



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ



Δυσδιάστατη κινηματική ανάλυση

Τσιόκανος Αθανάσιος, Επ. Καθηγητής Βιοκινητικής

Θέματα προς ανάλυση

- Αντικείμενο της κινηματικής ανάλυσης
- Καταγραφή της κίνησης
- Ψηφιοποίηση
- Υπολογισμός δεδομένων
- Η δυνατότητα ανάλυσης στο χώρο
- Βιντεογράφιση

Αντικείμενο της κινηματικής ανάλυσης

- Στη βιοκινητική χρησιμοποιούνται οι οπτικές μέθοδοι μέτρησης για ποιοτική και ποσοτική ανάλυση της κίνησης.
- Ως κινηματική ανάλυση εννοούμε τον καθορισμό των συντεταγμένων θέσης επιλεγμένων σημείων του σώματος (ή του αναλυόμενου αντικειμένου) σε τακτά χρονικά διαστήματα για καταγραφή και περιγραφή της κίνησης στο επίπεδο (2-D) ή στο χώρο (3-D). Ο καθορισμός των συντεταγμένων των επιλεγμένων σημείων γίνεται με βάση ένα σύστημα αναφοράς στο χώρο της κίνησης.
- Τα κινηματικά χαρακτηριστικά που ορίζονται είναι η γραμμική μετατόπιση, ταχύτητα και επιτάχυνση, καθώς και η γωνιακή μετατόπιση, ταχύτητα και επιτάχυνση.

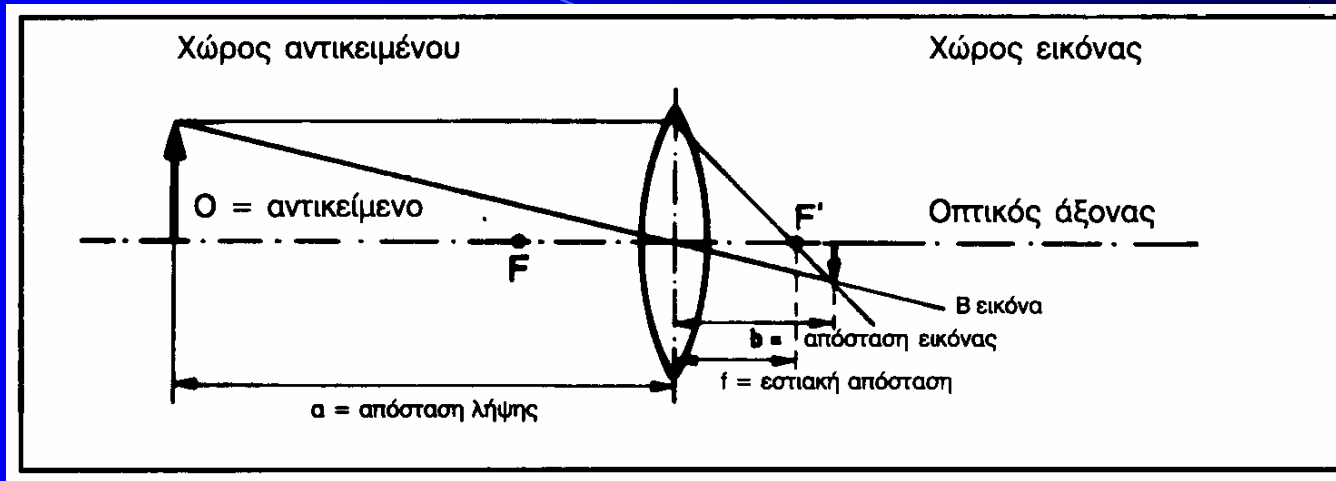
Αντικείμενο της κινηματικής ανάλυσης

- Η κινηματική ανάλυση μπορεί να πραγματοποιηθεί με τρεις μεθόδους μέτρησης:
- Κινηματογράφηση (κινηματογραφικές κάμερες υψηλής συχνότητας)
- Ανάλυση με βίντεο
- Οπτοηλεκτρονικά μέσα (αυτόματα ηλεκτρονικά συστήματα αναγνώρισης σημείων, που βασίζονται στην αναγνώριση της ειδικής συχνότητας εκπομπής κάποιου χρώματος, ή στην αναγνώριση της ειδικής συχνότητας εκπομπής κάποιου ηλεκτρικού σήματος από κάποιο ηλεκτρονικό όργανο).
- Η ανάλυση της κίνησης περιλαμβάνει:
 - 1. την καταγραφή της κίνησης
 - 2. την ψηφιοποίηση
 - 3. τον υπολογισμό των δεδομένων

Καταγραφή της κίνησης

- Κατά τη δυσδιάστατη ανάλυση, η κίνηση καταγράφεται με μια μηχανή λήψης, που συνήθως τοποθετείται κάθετα στο επίπεδο εξέλιξης της κίνησης.
- Ταχύτητα λήψης
- Ταχύτητα λήψης ή συχνότητα δειγματοληψίας είναι ο αριθμός των εικόνων ανά δευτερόλεπτο (fr/s, Hz).
- Η ταχύτητα δειγματοληψίας θα πρέπει να είναι τουλάχιστο διπλάσια από τη φυσική συχνότητα της κίνησης, για να αποφεύγεται το πρόβλημα παλινδρόμησης της κίνησης (οπτική απάτη της αντίθετης κίνησης ενός περιστρεφόμενου τροχού). Η μέγιστη συχνότητα που παρατηρείται στο βάδισμα είναι περίπου 10 Hz, ενώ στο τρέξιμο γύρω στα 50 Hz.
- Η ταχύτητα λήψης στις βιντεοκάμερες μπορεί να διπλασιαστεί διαιρώντας την κάθε εικόνα σε δύο ξεχωριστά πεδία.

Καταγραφή της κίνησης (Φακοί)



- Οι φωτεινές ακτίνες από το καταγραφόμενο αντικείμενο εισέρχονται στο φακό της μηχανής λήψης ο οποίος τις συγκλίνει προς ένα σημείο που λέγεται εστιακό κέντρο. Στη συνέχεια οι ακτίνες αποκλίνουν και καταλήγουν στην επιφάνεια του μέσου καταγραφής (βιντεοταινία, φιλμ) όπου σχηματίζεται το είδωλο του αντικειμένου αναστραμένο.

- Η απόσταση του εστιακού κέντρου του φακού από το επίπεδο του κέντρου καταγραφής λέγεται εστιακή απόσταση (ευρυγώνιοι φακοί- μικρή εστιακή απόσταση π.χ. 28 mm, απλοί-μέση εστιακή απόσταση π.χ. 50mm, τηλεφακοί- μεγάλη εστιακή απόσταση π.χ. > 10 mm).

Καταγραφή της κίνησης (Φακοί)

- Η διαδικασία ρύθμισης του φακού σε σχέση με την απόσταση του ειδώλου, ώστε αυτό να καταγράφεται καθαρά, λέγεται εστίαση του φακού.
- Για σωστή καταγραφή του αντικειμένου μεγάλη σημασία έχει η ποσότητα του φωτός στο οποίο θα εκτεθεί το μέσο καταγραφής (η ποσότητα αυτή καθορίζεται από την τιμή του διαφράγματος του φωτός). Η λειτουργία του διαφράγματος είναι ίδια με αυτή της ίριδας του ματιού. Ανοιχτό διάφραγμα χρησιμοποιείται όταν ο φωτισμός δεν έχει μεγάλη ένταση και μικρό όταν έχει μεγάλη ένταση (τιμές διαφράγματος: 22, 16, 11, 8, 5.6, 4, 2.8, 2).
- Για την καθαρότητα της εικόνας σημαντικός είναι και ο ρόλος του χρόνου έκθεσης του μέσου καταγραφής στο φως για κάθε εικόνα (ταχύτητα του φωτοφράκτη). Ο φωτοφράκτης ανοίγοντας και κλείνοντας με μεγάλη ταχύτητα επιτρέπει να περάσει φως στο σκοτεινό θάλαμο της κάμερας μόνο για προκαθορισμένο χρονικό διάστημα. Η μεγάλη ταχύτητα του φωτοφράκτη επιτρέπει το πάγωμα της κίνησης για να ξεχωρίζουν τα σημεία που ενδιαφέρουν (ελάχιστη ταχύτητα 1/500 sec, ενώ για γρήγορες κινήσεις 1/1000 sec).

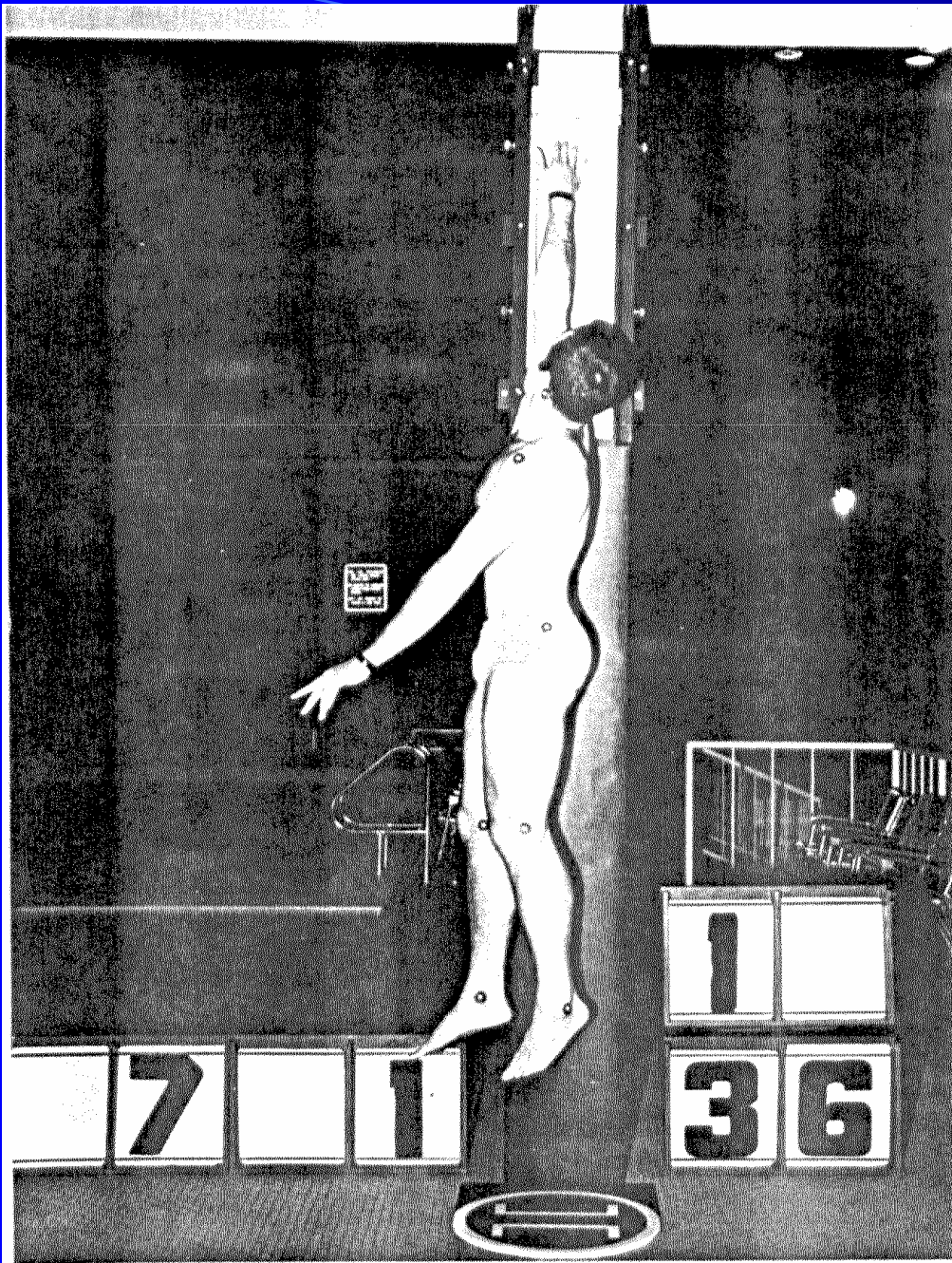
Καταγραφή της κίνησης (Φωτισμός)

- Απαιτούνται καλές συνθήκες φωτισμού,.
- Στους εσωτερικούς χώρους είναι απαραίτητος ο τεχνητός φωτισμός (προβολείς).
- Οι προβολείς πρέπει να εκπέμπουν διάχυτο φως υπό γωνία στο επίπεδο της κίνησης (το καλύτερο γωνία 30° με το επίπεδο της κίνησης).
- Όταν χρησιμοποιούνται αυτοκόλλητοι ανακλαστήρες, για να είναι περισσότερο ευδιάκριτοι πρέπει ο φωτισμός να είναι υπό γωνία 60° και ο περιβάλλον χώρος σκοτεινός.

Ψηφιοποίηση

- Είναι μια διαδικασία που ακολουθείται για τον καθορισμό των συντεταγμένων επιλεγμένων σημείων του σώματος για κάθε χρονική στιγμή (για καθεμιά εικόνα).
- Ένα σύστημα ψηφιοποίησης περιλαμβάνει τον ψηφιοποιητή, τη μηχανή προβολής και την οθόνη προβολής. Στην περίπτωση του βίντεο αυτό θα πρέπει να είναι συνδεδεμένο με έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή (προβολή της εικόνας στην οθόνη), ενώ η σύνδεση γίνεται με μια κάρτα (frame-grapper) για τη σύλληψη της εικόνας από τον υπολογιστή.
- Το βίντεο προβολής θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα «παγώματος» της εικόνας και αναπαραγωγή της εικόνας σε αργή ταχύτητα χωρίς να τρεμοπαίζει η εικόνα.
- Η ψηφιοποίηση των επιλεγμένων σημείων του σώματος γίνεται στην οθόνη προβολής.
- Τα επιλεγμένα αυτά ανατομικά σημεία συνήθως είναι τα κέντρα των αρθρώσεων (οριακά σημεία του κάθε μέλους).
- Η μετατροπή των εικονικών συντεταγμένων των σημείων του ειδώλου σε πραγματικές γίνονται μέσω της μεθόδου του άμεσου γραμμικού μετασχηματισμού (Direct Linear Transformation - DLT).

Ψηφιοποίηση



- Η ψηφιοποίηση των εικόνων γίνεται με τον προσδιορισμό επιλεγμένων σημείων του αντικειμένου και μάλιστα εικόνα προς εικόνα στο σύστημα συντεταγμένων της απεικόνισης.

Υπολογισμός δεδομένων (εξομάλυνση)

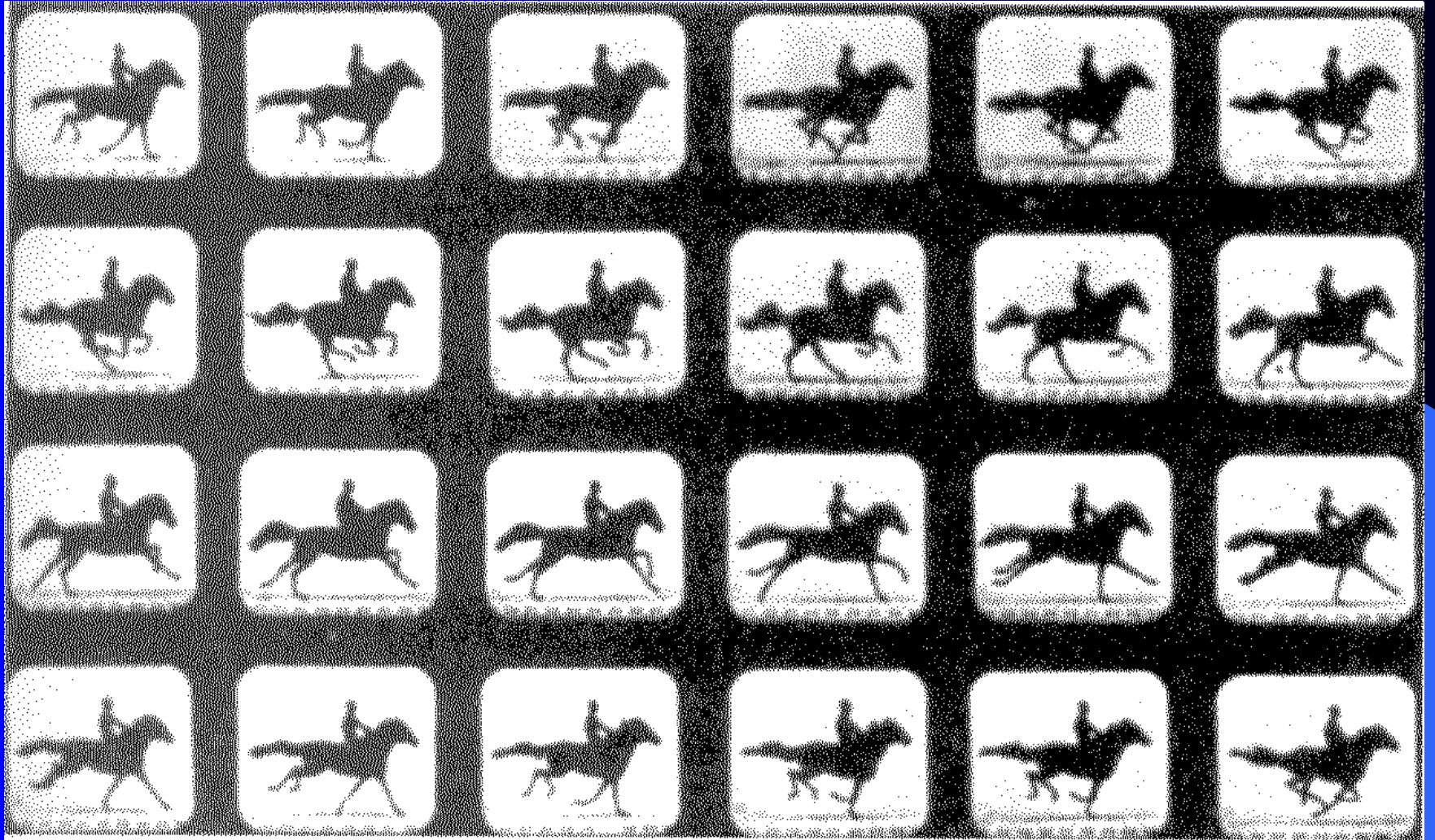
- Για τη μείωση των σφαλμάτων στον υπολογισμό των συντεταγμένων των σημείων (και ιδιαίτερα στον υπολογισμό της πρώτης και της δεύτερης χρονοπαραγώγου της μετατόπισης των σημείων) χρησιμοποιείται η διαδικασία της εξομάλυνσης.
- Η βάση της εξομάλυνσης είναι ότι η κίνηση των μελών του σώματος είναι συνεχόμενη, χωρίς απότομες μεταβολές, και ως συνεχόμενη κίνηση μπορεί να εκφραστεί με μια μαθηματική συνάρτηση.
- Οι συχνότερα χρησιμοποιούμενες μέθοδοι είναι:
 1. *Ελάχιστα τετράγωνα με πολυώνυμα $n^{\text{ου}}$ βαθμού (polynomial)*
 2. *Τμηματικά πολυώνυμα τρίτου ή πέμπτου βαθμού (cubic splines, quintic splines)*
 3. *Σειρές Fourier*
 4. *Ψηφιακά κατωδιαβατά φίλτρα (Digital Filter), με επικρατέστερα τα Butterworth 2^{ου} βαθμού.*

Η δυνατότητα ανάλυσης στο χώρο

- Η δυνατότητα ανάλυσης στο χώρο εξαρτάται από τις οπτικές ιδιότητες της εικόνας, δηλαδή από την οπτική ποιότητα λήψης, από τη χημική στρωμάτωση του φιλμ, από την οπτική ποιότητα αναπαραγωγής και από τον αξιολογητή (ανθρώπινο μάτι ή φωτοηλεκτρικός μηχανισμός ψηλάφησης).
- Σύμφωνα με το υλικό του φιλμ και την επεξεργασία του, μπορεί η δυνατότητα ανάλυσης να κυμαίνεται από 50 μέχρι και 100 γραμμές ανά χιλιοστό. Αυτό σημαίνει ότι λεπτομέρειες, οι οποίες είναι μεταξύ τους απομακρυσμένες το λιγότερο $1/50$ μέχρι $1/100$ mm κατανοούνται ξεχωριστά πάνω στην εικόνα του φιλμ.
- Η κλίμακα της εικόνας δίνει τη δυνατότητα της μεταφοράς της ανάλυσης από την εικόνα στο πραγματικό αντικείμενο (αν για παράδειγμα ένα αντικείμενο 5 m απεικονίζεται πάνω στην εικόνα του φιλμ με ένα μήκος 10 mm, τότε το μέτρο της εικόνας είναι ίσο με $m = 1/500$).
- Μια υψηλή δυνατότητα ανάλυσης στο χώρο μπορεί να επιτευχθεί μέσω ενός μεγάλου μέτρου απεικόνισης, δηλαδή μια όσο το δυνατό μεγαλύτερη σχέση μεταξύ του μεγέθους της εικόνας και του αντικειμένου. Αυτό οδηγεί στην απαίτηση για μεγάλες αναπαραστάσεις αντικειμένων στην εικόνα και όσο το δυνατό μικρές αποστάσεις.

Η δυνατότητα ανάλυσης στο χώρο

- Η δυνατότητα ανάλυσης στο χρόνο εξαρτάται από τις χρονικές αποστάσεις των διαδοχικών εκθέσεων του φιλμ στο φως (συχνότητα εικόνας) και από τη διάρκεια έκθεσης στο φως σε κάθε επιμέρους λήψη.
- Όσο ψηλότερη είναι η συχνότητα της εικόνας τόσο μικρότερη είναι η χρονική απόσταση μεταξύ των εικόνων και τόσο ψηλότερη είναι η χρονική ανάλυση της κίνησης.
- Η ακρίβεια της σχέσης χώρου - χρόνου αυξάνει με τη μείωση της διάρκειας έκθεσης στο φως, η οποία αυξάνει και τη διαύγεια της κίνησης.
- Στη βιοκινητική των αθλητικών κινήσεων, οι συνηθέστερες συχνότητες βρίσκονται μεταξύ 50 και 200 εικόνες / δευτερόλεπτο. Οι χρόνοι έκθεσης του φωτός βρίσκονται, σε σχέση με τη μέγιστη ταχύτητα της κίνησης, μεταξύ 0,5 και 5 msec (1/2000 μέχρι 1/200 sec).



Βιντεογράφιση



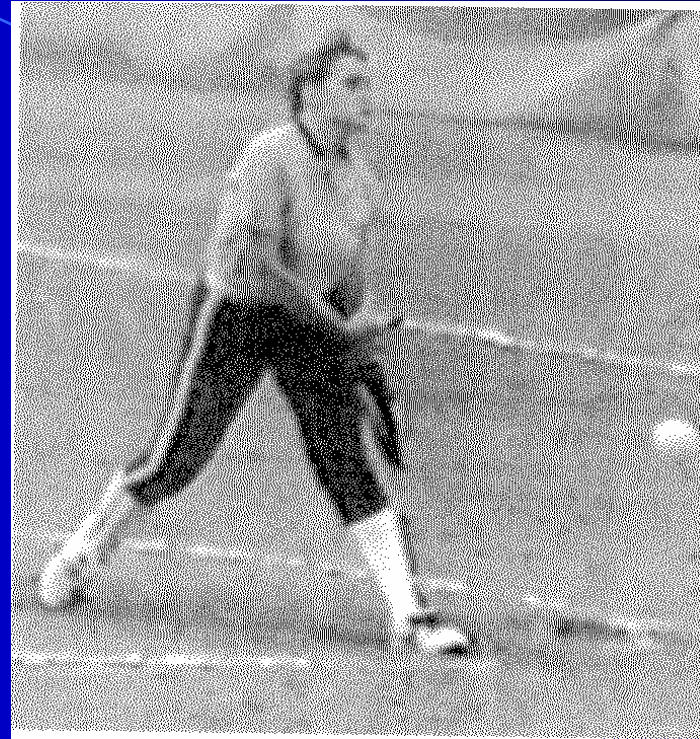
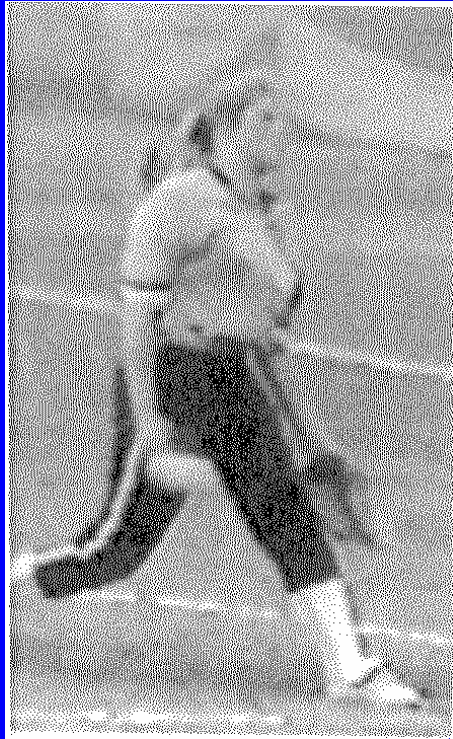
Βιντεογράφιση

- Στην περίπτωση του βίντεο υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης των τιμών πάνω στη μαγνητική ταινία, με πολύ μεγαλύτερη από την κινηματογράφιση ταχύτητα επεξεργασίας των δεδομένων.
- Οι συνηθισμένες μηχανές λήψης βίντεο εργάζονται με μια συχνότητα 25 εικ. / sec. Για να πετύχουμε μια καθαρή παρουσίαση της κίνησης προβάλλονται με τη γνωστή διαδικασία της εναλλαγής των γραμμών 50 μισές εικόνες / sec. Η διαδικασία αυτή πετυχαίνει μια φαινομενική μόνο αύξηση της συχνότητας.

Βιντεογράφιση

- Εκτός από τις συνηθισμένες μηχανές λήψης βίντεο αναπτύχθηκαν τα τελευταία χρόνια για ερευνητικούς σκοπούς μηχανές λήψης με υψηλές δυνατότητες ανάλυσης του χώρου (περισσότερες από 1000 γραμμές) και μηχανές λήψης (high speed video) με υψηλές δυνατότητες ανάλυσης του χρόνου (μέχρι 12000 εικ. / sec).
- Οι καινούργιες CCD κάμερες (Camcorder) ελαττώνουν ηλεκτρονικά το χρόνο έκθεσης στο φως στο $1/2000$ μέχρι $1/4000$ sec, αποτρέποντας έτσι τις γνωστές αδιαφάνειες της κίνησης, ενώ συγχρόνως προσφέρουν μια άριστη ποιότητα εικόνας.
- Τελευταία έχουν κυκλοφορήσει και ψηφιακές βιντεοκάμερες με μεγάλες δυνατότητες σε ευκρίνεια και σε συχνότητα εικόνας.

Βιντεογράφιση



- Το αίτιο της θολότητας της κίνησης είναι ο μεγάλος χρόνος έκθεσης στο φως, ο οποίος σε λυχνίες αποθήκευσης είναι ίσος με $1/25$ του δευτερολέπτου.
- Η ενοχλητική αυτή κατάσταση κατά την προβολή και αξιολόγηση των επιμέρους εικόνων είναι βελτιωμένη σε μια χρονικά σωστή παρουσίαση της κίνησης (όταν η συχνότητα λήψης είναι ίση με τη συχνότητα απόδοσης).

Βιβλιογραφία

- Κόλλιας Η. (1997). *Βιοκινητική της αθλητικής κίνησης*. Θεσσαλονίκη.
- Robertson G., Caldwell G., Hamill J., Kamen G., Whittlesey S. (2004). *Research Methods in Biomechanics*. Human Kinetics, Champaign, IL.
- Enoka R. (2002). *Neuromechanics of Human Movement*. Human Kinetics, Champaign, IL.
- Nigg B., Herzog W. (1999). *Biomechanics of Musculo-skeletal System*. John Wiley & Sons, West Sussex, England.