατική προσπάθεια). Η διαδικασία αυτή επιτρέπει την αναγνώριση και ταύτιση των ανακλαστήρων με αυτούς που προσδιορίστηκαν από το μοντέλο, ενώ χρησιμεύει για τον ορισμό των μελών και των αρθρώσεων.

Η στατική προσπάθεια μπορεί να συνεισφέρει στη βέλτιστη μοντελοποίηση του σώματος. Για να συμβεί αυτό, ο ασκούμενος φέρει περισσότερους ανακλαστήρες κατά τη στατική προσπάθεια, οι οποίοι στη συνέχεια αφαιρούνται κατά τη διαδικασία της μέτρησης. Οι επιπλέον ανακλαστήρες είναι επιπρόσθετα σημεία βαθμονόμησης, τα οποία χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της θέσης του μέλους του σώματος, των κέντρων των αρθρώσεων, του κέντρου μάζας του μέλους αλλά και του τοπικού συστήματος αναφοράς. Ωστόσο, απαραίτητη προϋπόθεση για τη χρήση τους είναι να γνωρίζουμε τη θέση τους σε σχέση με τους ανακλαστήρες που παραμένουν τοποθετημένοι στο σώμα κατά την κυρίως μέτρηση.

3.3.6. Βήμα 6: Υπολογισμός των αρθρικών γωνιών

Οι γωνίες που σχηματίζονται ανάμεσα στα μέλη (δηλαδή, οι αρθρικές γωνίες) υπολογίζονται με τη χρήση μαθηματικών πράξεων και ειδικότερα με πίνακες. Οι μαθηματικές αυτές πράξεις καθιστούν εφικτό τον υπολογισμό των γωνιών ανάμεσα σε διαφορετικά τοπικά συστήματα αναφοράς. Υπάρχουν διάφορες μαθηματικές / γεωμετρικές τεχνικές υπολογισμού των γωνιών των αρθρώσεων, όπως οι γωνίες του Euler (Cardan / Euler), το αρθρικό γεωμετρικό σύστημα και το σύστημα του ελικοειδούς άξονα. Η τεχνική που χρησιμοποιείται εκτενώς είναι ο μετασχηματισμός των γωνιών του Euler (Baker, 2011). Πρόκειται για γωνίες που σχηματίζονται από την προβολή των διανυσμάτων του συστήματος συντεταγμένων του ενός μέλους πάνω στους άξονες του συστήματος συντεταγμένων ενός άλλου μέλους. Ο μετασχηματισμός πραγματοποιείται με πράξεις πινάκων 3×3 κατά τις οποίες τα συστήματα συντεταγμένων περιστρέφονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να βρεθούν οι ζητούμενες γωνίες. Από τη διαδικασία αυτή προκύπτουν εννέα (9) γωνίες, εκ των οποίων οι τρεις έχουν νόημα και χρησιμοποιούνται για περαιτέρω ανάλυση. Επειδή στις περισσότερες περιπτώσεις οι γωνίες μεταξύ των μελών εξάγονται αυτόματα από το λογισμικό πρόγραμμα του εκάστοτε συστήματος, απαιτείται ενδελεχής εξέταση των δεδομένων και επανέλεγχος μέχρι να διαπιστωθεί ότι οι συγκεκριμένες γωνίες ανήκουν σε συγκεκριμένες κινήσεις μιας άρθρωσης.

Ο έλεγχος της εγκυρότητας των τελικών μετρήσεων μπορεί να επιτευχθεί μέσω της λήψης επιπλέον σημείων με γνωστές συντεταγμένες και της σύγκρισής τους με τις συντεταγμένες των ίδιων σημείων, όπως υπολογίστηκαν μετά τη διαδικασία. Η διαδικασία αυτή πρέπει να επαναλαμβάνεται ανά τακτικά διαστήματα και ειδικότερα όταν μεταβάλλονται οι συνθήκες μέτρησης, όπως η θέση μιας κάμερας ή το μοντέλο που χρησιμοποιείται.

4. Σφάλματα μέτρησης

Σφάλματα τα οποία μπορούν να προκύψουν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας μέτρησης συνιστούν απειλή της εγκυρότητας των αποτελεσμάτων (Panjabi, Goel, & Walter, 1982). Τα συνηθισμένα σφάλματα μέτρησης, ανά είδος ανάλυσης, είναι τα ακόλουθα:

4.1. Σφάλματα κατά τη δισδιάστατη ανάλυση με μια κάμερα

1. Η κάμερα τοποθετείται πολύ κοντά στον αθλητή με αποτέλεσμα να αυξάνει το σφάλμα μέτρησης και ενδεχόμενα να μη γίνεται λήψη όλης της κίνησης.
2. Σε κινήσεις που είναι πολύ γρήγορες (π.χ. καρφί στην πετοσφαίριση), η κάμερα ρυθμίζεται σε χαμηλή συχνότητα δειγματοληψίας. Αυτό έχει ως συνέπεια να μην επαρκούν τα καρέ για την ανάλυση της κίνησης, αυξάνοντας σημαντικά το σφάλμα μέτρησης.
3. Όταν το άτομο κινείται σε επίπεδο που δεν είναι κάθετο προς την κάμερα, το μήκος των μελών φαίνεται διαφορετικό από τα πραγματικό. Το ίδιο μπορεί να συμβεί όταν ένα μέρος του σώματος, το αριστερό κάτω άκρο για παράδειγμα, βρίσκεται πιο κοντά στην κάμερα σε σχέση με το άλλο (δεξί άκρο).

4.2. Σφάλματα κατά την τρισδιάστατη ανάλυση

1. Τα λογισμικά προγράμματα σε όλα τα μοντέρνα συστήματα κινηματικής ανάλυσης παρέχουν δεδομένα για την πλήρη κίνηση του σώματος στο χώρο. Όταν οι κάμερες του συστήματος είναι λιγότερες από έξι, τότε τα δεδομένα για σύνθετες κινήσεις στο χώρο εμφανίζουν μειωμένη εγκυρότητα.

4.3. Σφάλματα κατά την ανάλυση με όλα τα συστήματα

1. Ο χώρος περιέχει πολλά έπιπλα και υλικά τα οποία αντανακλούν φως στην κάμερα, με αποτέλεσμα να είναι δύσκολος ο διαχωρισμός των ανακλαστών που φέρει ο αθλητής από τον υπόλοιπο χώρο.
2. Η κάμερα μετακινείται, αφού έχει γίνει η βαθμονόμηση του χώρου. Πρόκειται για βασικό μεθοδολογικό λάθος. Εφόσον η θέση της κάμερας αλλάζει, πρέπει να επαναληφθεί η διαδικασία βαθμονόμησης και μετά να ξεκινήσει η μέτρηση.
3. Ο εξεταζόμενος φορά ρούχα έντονου χρώματος με αποτέλεσμα να είναι δύσκολος ο διαχωρισμός των ανακλαστών από το υπόλοιπο σώμα.
4. Οι ανακλαστές δε στερεώνονται σωστά και αποκολλώνται κατά τη διαδικασία της μέτρησης. Όταν συμβεί αυτό, όλη η διαδικασία επαναλαμβάνεται.
5. Ο εξεταζόμενος εκτελεί την κίνηση έξω από το προκαθορισμένο βαθμονομημένο χώρο. Η διαδικασία πρέπει να επαναλαμβάνεται, διότι το σφάλμα μέτρησης είναι μεγάλο.
6. Οι ανακλαστές δεν είναι ευδιάκριτοι σε ορισμένα σημεία της κίνησης. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην κίνηση μελών του σώματος που καλύπτουν ορισμένους ανακλαστές ή σε ανεπαρκή φωτισμό του χώρου.
7. Επειδή οι ανακλαστές αντιπροσωπεύουν εσωτερικές ανατομικές δομές, πάντα υπάρχει ένα σφάλμα μέτρησης. Η σωστή τοποθέτηση των ανακλαστών θα καθορίσει και την ακρίβεια των τελικών υπολογισμών. Δεν επιτρέπεται, όμως, η καταγραφή της κίνησης χωρίς την τοποθέτηση ανακλαστών. Να σημειωθεί ότι καταβάλλεται προσπάθεια για την επίτευξη κινηματικής ανάλυσης χωρίς τη χρήση ανακλαστών, η οποία, όμως, ακόμη δεν είναι ευρέως διαδεδομένη.

5. Ανάλυση και παρουσίαση δεδομένων

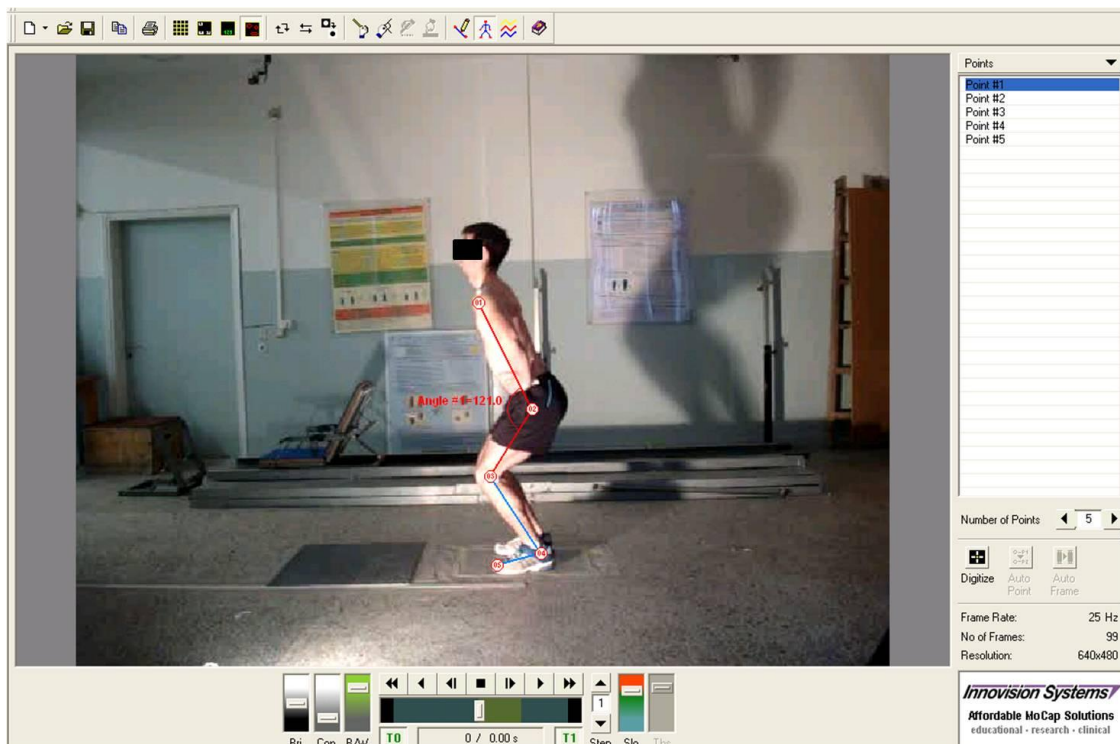
Η διαδικασία ανάλυσης των δεδομένων εξαρτάται από το σύστημα καταγραφής και τις δυνατότητες του λογισμικού προγράμματος το οποίο χρησιμοποιείται. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η ανάλυση με μια συγκεκριμένη σειρά διαδικασιών, χωρίς, όμως, να σημαίνει ότι η σειρά των βημάτων δεν μπορεί να αλλάξει (Bartlett, 1997·Robertson et al., 2004).

Στην περίπτωση της «παραδοσιακής» ανάλυσης με βιντεοκάμερες, μετά την αποθήκευση των δεδομένων σε ψηφιακή μορφή, χρησιμοποιείται ειδικό λογισμικό επεξεργασίας και υπολογισμού των κινηματικών δεδομένων. Σε κάθε ψηφιακό αρχείο βίντεο, απομονώνεται η κίνηση που πρόκειται να αναλυθεί. Το πρώτο βήμα της ανάλυσης είναι να καθοριστεί το πλαίσιο αναφοράς. Ο καθορισμός του συστήματος αναφοράς γίνεται μέσω της αναπαραγωγής της εικόνας του πλαισίου αναφοράς που ελήφθη στην αρχή της μέτρησης και του ορισμού των συντεταγμένων που ορίζουν το πλαίσιο αυτό.

Το δεύτερο βήμα αφορά τον ορισμό των σημείων (ανακλαστών) που πρόκειται να ψηφιοποιηθούν. Ο καθορισμός των συνδέσεων μεταξύ των ανακλαστών γίνεται μέσω της δημιουργίας ενός μοντέλου του ανθρώπινου σώματος το οποίο επιτρέπει στη συνέχεια την αναπαραγωγή της εικόνας του σώματος του αθλη-

τή, με βάση τις συντεταγμένες των ανακλαστήρων. Ο χρήστης ορίζει το μοντέλο των μελών που θέλει να χρησιμοποιήσει, το οποίο περιλαμβάνει τον αριθμό των μελών και αρθρώσεων, τον αριθμό των ανακλαστήρων που ορίζουν τα διάφορα μέλη, ειδικότερα διάφορα ανθρωπομετρικά στοιχεία, όπως η μάζα και το ύψος του σώματος καθώς και οι αρθρώσεις του σώματος. Στην απλούστερη μορφή κινηματικής ανάλυσης, για τον καθορισμό ενός μέλους απαιτούνται τουλάχιστον δύο ανακλαστήρες, ενώ για τις αρθρικές γωνίες, τουλάχιστον τρεις ανακλαστήρες.

Στη συνέχεια ακολουθεί η διαδικασία της ψηφιοποίησης (Εικόνα 3.15). Με αφητηρία το πρώτο καρτέ, ο χρήστης ψηφιοποιεί τους ανακλαστήρες και συνεχίζει την ίδια διαδικασία μέχρι το τελευταίο καρτέ. Η διαδικασία αυτή γίνεται είτε χειροκίνητα από το χρήστη είτε αυτόματα από το λογισμικό. Η αυτόματη διαδικασία ψηφιοποίησης έχει ως προϋπόθεση οι ανακλαστήρες να είναι ευδιάκριτοι σε όλη τη διάρκεια μιας βιντεοσκοπημένης κίνησης. Παρά τους προχωρημένους αλγόριθμους επεξεργασίας της ψηφιακής εικόνας, η αυτοματοποιημένη ψηφιοποίηση είναι, σχεδόν, πάντα ανέφικτη. Αυτό παραμένει ένα σημαντικό μειονέκτημα της βιντεοσκόπησης.

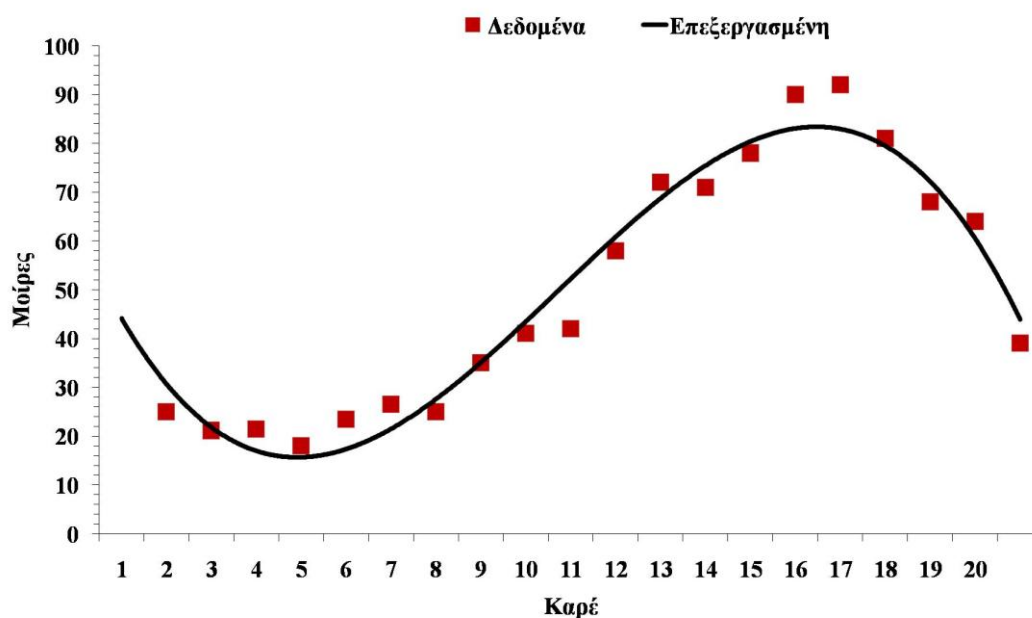


Εικόνα 3.15: Διαδικασία της ψηφιοποίησης. Με ειδικό λογισμικό αναγνωρίζονται τα σημεία των ανακλαστήρων σε κάθε καρτέ του ψηφιακού αρχείου.

Τα παραπάνω βήματα (μερικές φορές με διαφορετική σειρά) ακολουθούνται και όταν χρησιμοποιείται ένα σύγχρονο τρισδιάστατο οπτοηλεκτρονικό σύστημα. Η κύρια διαφορά με τη βιντεοσκόπηση είναι ότι η διαδικασία της ψηφιακής αποθήκευσης και της ψηφιοποίησης γίνεται αυτόματα. Πρέπει, ωστόσο, να επισημανθεί ότι παρά την ταχεία επεξεργασία των δεδομένων, ο χρόνος προετοιμασίας για να πραγματοποιηθεί η τρισδιάστατη ανάλυση είναι πολύ μεγαλύτερος.

Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία της ψηφιοποίησης ακολουθεί αυτή της εξομάλυνσης (φιλτραρίσματος) των δεδομένων. Συγκεκριμένα, τυχόν λάθη κατά τη διάρκεια της ψηφιοποίησης, όπως η μετακίνηση των ανακλαστήρων, μπορούν να οδηγήσουν σε μια μεταβλητότητα της κίνησης κάθε ανακλαστήρα (Panjabi et al., 1982). Για το σκοπό αυτό, εφαρμόζονται διάφορες ψηφιακές τεχνικές εξομάλυνσης των δεδομένων, που αποκτούν τις συχνότητες εκείνες του σήματος οι οποίες θεωρείται ότι δεν οφείλονται στην κίνηση αυτή (Εικόνα 3.16). Υπάρχουν διάφορα τέτοια φίλτρα, όπως τα ψηφιακά (Butterworth ή Fourier) ή τα φίλτρα splines. Για τις πιο συνηθισμένες αθλητικές κινήσεις χρησιμοποιείται το φίλτρο Butterworth. Στην περίπτωση αυτή ο χρήστης πρέπει να ορίσει τη συχνότητα στην οποία το φίλτρο θα αποκόψει το σήμα (συχνότητα αποκοπής). Οι περισσότερες αθλητικές κινήσεις παρουσιάζουν μια συχνότητα που κυμαίνεται από 4 έως και 10 Hz, με μια μέση τιμή ίση με 6Hz (Winter, 1979). Εάν η κίνηση είναι αργή, τότε η συχνότητα αποκοπής μπορεί να οριστεί στα 4 ή 5 Hz, ενώ για πολύ γρήγορες κινήσεις μπορεί να φτάσει στα 7-8 Hz. Ορισμένα λογισμικά

προγράμματα επιτρέπουν στο χρήστη να «δοκιμάσει» φίλτρα με διαφορετικές συχνότητες αποκοπής και μετά να επιλέξει τη συχνότητα στην οποία το σφάλμα μέτρησης είναι μικρότερο. Επίσης, ο χρήστης μπορεί να κάνει μια ανάλυση συχνοτήτων του σήματος της κίνησης που μελετά, για να μπορέσει να εξετάσει το εύρος του σήματος της κίνησης και έπειτα να αποφασίσει ευκολότερα ποια συχνότητα αποκοπής θα επιλέξει. Το σφάλμα μέτρησης προκύπτει από τη σύγκριση της διαφοράς ανάμεσα στο φιλτραρισμένο και το αρχικό (αφιλτράριστο) σήμα με την τυπική απόκλιση που προκύπτει από επαναλαμβανόμενη ψηφιοποίηση του ίδιου ανακλαστήρα. Εναλλακτικά, χρησιμοποιείται η ανάλυση λαθών βάσει της οποίας υπολογίζεται η διαφορά ανάμεσα στο φιλτραρισμένο και το αρχικό σήμα (σφάλμα μέτρησης) με τη χρήση διαφόρων συχνοτήτων αποκοπής. Στη συνέχεια, εξετάζεται γραφικά η σχέση ανάμεσα στη συχνότητα αποκοπής και το σφάλμα μέτρησης και επιλέγεται εκείνη η συχνότητα μετά την οποία το σφάλμα μέτρησης αρχίζει και μειώνεται. Τονίζεται, όμως, ότι ακόμη και στην περίπτωση αυτή, η τελική επιλογή είναι υποκειμενική.

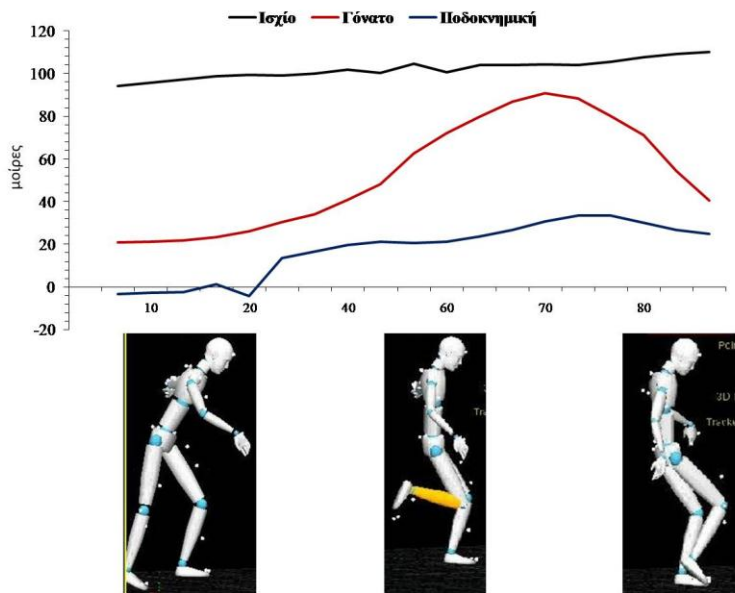


Εικόνα 3.16: Παράδειγμα εξομάλυνσης κινηματικών δεδομένων. Η εξομάλυνση πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της κυβικής περιόδους παρεμβολής (cubic splines interpolation).

Μετά την ολοκλήρωση των παραπάνω διαδικασιών, γίνεται ο υπολογισμός των κινηματικών δεδομένων. Ο τρόπος ανάλυσης των δεδομένων διακρίνεται ως προς το είδος των μεταβλητών αλλά και τον τρόπο παρουσιάσής τους. Όσον αφορά το είδος των μεταβλητών, η ανάλυση περιλαμβάνει (Εικόνα 3.17):

- τις γραμμικές μετατοπίσεις, ταχύτητες και επιταχύνσεις συγκεκριμένων ανακλαστήρων,
- τις γωνιακές μετατοπίσεις, ταχύτητες και επιταχύνσεις μελών του σώματος,
- τις γωνιακές μετατοπίσεις, ταχύτητες και επιταχύνσεις των αρθρώσεων,
- τη μετατόπιση, ταχύτητα και επιτάχυνση του κέντρου μάζας του σώματος ή ενός μέλους.

Στη δισδιάστατη ανάλυση, οι γραμμικές μετατοπίσεις υπολογίζονται στον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα, ενώ οι αρθρικές μετατοπίσεις (ανάλογα με τη θέση της κάμερας) αναφέρονται σε κίνηση της άρθρωσης ως προς έναν άξονα (π.χ. κάμψη – έκταση). Στην τρισδιάστατη ανάλυση, υπολογίζονται οι γραμμικές μετατοπίσεις και στους τρεις άξονες, ενώ οι γωνιακές μετατοπίσεις αφορούν όλους τους άξονες (π.χ. κάμψη – έκταση, απαγωγή – προσαγωγή, έσω – έξω στροφή).

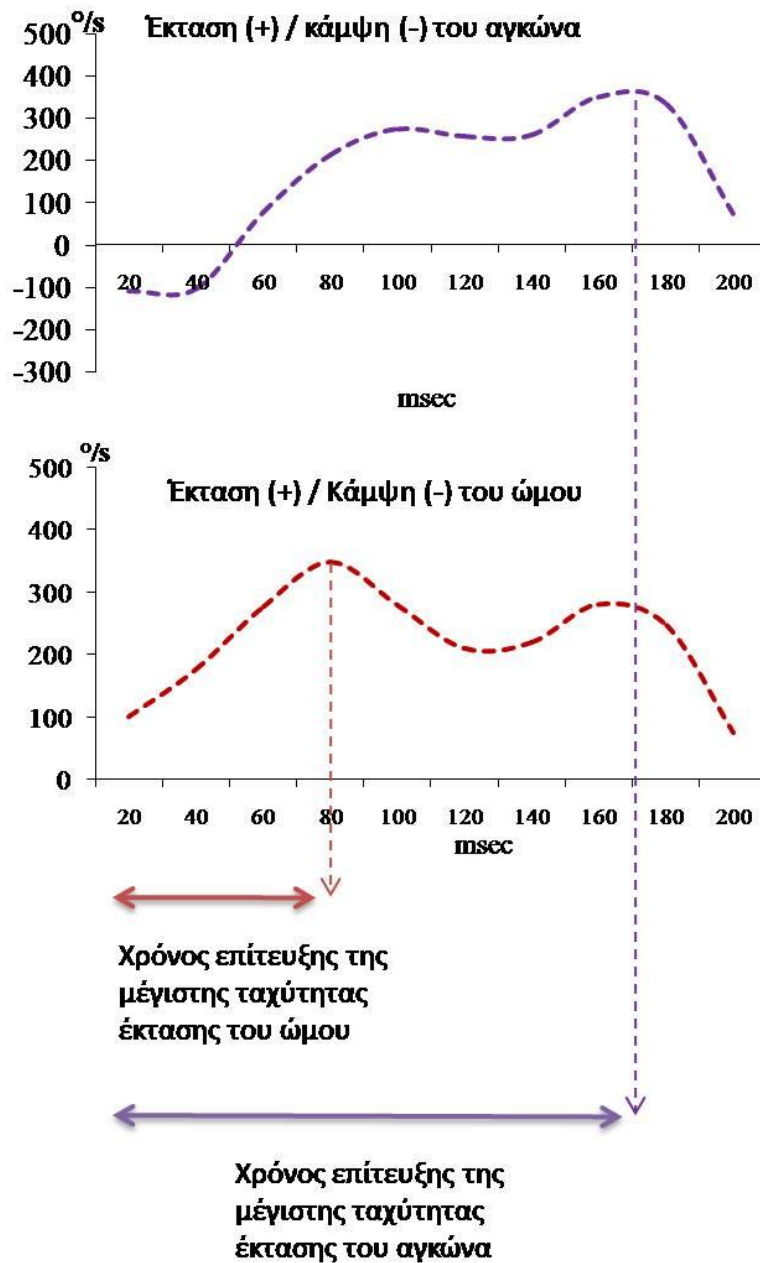


Εικόνα 3. 17: Παράδειγμα γωνιακής μετατόπισης των αρθρώσεων του ισχίου, του γόνατος και της ποδοκνημικής κατά το λάκτισμα στο ποδόσφαιρο.

5.1. Τρόποι παρουσίασης κινηματικών δεδομένων

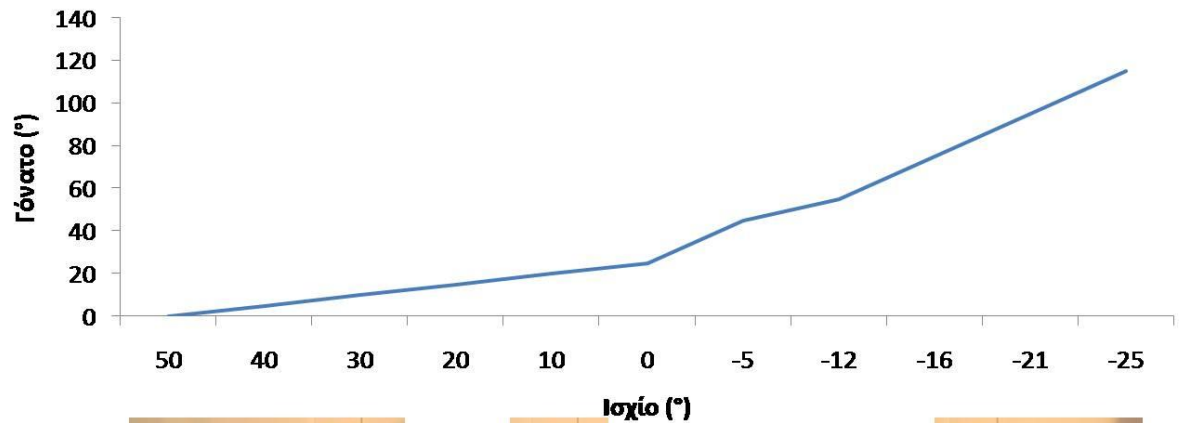
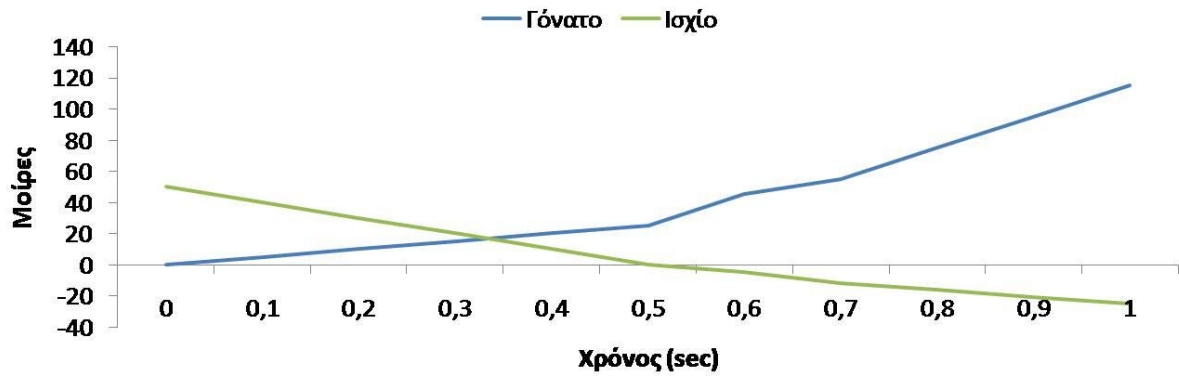
Υπάρχουν διάφοροι τρόποι παρουσίασης και ανάλυσης των κινηματικών χαρακτηριστικών. Συγκεκριμένα, η καθεμία από τις παραπάνω μεταβλητές, συνήθως, παρουσιάζεται σε σχέση με τη χρονική διάρκεια της κίνησης (Εικόνα 3.18). Όμως, επειδή ο χρόνος εκτέλεσης της κίνησης διαφέρει από άτομο σε άτομο, πολλές φορές τα κινηματικά χαρακτηριστικά εκφράζονται ως ποσοστό της χρονικής διάρκειας της κίνησης ή ως ποσοστό, ανά φάση της κίνησης. Πέρα από τα γραφήματα ως προς το χρόνο πολλές φορές εστιάζουμε στην επίτευξη συγκεκριμένων τιμών κατά τη διάρκεια της κίνησης όπως:

- η μέγιστη τιμή κατά τη διάρκεια της κίνησης ή μιας φάσης αυτής,
- η ελάχιστη τιμή κατά τη διάρκεια της κίνησης ή μιας φάσης αυτής,
- ο χρόνος επίτευξης της μέγιστης ή της ελάχιστης τιμής,
- η διάρκεια κάθε φάσης και ολόκληρης της κίνησης (χρονική ανάλυση).

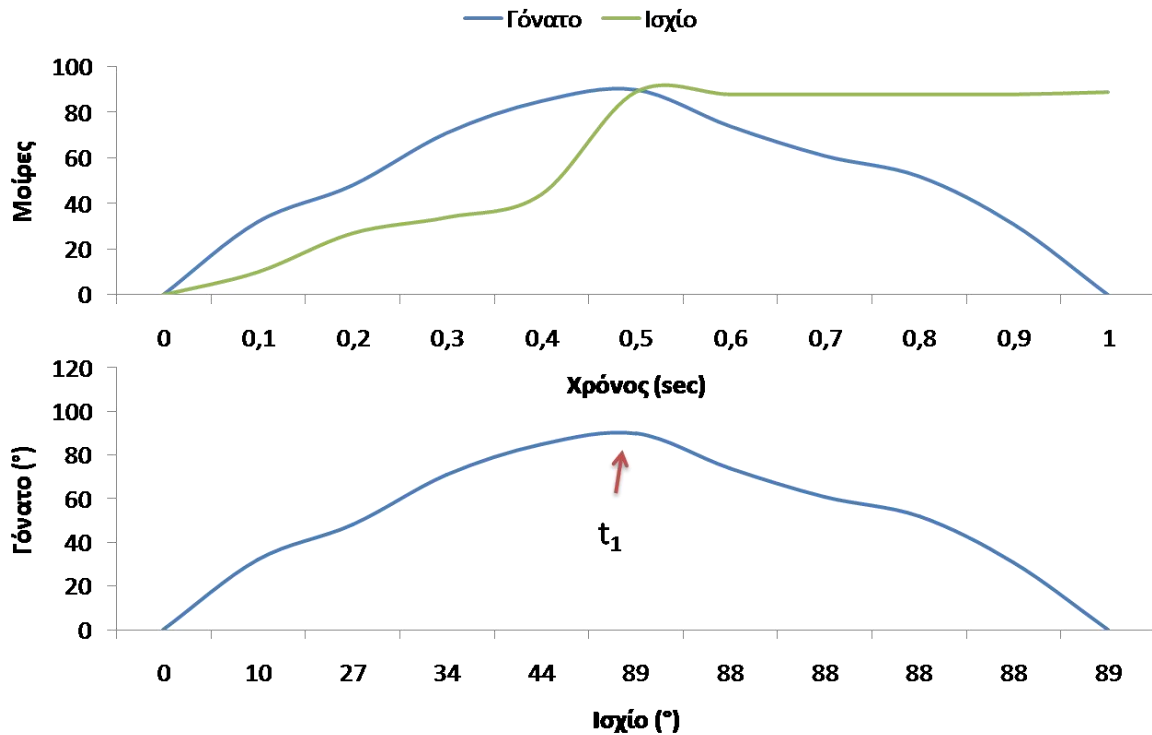


Εικόνα 3.18: Παράδειγμα χρονικής ανάλυσης κατά την εκτέλεση του σουτ στην καλαθοσφαίριση. Από τα γραφήματα της γωνιακής ταχύτητας ώμου – χρόνου και γωνιακής ταχύτητας της άρθρωσης του αγκώνα – χρόνου προσδιορίζεται ο χρόνος επίτευξης της μέγιστης ταχύτητας της κάθε άρθρωσης.

Μια άλλη χρήσιμη μορφή παρουσίασης των δεδομένων είναι τα διαγράμματα γωνίας - γωνίας (Bartlett, 1997). Συγκεκριμένα, στα διαγράμματα αυτά απεικονίζεται η σχέση ανάμεσα στη γωνία μιας άρθρωσης σε σχέση με την αντίστοιχη μιας άλλης άρθρωσης, κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της κίνησης. Οι πληροφορίες που παρέχουν αυτά τα διαγράμματα είναι ιδιαίτερα σημαντικές για την κατανόηση της συναρμογής της κίνησης των αρθρώσεων. Για παράδειγμα, εάν η αύξηση της γωνιακής θέσης του γόνατος είναι ανάλογη της αύξησης της γωνιακής θέσης του ισχίου, τότε η σχέση τους θα απεικονίζεται ως μια ευθεία γραμμή (Εικόνα 3.19). Αντίθετα, όταν η μείωση της γωνίας του γόνατος συνοδεύεται από παράλληλη αύξηση της γωνίας του ισχίου, τότε η σχέση θα είναι γραμμική αλλά με αντίθετη κλίση. Στις περισσότερες περιπτώσεις, όμως, οι σχέσεις ανάμεσα στις γωνιακές μετατοπίσεις δύο αρθρώσεων δεν είναι απόλυτα γραμμικές. Για παράδειγμα, μπορεί στην έναρξη μιας κίνησης, και οι δύο γωνίες να αυξάνονται γραμμικά (π.χ. το ισχίο και το γόνατο κάμπτονται), ενώ στο δεύτερο μέρος της κίνησης, η μία γωνία να μειώνεται περισσότερο από την άλλη (Εικόνα 3.20).



Εικόνα 3.19: Πάνω γράφημα: Γωνία της άρθρωσης του γονάτου και του ισχίου ως προς το χρόνο. Στην αφετηρία, το άτομο βρίσκεται στην όρθια θέση με το γόνατο σε πλήρη έκταση (γωνία = 0°) και το ισχίο σε κάμψη = 50° . Από τη θέση αυτή το άτομο εκτείνει το ισχίο και κάμπτει σταδιακά το γόνατο. Κάτω γράφημα: Γράφημα απεικόνισης της κίνησης της άρθρωσης του γονάτου (κατακόρυφος άξονας) ως προς την κίνηση της άρθρωσης του ισχίου (οριζόντιος άξονας). Η άρθρωση του ισχίου εκτείνεται, ενώ η άρθρωση του γονάτου κάμπτεται.



Εικόνα 3.20: Πάνω γράφημα: Η γωνία της άρθρωσης του γονάτου και του ισχίου ως προς το χρόνο. Στην αφετηρία, το άτομο βρίσκεται στην όρθια θέση και η γωνία του γονάτου και του ισχίου είναι ίσες με 0° . Από τη θέση αυτή, το άτομο εκτελεί κάμψη του ισχίου και του γονάτου μέχρι το χρονικό σημείο t_1 . Από το χρονικό σημείο t_1 και μέχρι το πέρας της κίνησης το άτομο αρχίζει να εκτείνει το γόνατο, ενώ το ισχίο παραμένει σε κάμψη ($\sim 90^\circ$). **Κάτω γράφημα:** Γράφημα απεικόνισης της κίνησης της άρθρωσης του γονάτου (κατακόρυφος άξονας) ως προς την κίνηση της άρθρωσης του ισχίου (οριζόντιος άξονας). Φαίνεται ξεκάθαρα ότι στο χρονικό σημείο t_1 το ισχίο βρίσκεται σε κάμψη 88° , ενώ το γόνατο σε κάμψη 90° . Από το σημείο αυτό το ισχίο συνεχίζει να κάμπτεται, ενώ το γόνατο εκτείνεται.

Βιβλιογραφία

- Baker, R. (2011). Globographic visualisation of three dimensional joint angles. *Journal of Biomechanics*, 44(10), 1885-1891. doi: S0021-9290(11)00351-4 [pii] 10.1016/j.jbiomech.2011.04.031
- Bartlett, R. (1997). *Introduction to Sports Biomechanics*. London: Taylor and Francis.
- Dapena, J., & Feltner, M. (1987). Effects of wind and altitude on the times of 100-meter sprint races. *International Journal of Sport Biomechanics*, 3, 6-39.
- Della Croce, U., Leardini, A., Chiari, L., & Cappozzo, A. (2005). Human movement analysis using stereophotogrammetry. Part 4: assessment of anatomical landmark misplacement and its effects on joint kinematics. *Gait and Posture*, 21(2), 226-237. doi: S0966-6362(04)00078-5 [pii] 10.1016/j.gaitpost.2004.05.003
- Jensen, R. K. (1993). Human morphology: its role in the mechanics of movement. *Journal of Biomechanics*, 26 Suppl 1, 81-94.
- Leardini, A., Chiari, L., Della Croce, U., & Cappozzo, A. (2005). Human movement analysis using stereophotogrammetry. Part 3. Soft tissue artifact assessment and compensation. *Gait and Posture*, 21(2), 212-225. doi: S0966-6362(04)00077-3 [pii] 10.1016/j.gaitpost.2004.05.002
- Levanon, J., & Dapena, J. (1998). Comparison of the kinematics of the full-instep and pass kicks in soccer. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30, 917-927.
- Lundberg, A. (1996). On the use of bone and skin markers in kinematics research. *Human Movement Science*, 15, 411-422.
- Morris, J. (1973). Accelerometry - a technique for the measurement of human body movements. *Journal of Biomechanics*, 6, 729-736.
- Panjabi, M. M., Goel, V. K., & Walter, S. D. (1982). Errors in kinematic parameters of a planar joint: Guidelines for optimal experimental design. *Journal of Biomechanics*, 15(7), 537-544.
- Robertson, D. G., Caldwell, C. A., Hammill, J., Kamen, G., & Whittlesey, S. N. (2004). *Research methods in biomechanics*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Tesio, L., Monzani, M., Gatti, R., & Franchignoni, F. (1995). Flexible electrogoniometers: kinesiological advantages with respect to potentiometric goniometers. *Clinical Biomechanics*, 10(5), 275-277. doi: 026800339500017F [pii]
- Winter, D. A. (1979). *Biomechanics of Human Movement*. New York: John Wiley & Sons.
- Wu, G., & Cavanagh, P. (1995). ISB Recommendations for standardization in the reporting of kinematic data. *Journal of Biomechanics*, 28, 1257-1261.
- Zatsiorski, V. (1998). *Kinematics of Human Motion*. Champaign, IL: Human Kinetics.

Κριτήρια αξιολόγησης

Κριτήριο αξιολόγησης 1

Άσκηση 1: Ένας ερευνητής θέλει να εξετάσει τη φάση στήριξης ενός άλτη του μήκους με τη χρήση βιντεοκάμερας. Έστω ότι η κάμερα διαθέτει τη δυνατότητα ρύθμισης της συχνότητας δειγματοληψίας και προσφέρει τρεις επιλογές: 60 Hz, 120 Hz και 200 Hz. Εξηγήστε πώς θα επηρεαστεί η ανάλυση της κίνησης, εάν επιλεγεί η καθεμία από τις συχνότητες δειγματοληψίας, για να γίνει η λήψη. Ποια συχνότητα δειγματοληψίας θα πρέπει να επιλέξει ο ερευνητής;

Απάντηση 1

Όσο πιο υψηλή είναι η συχνότητα δειγματοληψίας τόσο περισσότερες εικόνες καταγράφονται στη μονάδα του χρόνου. Επειδή η φάση του πατήματος του άλτη διαρκεί ελάχιστο χρόνο, η συχνότητα δειγματοληψίας θα πρέπει να είναι όσο υψηλή γίνεται, δηλαδή (200 Hz). Εάν επιλεγούν οι πιο χαμηλές συχνότητες, όπως αυτή των 60 Hz, ο αριθμός των εικόνων που θα είναι διαθέσιμος για ανάλυση θα είναι περιορισμένος και δε θα αντικατοπτρίζει την κίνηση.

Άσκηση 2: Αναφέρετε τρεις βασικές διαφορές μεταξύ της δισδιάστατης και της τρισδιάστατης ανάλυσης με κάμερες.

Απάντηση 2

Η τρισδιάστατη χρησιμοποιεί, τουλάχιστον, δύο κάμερες, ενώ η δισδιάστατη μια κάμερα. Η τρισδιάστατη απαιτεί τοποθέτηση και συγχρονισμό των καμερών μεταξύ τους, κάτι που δε συμβαίνει στη δισδιάστατη. Η τρισδιάστατη εξάγει τις τρισδιάστατες συντεταγμένες μέσω του άμεσου γραμμικού μετασχηματισμού, ενώ η δισδιάστατη εξάγει μόνο δισδιάστατες συντεταγμένες.

Κριτήριο αξιολόγησης 2

Άσκηση 3: Ποια η διαφορά του τρισδιάστατου από το δισδιάστατο σύστημα αναφοράς;

Απάντηση 3

Στο δισδιάστατο σύστημα αναφοράς η θέση ενός σημείου προσδιορίζεται στο επίπεδο (τρεις συντεταγμένες). Στο τρισδιάστατο σύστημα αναφοράς προσδιορίζεται στο χώρο (τρεις συντεταγμένες).

Κριτήριο αξιολόγησης 3

Άσκηση 4: Πόσοι ανακλαστήρες απαιτούνται για να επιτευχθεί η δισδιάστατη κινηματική ανάλυση ενός μοντέλου μηρού – κνήμης- πέλματος;

Απάντηση 4

Απαιτούνται δύο ανακλαστήρες ανά μέλος. Επειδή στα απλά μοντέλα οι ανακλαστήρες τοποθετούνται στις αρθρώσεις και τα συγκεκριμένα μέλη είναι διαδοχικά, οι ανακλαστήρες μπορούν να είναι 5.

Άσκηση 5: Ποια σφάλματα μπορούν να προκύψουν κατά την κινηματική ανάλυση από τη μη σωστή χρήση των ανακλαστήρων;

Απάντηση 5

Η μη σωστή χρήση των ανακλαστήρων θα οδηγήσει σε λαθεμένη αναπαράσταση ενός ή περισσότερων μελών του σώματος με αποτέλεσμα τον εσφαλμένο υπολογισμό των κινηματικών δεδομένων.

Κριτήριο αξιολόγησης 4

Άσκηση 6: Έστω ότι εργάζεστε σε ένα εργομετρικό κέντρο και θέλετε να μελετήσετε την κίνηση της άρθρωσης του ώμου ενός παιδιού που πετά μια μπάλα με το χέρι προς τα μπροστά. Να αναφέρετε τι είδους σύστημα θα χρησιμοποιήσετε για την ανάλυση 1) της κάμψης – έκτασης των αρθρώσεων 2) της στροφής των αρθρώσεων.

Απάντηση 6

Για τη μελέτη της κάμψης – έκτασης των αρθρώσεων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα δισδιάστατο σύστημα με μια βιντεοκάμερα. Για τη μελέτη της στροφής των αρθρώσεων είναι απαραίτητο ένα οπτοηλεκτρονικό σύστημα με έξι κάμερες.

Άσκηση 7: Έστω ότι αναλύεται η κίνηση της ρίψης του ακοντίου ενός αθλητή με ένα οπτοηλεκτρονικό σύστημα. Τι πληροφορίες θα περιλάμβανε η αναφορά που θα δίνετε στον αθλητή και του προπονητή;

Απάντηση 7

Η αναφορά θα περιλάμβανε τη χρονική διάρκεια της κίνησης, το εύρος κίνησης των αρθρώσεων, τη μέγιστη ταχύτητα των αρθρώσεων, τη γωνία και ταχύτητα απελευθέρωσης του ακοντίου, καθώς και το χρόνο επίτευξης της μέγιστης γωνιακής ταχύτητας των αρθρώσεων ή μελών του σώματος.

Επιλέξτε τη σωστή απάντηση:

Άσκηση 8: Στην κινηματική ανάλυση, η ψηφιοποίηση είναι η διαδικασία της αναγνώρισης:

1. των ανακλαστήρων
2. των μελών του σώματος
3. των αρθρώσεων του σώματος
4. των μελών και αρθρώσεων του σώματος

Απάντηση 8

1

Άσκηση 9: Η ανάλυση με κάμερα εμφανίζει σφάλμα όταν:

1. Η κάμερα διαθέτει μικρή συχνότητα δειγματοληψίας
2. Η κάμερα τοποθετηθεί πολύ μακριά από τον αθλητή
3. Η κάμερα τοποθετηθεί πολύ κοντά στον αθλητή
4. Η κάμερα τοποθετηθεί κάθετα στον αθλητή

Απάντηση 9

3

Άσκηση 10: Ο αριθμός και η θέση των ανακλαστήρων προσδιορίζονται από:

1. Το σκοπό της εξέτασης
2. Το μοντέλο που χρησιμοποιείται
3. Τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά του ατόμου
4. Το σύστημα που χρησιμοποιείται

Απάντηση 10

2

Άσκηση 11: Η διαβάθμιση του χώρου στην κινηματική ανάλυση έχει σκοπό να:

1. Ορίσει το χώρο εξέτασης
2. Ορίσει το μοντέλο εξέτασης
3. Ορίσει το γενικό σύστημα αναφοράς
4. Ορίσει το τοπικό σύστημα αναφοράς

Απάντηση 11

2

Άσκηση 12: Η πλήρης περιγραφή της κίνησης ενός μέλους σε τρεις διαστάσεις είναι εφικτή, όταν είναι γνωστή:

1. Η γωνία ανάμεσα στα τοπικά συστήματα αναφοράς
2. Η γωνία ανάμεσα στα γενικά συστήματα αναφοράς
3. Η γωνία ανάμεσα στα γενικά και τα τοπικά συστήματα αναφοράς
4. Όλα τα παραπάνω

Απάντηση 12

3

Άσκηση 13: Η καταγραφή του χτυπήματος στην πετοσφαίριση με κάμερες απαιτεί συχνότητα δειγματοληψίας:

1. Μικρότερη από 30 Hz (σήμα τηλεόρασης)
2. Μεγαλύτερη από 30 Hz
3. Μικρότερη από 100 Hz
4. Όλα τα παραπάνω

Απάντηση 13

2

Άσκηση 14: Η γωνιομέτρηση, συνήθως, ενδείκνυται σε:

1. Εξέταση σύνθετων αθλητικών κινήσεων
2. Εξέταση απλών αρθρικών κινήσεων
3. Έμμεση λήψη δεδομένων
4. Εξέταση αργών κινήσεων

Απάντηση 14

2

Ασκηση 15: Τα οπτοηλεκτρονικά συστήματα ανάλυσης της κίνησης βασίζονται στην:

1. Καταγραφή της κίνησης με μία κάμερα
2. Καταγραφή της κίνησης με πολλές βιντεοκάμερες
3. Καταγραφή της κίνησης ανακλαστήρων με κάμερες
4. Καταγραφή της κίνησης των μελών του σώματος με κάμερες

Απάντηση 15

3