



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ**



**ΔΥΝΑΜΟΜΕΤΡΙΑ – ΔΥΝΑΜΟΔΑΠΕΔΑ**  
**ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ**  
(Δυναμικά χαρακτηριστικά σε υγιείς και παθολογικές καταστάσεις)

**Τσιόκανος Αθανάσιος, Επ. Καθηγητής Βιοκινητικής**

# Θέματα προς ανάλυση

- Γενικά περί δύναμης
- Σχέση δύναμης με τις παραμέτρους της κίνησης
- Στοιχεία δύναμης με ερευνητικό ενδιαφέρον
- Αξιολόγηση της δύναμης
- Όργανα μέτρησης
- Μετατροπείς πιεζοαντίστασης
- Πιεζοηλεκτρικοί μετατροπείς
- Δυναμοδάπεδο
- Δυνάμεις αντίδρασης του εδάφους (GRF)
- Κέντρο πίεσης
- GRF στο τρέξιμο
- GRF στο κατακόρυφο άλμα
- GRF στο βάδισμα
- GRF στο παθολογικό βάδισμα

# Γενικά περί δύναμης

- Η δύναμη διακρίνεται ως τεχνικό χαρακτηριστικό της κίνησης και ως ιδιότητα, ικανότητα του ανθρώπου. Η δύναμη του ανθρώπου μπορεί να προσδιοριστεί ως η ικανότητά του να υπερνικά εξωτερική αντίσταση ή να αντιστέκεται σ' αυτήν έχοντας ως βάση τη μυϊκή προσπάθεια.
- Στον αθλητισμό, στις περισσότερες κινήσεις δρουν συγχρόνως δυνάμεις βάρους, αδράνειας, παραμόρφωσης και τριβής. Γι αυτό η εξάρτηση της δύναμης από τα άλλα χαρακτηριστικά της κίνησης (διάστημα, ταχύτητα, επιτάχυνση) είναι συνήθως πολύπλοκη.
- Ο καλύτερος τρόπος προσδιορισμού της δύναμης είναι ναδειχθεί ο τρόπος μέτρησής της. Το επίπεδο των ικανοτήτων του ανθρώπου προσδιορίζεται με τη βοήθεια δυναμόμετρων ή κάποιων άλλων παρόμοιων μηχανημάτων που εφαρμόζονται στη μηχανική μέτρηση των δυνάμεων.

# Γενικά περί δύναμης

- Οι μύες μπορούν να εκδηλώνουν δύναμη :
- α) Χωρίς μεταβολή του μήκους τους (στατικές, ισομετρικές συνθήκες εργασίας)
- β) Με μείωση του μήκους τους (έργο υπερνίκησης, μειομετρικές συνθήκες)
- γ) Με επιμήκυνση (ανθιστάμενο έργο, πλειομετρικές συνθήκες).

# Σχέση της δύναμης με τις παραμέτρους της κίνησης

- Η σχέση της δύναμης με την ταχύτητα σε σειρά κινήσεων με διαφορετική επιβάρυνση εκφράζεται με τη “βασική εξίσωση της μυϊκής δυναμικής” (Hill, 1938):

$$(p+a) \cdot (v+b) = (p_0+a) \cdot b = k$$

- όπου :  $p$  είναι η εκδηλούμενη δύναμη,  $p_0$  η μέγιστη δύναμη,  $v$  η ταχύτητα και  $a, b, k$  είναι ατομικές σταθερές, σταθερές δηλαδή τιμές που χαρακτηρίζουν τους διάφορους αθλητές και τα δεδομένα που λαμβάνονται.
- Από την εξίσωση φαίνεται ότι μεταξύ της δύναμης και της ταχύτητας υπάρχει αντίστροφη αναλογία. Φαίνεται επίσης ότι οι τιμές της δύναμης και της ταχύτητας σε διαφορετική επιβάρυνση εξαρτώνται από τη μέγιστη δύναμη ( $p_0$ ) σε ισομετρικές συνθήκες.

# Σχέση της δύναμης με τις παραμέτρους της κίνησης

- Όταν η δύναμη εκφράζεται με τη ροπή, η ροπή που ο μυς μπορεί να αναπτύξει μειώνεται με την ταχύτητα μυϊκής συστολής (ταχύτητα της κίνησης). Η ροπή αυτή (μειομετρική συστολή) είναι μικρότερη μιας ροπής με μέγιστη ισομετρική συστολή, ενώ πάντα υπερέχει η ροπή της έκκεντρης συστολής, περίπου 1,5 ως 1,8 φορές μεγαλύτερη της μέγιστης ισομετρικής.

# Σχέση της δύναμης με τις παραμέτρους της κίνησης

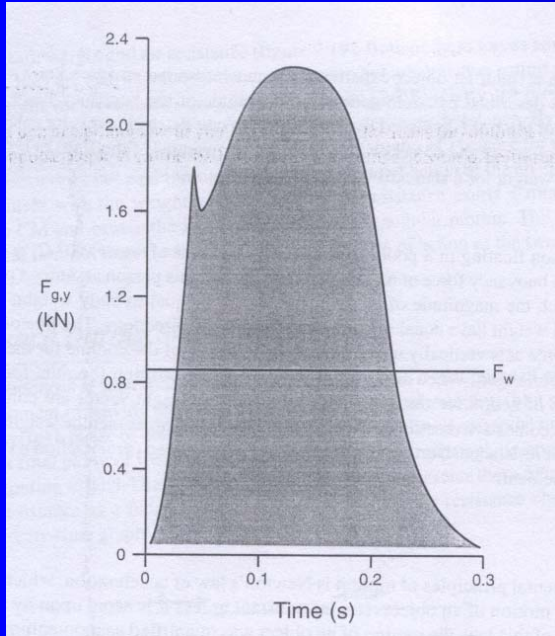
- Άλλος τρόπος χαρακτηρισμού της δυναμικής ικανότητας του μυός είναι η ικανότητά του για παραγωγή ισχύος (γινόμενο της δύναμης επί την ταχύτητα).
- Ένας μυς παράγει ισχύ όταν εκτελεί θετικό έργο (μειομετρικές συνθήκες) και απορροφά ισχύ όταν εκτελεί αρνητικό έργο (πλειομετρικές συνθήκες).
- Με την αύξηση της ταχύτητας οι τιμές της δύναμης μειώνονται, η συνολική ενέργεια (έργο + ενέργεια) αυξάνει, ενώ η μεγαλύτερη ισχύς επιτυγχάνεται στο  $1/3$  της δύναμης και  $1/3$  ή  $1/4$  της ταχύτητας.
- Γνωρίζοντας ότι η ισχύς είναι το γινόμενο της δύναμης επί την ταχύτητα, μεγέθη αντιστρόφως ανάλογα, και ότι η μέγιστη τιμή της ισχύος παρατηρείται στις βέλτιστες τιμές της δύναμης και της ταχύτητας, μπορούμε να πούμε ότι η μέγιστη ισχύς είναι το  $1/10$  εκείνης της πηγής που θα επιτυγχάνονταν αν γινόταν να εκδηλωθούν σε μια κίνηση η μεγαλύτερη δύναμη και η μεγαλύτερη ταχύτητα.

# Στοιχεία της δύναμης με ερευνητικό ενδιαφέρον

- **Μέγιστη δύναμη:** στιγμιαία μέγιστη ποσότητα δύναμης (κορυφή της καμπύλης της δύναμης). Μετριέται σε Newton ή Kp.
- **Χρόνος εφαρμογής** της δύναμης: ως συνολικός χρόνος εφαρμογής είτε ως κρίσιμες χρονικές στιγμές (στιγμή της μέγιστης δύναμης, της ελάχιστης, στιγμή του σημείου καμπής κλπ). Μετριέται σε sec.
- **Αντοχή στη δύναμη:** Η δυνατότητα του εξεταζόμενου να εφαρμόζει δύναμη κάποιας έντασης για κάποιο χρονικό διάστημα, συνεχόμενα ή σε επαναλήψεις.
- Στη συνεχόμενη προσπάθεια ο χρόνος σταματά να μετράει όταν η ποσότητα της καταβαλλόμενης δύναμης γίνεται μικρότερη από την προκαθορισμένη.
- Στην περίπτωση της εφαρμογής της δύναμης με επαναλήψεις ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης δίνεται από μετρονόμο. Οι επαναλήψεις σταματούν όταν η καταβαλλόμενη δύναμη γίνει μικρότερη από την προκαθορισμένη (π.χ. 50% της μέγιστης).



# Στοιχεία της δύναμης με ερευνητικό ενδιαφέρον



$$\int_{t_1}^{t_2} F dt = \Delta G$$

$$\sum F t = \Delta m v \text{ or } \bar{F} \cdot t = \Delta m v$$

- **Ωθηση δύναμης:** Στην καμπύλη δύναμης-χρόνου υπολογίζεται ως το ολοκλήρωμα της δύναμης. Μετριέται σε Newton.sec (N.S).
- Είναι ο δείκτης που συνδέει την εφαρμοζόμενη δύναμη με την ταχύτητα που αυτή αποδίδει στην κινούμενη μάζα.

# Στοιχεία της δύναμης με ερευνητικό ενδιαφέρον

- **Ρυθμός ανάπτυξης της δύναμης (ΡΑΔ):** δείχνει πόσο γρήγορα αναπτύσσεται η δύναμη ή η ροπή δύναμης μέσα στο χρόνο. Είναι η πρώτη χρονοπαράγωγος της δύναμης. Μετριέται σε N/s, και σε N.m/s για τη ροπή.
- **Ισχύς (μέση ή στιγμιαία):** το γινόμενο της δύναμης επί την ταχύτητα που προσδίδει στην κινούμενη μάζα.

# Αξιολόγηση της δύναμης

- Η δύναμη που παράγει ένας μυς μπορεί να αξιολογηθεί με στατική ή δυναμική συστολή.
- Η ισομετρική (στατική) αξιολόγηση μετρά το μέγεθος της τάσης του μυός απέναντι σε μια αντίσταση που δεν επιτρέπει σημαντική κίνηση της άρθρωσης.
- Η ιστοτονική (δυναμική) αξιολόγηση (η δύναμη εφαρμόζεται σε όλο το κινητικό πλάτος μιας άρθρωσης) γίνεται διαμέσου μιας μειομετρικής ή έκκεντρης συστολής.

# Σκοποί των δοκιμασιών μέτρησης της δύναμης

- α) Με τις δοκιμασίες μέτρησης της δύναμης προσδιορίζεται η συνεισφορά της δύναμης στην επίδοση. Καθορίζεται η συνάφειά τους μέσα από τη συσχέτιση των αποτελεσμάτων των δοκιμασιών με την αθλητική επίδοση.
- β) Προσδιορίζεται το αθλητικό προφίλ αθλητών και ομάδων. Παρουσιάζονται οι τιμές της ιδιότητας αυτής της φυσικής κατάστασης για κάποια κατηγορία αθλητών (είδος αγωνίσματος ή αθλήματος, αθλητές ή ομάδες διαφόρων επιπέδων) ώστε να υπάρχει προσανατολισμός στην προπόνηση (ανάλογη βαρύτητα στις αδύνατες ή δυνατές πλευρές).

# Σκοποί των δοκιμασιών μέτρησης της δύναμης

- γ) Με την καταγραφή των επιδόσεων στις δοκιμασίες πριν και μετά από μια προπονητική περίοδο (προπονητικοί δείκτες) γίνεται αξιολόγηση για την επιτυχία ή όχι κάποιου προγράμματος προπόνησης και ο προπονητής μπορεί να οδηγηθεί σε τροποποιήσεις και βελτιώσεις της προπονητικής διαδικασίας.
- Συσχετίζοντας τη δυναμική των επιδόσεων στις διάφορες δοκιμασίες με εκείνη των αθλητικών επιδόσεων του ίδιου αθλητή ή της ίδιας ομάδας μπορεί να αποφανθεί κανείς για τις αιτίες βελτίωσης ή χειροτέρευσης των επιδόσεων.
- δ) Γίνεται αξιολόγηση της πορείας αποκατάστασης ενός τραυματισμού. Μπορούμε να συγκρίνουμε τις καταγραφόμενες τιμές της δύναμης πριν τον τραυματισμό με τις μικρότερες (λόγω ακινησίας και αδράνειας) τιμές της που καταγράφουμε στο στάδιο της αποκατάστασης, αξιολογώντας έτσι την πρόοδο που έχει επιτευχθεί και κατά πόσο ο αθλητής είναι έτοιμος για νέες επιβαρύνσεις.

# *Σκοποί των δοκιμασιών μέτρησης της δύναμης*

- ε) Γίνεται αξιολόγηση παθολογικών καταστάσεων σε σύγκριση με περιπτώσεις υγιών δοκιμαζόμενων σε απλές καθημερινές κινήσεις (υγιές και παθολογικό βάδισμα), ανίχνευση μυοσκελετικών ασυμμετριών σε στατικές και δυναμικές συνθήκες, με την εξέταση των δυνάμεων αντίδρασης του εδάφους και της κατανομής των πιέσεων στα πέλματα.

# *Επιλογή της μεθόδου μέτρησης*

- Για την επιλογή μιας δοκιμασίας παίρνουμε υπόψη:
- α) το πόσο ειδική είναι η δοκιμασία
- β) την ευκολία στην απόκτηση και ανάλυση των δεδομένων
- γ) το πόσο εφικτή είναι η συγκεκριμένη δοκιμασία.

# Επιλογή της μεθόδου μέτρησης

- α) Εξετάζουμε τις μυϊκές δυνάμεις που λαμβάνουν μέρος στη συγκεκριμένη κίνηση.
- Τα περισσότερα δυναμόμετρα και μηχανήματα βαρών επιτρέπουν την απομόνωση μιας μονοαρθρικής κίνησης που εξετάζεται. Καταλληλότερα για αυτό το σκοπό είναι τα ισοκινητικά δυναμόμετρα.
- Ως προς το κινητικό pattern και τον τύπο της συστολής η κίνηση πρέπει να είναι όσο γίνεται πιο συγγενική με την αγωνιστική.
- Εξετάζονται το ανατομικό pattern και ο τύπος συστολής (μειομετρική, έκκεντρη, ισομετρική).



# Επιλογή της μεθόδου μέτρησης

- Μερικά δυναμόμετρα επιτρέπουν και διαρθρικές κινήσεις (έκταση του ισχίου, του γονάτου και πελματιαία κάμψη στον αστράγαλο). Καταλληλότερα είναι τα μηχανήματα της άρσης βαρών.
- Ως προς την ταχύτητα, το ζητούμενο είναι αυτή να πλησιάζει τις αγωνιστικές συνθήκες. Αδυναμία σχετικά με αυτό το ζήτημα παρουσιάζεται στα περισσότερα ισοκινητικά δυναμόμετρα.
- Στην αθλητική πράξη η έκταση του γονάτου γίνεται με ταχύτητα 700 o/sec (Thorstensson, 1976), η έκκεντρη συστολή των καμπτήρων της ίδιας άρθρωσης στο δρόμο ταχυτήτων συμβαίνει με γωνιακή ταχύτητα της άρθρωσης 1000 o/sec, ενώ οι δυνατότητες των ισοκινητικών δυναμόμετρων σε ταχύτητα είναι αισθητά μικρότερες.
- Τα ισοτονικά δυναμόμετρα άλλα έχουν και άλλα δεν έχουν περιορισμούς στην ταχύτητα κίνησης.
- Στις ισομετρικές δοκιμασίες η έννοια της ταχύτητας έχει να κάνει με το ρυθμό ανάπτυξης της δύναμης.

# Επιλογή της μεθόδου μέτρησης

- β) Άλλα μηχανήματα έχουν πακέτα προγραμμάτων για κλινικές χρήσεις και άλλα για αθλητικές εφαρμογές. Μερικά δυναμόμετρα επιτρέπουν τον προγραμματισμό για τα διάφορα πρωτόκολλα των δοκιμασιών της δύναμης. Έτσι είναι ευκολότερη η συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων και εξασφαλίζεται σημαντικός χρόνος στην περίπτωση επαναλαμβανόμενων διαδικασιών αξιολόγησης.

- γ) Στην αγορά υπάρχει ποικιλία στον διαθέσιμο εξοπλισμό οργάνων μέτρησης, αλλά οι δυνατότητες για ειδικό αθλητικό εξοπλισμό είναι περιορισμένες και γι' αυτό είναι απαραίτητο να στρέφεται κανείς στην προσαρμογή των κυκλοφορούντων μηχανημάτων στις ιδιαίτερες αθλητικές συνθήκες ή στην ανεύρεση τρόπου κατασκευής αντίστοιχων οργάνων που να εξυπηρετούν τις απαιτήσεις μέτρησης των παραμέτρων της κίνησης.

# Δυναμομετρία

- Η δυναμομετρία χρησιμοποιείται στη βιοκινητική έρευνα για την απευθείας μέτρηση των δυνάμεων όπως αυτές εφαρμόζονται κατά τη διάρκεια της κίνησης.
- Η δυναμομετρία απαιτεί την ύπαρξη κάποιου μηχανισμού, ο οποίος θα καταγράψει:
  1. Την πίεση που θα εφαρμοστεί σε κάποιο σώμα
  2. Την έλξη ή τάση
  3. Την κάμψη
  4. Τη στρέψη
  5. Συνδυασμό των παραπάνω
- Η δεύτερη απαίτηση της δυναμομετρίας είναι η άμεση επαφή του εξεταζόμενου με το μηχανισμό της μέτρησης (περιορισμοί ως προς τις αγωνιστικές συνθήκες, υψηλός βαθμός επίδρασης του δυναμόμετρου στη διεξαγωγή της κίνησης).

# Όργανα μέτρησης

- Με τις δυναμομετρικές διαδικασίες μέτρησης υπολογίζουμε τις εξωτερικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στην περιφέρεια του σώματος ως δυνάμεις αντίδρασης.
- Με τη μέτρηση αυτών των δυνάμεων μπορούμε να υπολογίσουμε τα παράγωγα μεγέθη ορμή, έργο και ισχύ.
- Η γνώση των εξωτερικών δυνάμεων είναι προϋπόθεση για τον υπολογισμό των εσωτερικών δυνάμεων.

# Όργανα μέτρησης

- Βάση για τη μέτρηση της δύναμης είναι η ιδιότητα της δύναμης να προκαλεί μεταβολή της μορφής (παραμόρφωση) των ελαστικών σωμάτων πάνω στα οποία επιδρά.
- Τα δυναμόμετρα είναι από τα πιο συνηθισμένα όργανα σε ένα εργαστήριο βιοκινητικής. Αποτελούνται από έναν ειδικό αισθητήρα που δέχεται τη δύναμη, από ένα ηλεκτρονικό σύστημα που καταγράφει το σήμα και από έναν καταγραφικό μηχανισμό.
- Οι αισθητήρες έχουν τη γενική ονομασία **transducers** (μετατροπείς) και είναι όργανο ή διάταξη οργάνων που δέχεται μια μορφή ενέργειας από ένα σύστημα και την μεταφέρει, αφού συνήθως τη μετατρέψει σε ενέργεια άλλης μορφής, σε άλλο σύστημα.

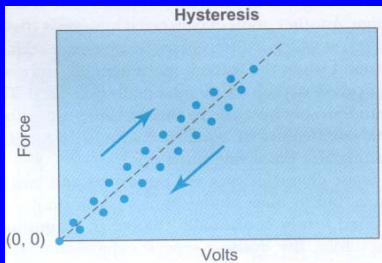
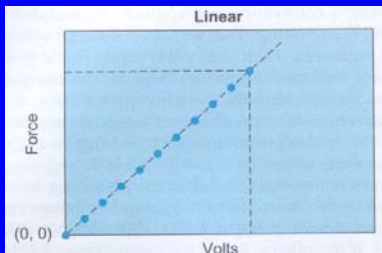
# Όργανα μέτρησης

- Οι μετατροπείς για τη μέτρηση της δύναμης είναι δύο ειδών:
- Μετατροπείς τύπου **πιεζοαντίστασης (strain gauges)**
- Ηλεκτρικές αντιστάσεις μέσα από τις οποίες περνά ηλεκτρικό δυναμικό. Η μεταβολή του ηλεκτρικού δυναμικού που καταγράφεται είναι ανάλογη της ποσότητας της εφαρμοζόμενης δύναμης.
- Μετατροπείς **πιεζοηλεκτρικού** τύπου (**piezoelectric transducers**)
- Αυτό το είδος αισθητήρων στηρίζεται στην ικανότητα ειδικών κρυστάλλων να δημιουργούν στιγμιαία ηλεκτρικό δυναμικό λόγω της εφαρμογής κάποιας δύναμης.

# Όργανα μέτρησης

Χαρακτηριστικά τους είναι:

- Μεγάλη **ευαισθησία**: Να μπορούν να ερεθίζονται και να καταγράφουν από πολύ μικρές μέχρι πολύ μεγάλες δυνάμεις.
- Μεγάλη **ακρίβεια**: Να καταγράφουν τη δύναμη στην ακριβέστερη τιμή της (π.χ. δύναμη 100 N καταγράφεται ως 100 N και όχι ως 99 ή 101 N).



- **Γραμμικότητα**: Να έχουν την ίδια αντιστοιχία μεταβολής δυναμικού και εφαρμοζόμενης δύναμης σε όλο το φάσμα της μέτρησης (π.χ. αν στα 10 N η μεταβολή ενός αισθητήρα είναι 0,01 V, τότε στα 1000 N η μεταβολή θα πρέπει να είναι 1V).
- Ελάχιστη μέχρι μηδενική **υστέρηση**: Όταν η υστέρηση ενός οργάνου είναι μεγάλη, παρουσιάζεται η δύναμη μεταχρονολογημένα, και υπάρχει αδυναμία στον εντοπισμό διαφοροποιήσεων της δύναμης που πραγματοποιούνται σε μικρό χρονικό διάστημα.
- Πολύ καλή **θωράκιση**: Απαραίτητη ώστε οι μετρήσεις να μην επηρεάζονται εύκολα από τις περιβαλλοντικές συνθήκες (υγρασία, θερμοκρασία, ηλεκτρομαγνητικά κύματα).

# Όργανα μέτρησης

Χαρακτηριστικά τους είναι:

CHARACTERISTIC	SENSOR TYPE			
	CAPACITOR	CONDUCTOR	PIEZOELECTRIC	STRAIN GAUGE
RANGE	limited	limited	nearly unlimited for biomech. applications	nearly unlimited for biomech. applications
LINEARITY	depends on dielectricum mostly not linear		> 99.5% of FSO highly linear	> 96% of FSO good linearity
CROSS-TALK	depends on construction can be high		rather low	rather low
HYSTERESIS	small < 3%	small < 3%	very small < 0.5%	small < 4%
THRESHOLD	a few N	a few N	< 5 mN	50 to 100 mN
TEMPERATURE SENSITIVITY	small	small	small	small
ACCURACY	errors up to 20% depending on application	errors up to 20% depending on application*	errors up to 5%	errors up to 5%
DRIFT	none	none	≈ 0.01 N/s	none
COST	high	low	high	low



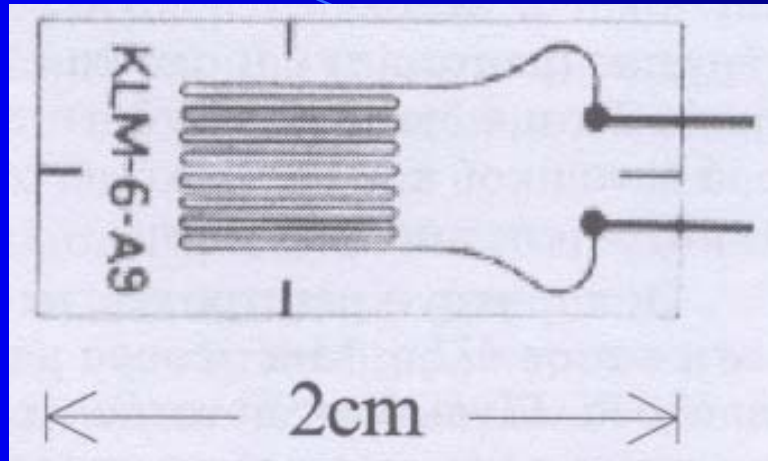
# Μετατροπείς πιεζοαντίστασης (strain gauges)

- Αυτοί οι μετατροπείς είναι γνωστοί από το 1930 και έχουν ποικίλες εφαρμογές σε πολλές επιστήμες.
- Στηρίζονται στην αρχή της μεταβολής της αντίστασης ενός αγωγίμου σύρματος μετά από επίδραση μηχανικού αίτιου.
- Έτσι, αν σε ένα αγωγίμο σύρμα μήκους  $l$  εξασκηθεί μια δύναμη εφελκυσμού, το μήκος του σύρματος θα αυξηθεί κατά  $\Delta l$  και η αντίστασή του  $R$ , θα αυξηθεί κατά  $\Delta R$ .

$$\Delta R / R = G \cdot \Delta l / l$$

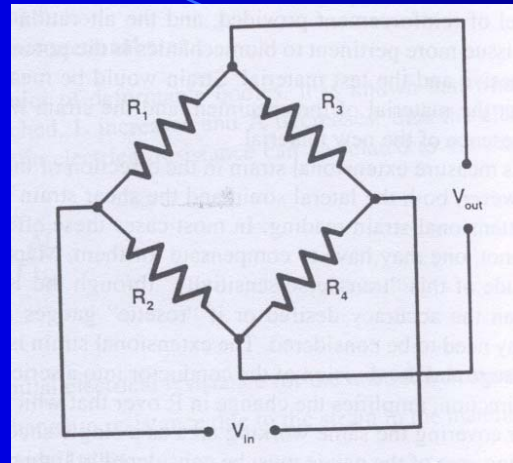
- Ο συντελεστής  $G$  έχει άμεση σχέση με τη διατομή, το είδος και το μήκος του σύρματος από το οποίο είναι κατασκευασμένος ο μετατροπέας.

# Μετατροπείς πιεζοαντίστασης (*strain gauges*)



- Αυτοί οι μετατροπείς στηρίζονται στα μηκυνσιόμετρα.
- Αποτελούνται από σύρμα διατομής 0,03 mm και αντίστασης 120 Ω (σύρμα κράματος χαλκού – νικελίου, νικελίου – χρωμίου, νικελίου – σιδήρου σε διάφορα σχήματα ανάλογα με τις ανάγκες).
- Το σύρμα είναι προσκολλημένο σε ένα αδρανές φύλλο χαρτί ή πλαστικό και όλο μαζί τοποθετείται με ειδική κόλα επάνω στην επιφάνεια που πρόκειται να παραμορφωθεί λόγω εφαρμογής της δύναμης (μπάρα, κουπί, κλπ). Η κόλα είναι ειδική, ώστε να μην απορροφά καμία παραμόρφωση από μόνη της.
- Για λόγους μόνωσης από την υγρασία ή τη θερμοκρασία, αφού γίνει η επικόλληση, καλύπτεται με σιλικόνη ή άλλο στεγανοτικό υλικό.

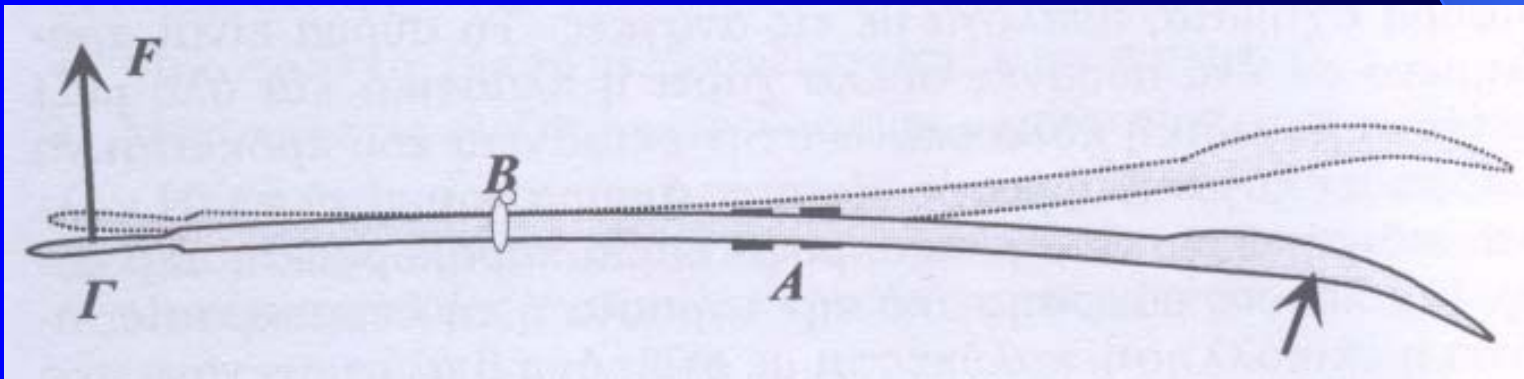
# Μετατροπείς πιεζοαντίστασης (strain gauges)



- Οι διαφορές στην αντίσταση ενός μηκυνσιόμετρου λόγω παραμόρφωσης είναι πολύ μικρές, της τάξης των  $10^{-3}$  μέχρι  $10^{-6}$   $\Omega$ .
- Ένας μετατροπέας μπορεί να έχει ένα μηκυνσιόμετρο, δύο ή τέσσερα. Για την καταγραφή αυτής της αντίστασης χρησιμοποιείται γέφυρα (γέφυρα Wheatstone).
- Αποτελείται από ένα κύκλωμα τεσσάρων αντιστάσεων (μηκυνσιόμετρα) με  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ . Στα σημεία  $V_{in}$  συνδέεται η πηγή ενέργειας (μπαταρία) και από τα σημεία  $V_{out}$  διαβάζεται η διαφορά δυναμικού που θα προκύψει από αλλαγές στις αντιστάσεις λόγω της μηχανικής παραμόρφωσης.

# Μετατροπείς πιεζοαντίστασης (*strain gauges*)

- Με την κατάλληλη τοποθέτηση πολλών strain gauges μαζί είναι δυνατό να διακρίνουμε στο ίδιο όργανο τις μεταβολές που υφίσταται από δυνάμεις ώθησης, έλξης, κάμψης και στροφής.
- Τα δυναμόμετρα με strain gauges μετρούν στατικές και δυναμικές διαδικασίες όταν οι δυνάμεις είναι διαχωρισμένες σε επιμέρους άξονες (μια γέφυρα μπορεί να μετρήσει τη δύναμη σε έναν άξονα).
- Η ακρίβεια της μέτρησης εξαρτάται από την επιμελημένη τοποθέτηση των strain gauges πάνω στο όργανο της μέτρησης.



- Κουπί που έχει μετατραπεί σε ειδικό δυναμόμετρο, με γέφυρα αποτελούμενη από 4 strain gauges.

# Μετατροπείς πιεζοαντίστασης (*strain gauges*)

- Τα *strain gauges* έχουν χρησιμοποιηθεί αρκετά για τη μέτρηση των δυνάμεων που υφίστανται τα οστά ανθρώπων και ζώων (*in-vitro* και *in-vivo*) με την εμφύτευση προσθετικών στις οστέινες δομές.
- Δύσκολο είναι να συμβεί κάτι τέτοιο στους τένοντες και στους συνδέσμους γιατί αυτοί οι ιστοί είναι δύσκολα προσπελάσιμοι.
- Όμως αυτό κατέστη δυνατό με τη βοήθεια **Buckle transducers** για τη μέτρηση της μυϊκής δύναμης στον τένοντα ζώων (Wamsley et al., 1978) και της μυϊκής δύναμης στον ανθρώπινο αχίλλειο τένοντα στο βάδισμα, τρέξιμο και άλλες αθλητικές δραστηριότητες (Komi et al., 1987).

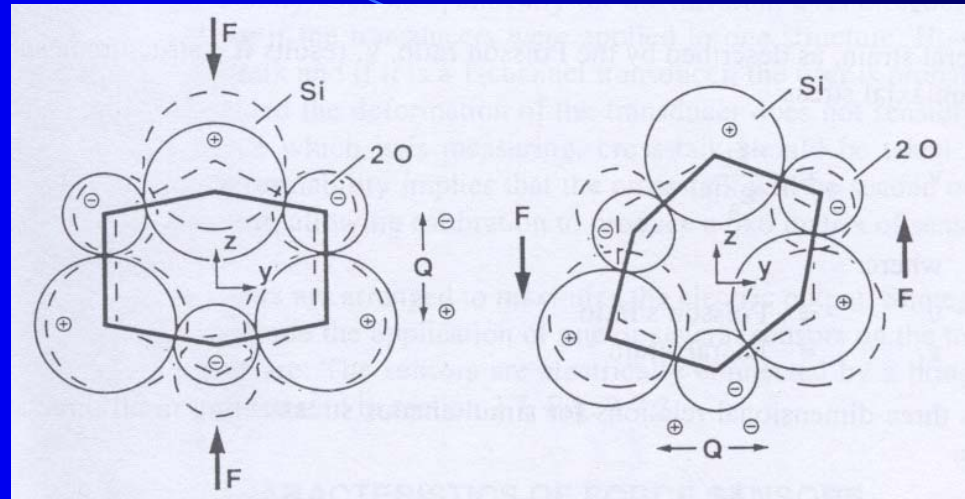
# Μετατροπείς πιεζοαντίστασης (*strain gauges*)

- Βασικά πλεονεκτήματα αυτών των μετατροπέων είναι η καλή στατική και δυναμική συμπεριφορά τους και η σχετικά μεγάλη τους ακρίβεια.
- Μειονέκτημα αποτελεί το ότι το σήμα εξόδου είναι πολύ μικρό (απαιτούνται ενισχυτές).
- Επίσης η ευαισθησία και η γραμμικότητά τους εξαρτάται απόλυτα από το υλικό στο οποίο είναι κολλημένοι (η χρήση μαλακού σιδήρου ως μπάρα συνεπάγεται μόνιμη σχεδόν παραμόρφωση με παραμονή μόνιμης ένδειξης ακόμα και όταν θα πάψει η εφαρμογή δύναμης). Συνιστάται η επιλογή υλικού από σκληρό ατσάλι, το οποίο επανέρχεται στην αρχική μορφή αμέσως μετά το τέλος της εφαρμογής της δύναμης.
- Το σημαντικότερο πλεονέκτημα των *strain gauges* είναι ότι είναι πολύ μικρού κόστους, και ότι λόγω του μικρού βάρους και του ελάχιστου χώρου που καταλαμβάνουν μπορούν να τοποθετηθούν στα διάφορα αθλητικά όργανα χωρίς να παρεμποδίζουν την κίνηση του αθλητή.

# Εφαρμογές των δυναμόμετρων *strain gauges*

- **Δυναμοδάπεδα**, δυναμόμετρα στήριξης για τη μέτρηση των τριών συνιστωσών της δύναμης στήριξης (βάδισμα, τρέξιμο, άλμα, κλπ).
- **Δυναμόμετρα εκκίνησης** για τη μέτρηση των τριών συνιστωσών των δυνάμεων που εφαρμόζονται στο καθένα από τα μπλοκ στους βατήρες εκκίνησης.
- **Δυναμόμετρα μονόζυγου**, για τη μέτρηση των οριζόντιων και των κάθετων συνιστωσών της δύναμης που εφαρμόζει ο αθλητής στο μονόζυγο.
- **Αξονικό δυναμόμετρο**, για τη μέτρηση της εφαπτόμενης και της φυγόκεντρης δύναμης στο πηδάλι του ποδηλάτου.
- **Δυναμόμετρα του σκι**, για τη μέτρηση των δυνάμεων και των ροπών αντίδρασης που εφαρμόζονται μεταξύ της μπότας και τουπέδιλου.
- **Δυναμόμετρα κωπηλασίας**, για τη μέτρηση των δυνάμεων που εφαρμόζονται μεταξύ σκαμού και βάρκας.

# Πιεζοηλεκτρικοί μετατροπείς

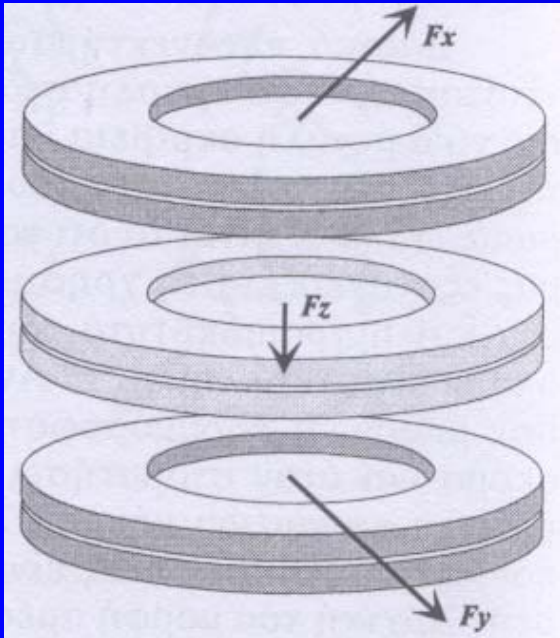


- Με την επιβάρυνση (εφαρμογή δύναμης) συγκεκριμένων κρυστάλλων, οι οποίοι βρίσκονται σε συγκεκριμένες θέσεις, προκύπτουν μεταβολές της κατάστασής τους και ανάλογες ηλεκτρικές φορτίσεις. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως πιεζοηλεκτρικό (κρύσταλλοι χαλαζία, τιτανικού βαρίου).
- Με την εφαρμογή κάποιας δύναμης ενεργοποιούνται, λόγω πίεσης, ένας ή περισσότεροι κρύσταλλοι συγχρόνως. Στις τελικές συνδέσεις (ηλεκτρόδια) μπορούν να μετρηθούν οι φορτίσεις που προκύπτουν μέσω ενδιάμεσων ενισχυτών φόρτισης.

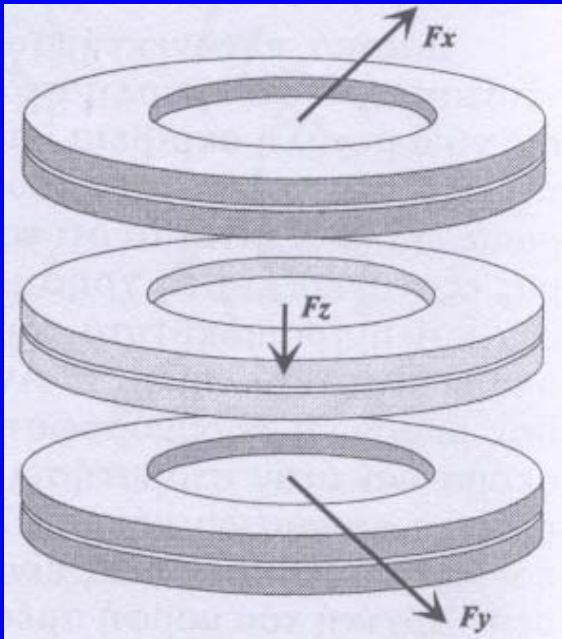


# Πιεζοηλεκτρικοί μετατροπείς

- Τα πιεζοηλεκτρικά στοιχεία εφευρέθηκαν από τους Pierre και Jagues Curie (1880).
- Πιεζοηλεκτρικά στοιχεία με περιθώρια μέτρησης σε εφαρμοζόμενη δύναμη πάνω από ένα άξονα, άρχισαν να χρησιμοποιούνται από το 1966, ενώ πιεζοηλεκτρικά δυναμόμετρα με τρισδιάστατη εφαρμογή άρχισαν από το 1965.
- Ο κρύσταλλος και οι δύο οπλισμοί δημιουργούν έναν πυκνωτή με δύο άκρα.
- Όταν το μηχανικό αίτιο επιδρά, δημιουργείται φορτίο το οποίο δεσμεύεται από τους οπλισμούς που βρίσκονται γύρω από τον κρύσταλλο με αποτέλεσμα τη δημιουργία τάσης στα άκρα της διάταξης κρύσταλλος – οπλισμοί.
- Όταν στον κρύσταλλο επιδράσει δύναμη στον κρυσταλλογραφικό Χ άξονα, το φορτίο που δημιουργείται είναι της τάξης των 2.26 pC/N, ενώ όταν στον κρύσταλλο επιδράσει δύναμη στον κρυσταλλογραφικό Υ άξονα, το φορτίο που δημιουργείται είναι της τάξης των 4.52 pC/N.

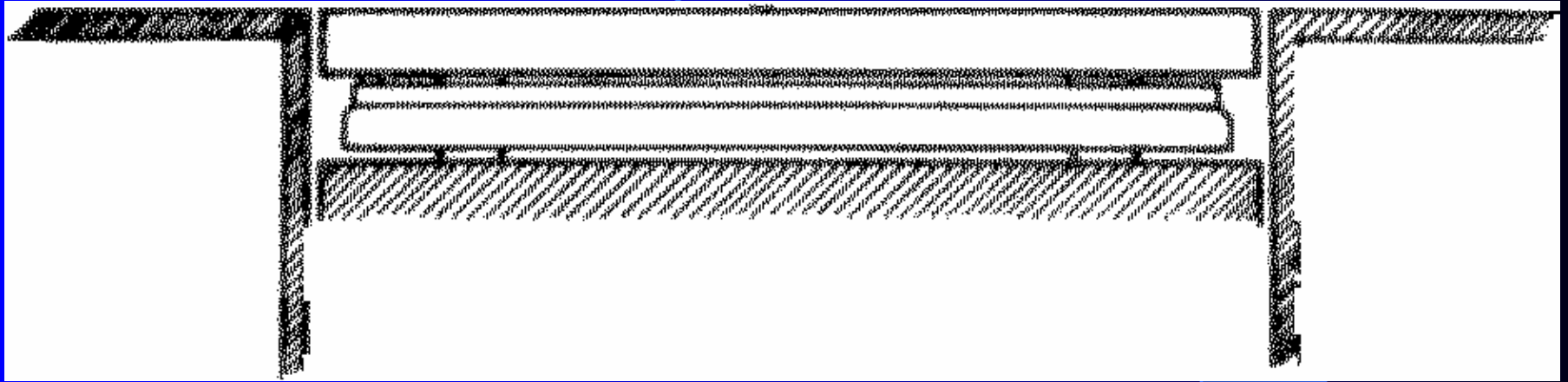


# Πιεζοηλεκτρικοί μετατροπείς



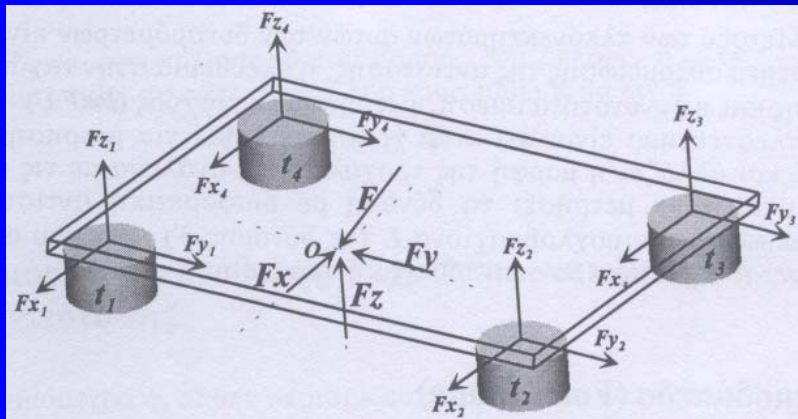
- Είναι όργανα που χρησιμοποιούνται κυρίως για τη μέτρηση γρήγορων δυναμικών φαινομένων.
- Ο τρισδιάστατος μετατροπέας αποτελείται από 3 δακτυλίους υγρού κρυστάλλου σε διαφορετική διάταξη που καταγράφουν αντίστοιχα τις δυνάμεις  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ .
- Τα δακτυλίδια αυτά χρησιμοποιούνται ανά ζεύγη και ενώνονται μεταξύ τους με ηλεκτρόδια.
- Η διαφορά τους με τα δυναμόμετρα με strain gauges έγκειται ότι τα τελευταία μετράνε την παραμόρφωση που θα δεχθεί η επιφάνεια πάνω στην οποία είναι προσκολλημένα, ενώ αυτά μετράνε αυτό που δέχονται τα ίδια.
- Η ευαισθησία, ακρίβεια, γραμμικότητα και υστέρηση των strain gauges εξαρτώνται από το είδος του υλικού που δέχεται τη δύναμη, ενώ στους πιεζοηλεκτρικούς μετατροπείς όλα εξαρτώνται από τον ίδιο τον αισθητήρα.

# Δυναμοδάπεδο (force plate)



- Το δυναμοδαπεδο είναι από τα πιο συνηθισμένα όργανα στην εμβιομηχανική.
- Είναι όργανο με ορθογώνια επίπεδη επιφάνεια (40 X 60 cm), ενσωματωμένο στο επίπεδο του εδάφους, για τη μέτρηση των δυνάμεων αντίδρασης του εδάφους (GRF).
- Απαιτείται ειδική τοποθέτηση του δυναμοδάπεδου σε ειδική βάση και ειδική υποστήριξη από κάτω για αποφυγή κραδασμών (κυρίως για τις εκρηκτικές κινήσεις).
- Τα πρώτα μοντέλα χρησιμοποιούσαν ελατήρια (Elftman 1934), ενώ τα σημερινά χρησιμοποιούν strain gauges (καταλληλότερα για στατικές συνθήκες) ή πιεζοηλεκτρικούς μετατροπείς δυναμικές συνθήκες.

# Δυναμοδάπεδο (force plate)



$$Fz = Fz_1 + Fz_2 + Fz_3 + Fz_4$$

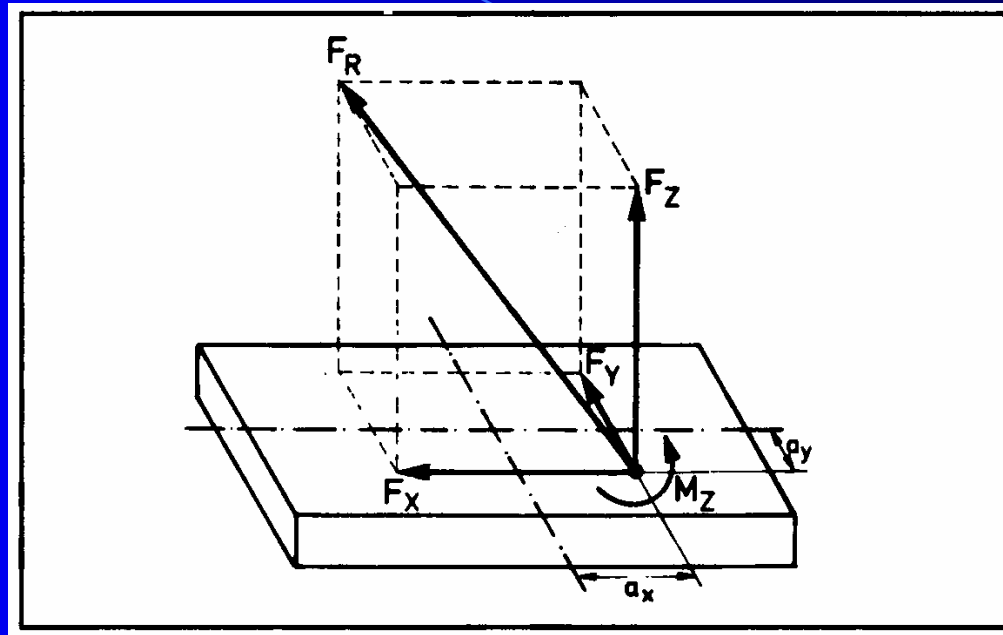
$$Fx = -(Fx_1 + Fx_2 + Fx_3 + Fx_4)$$

$$Fy = -(Fy_1 + Fy_2 + Fy_3 + Fy_4)$$

$$F = \sqrt{Fx^2 + Fy^2 + Fz^2}$$

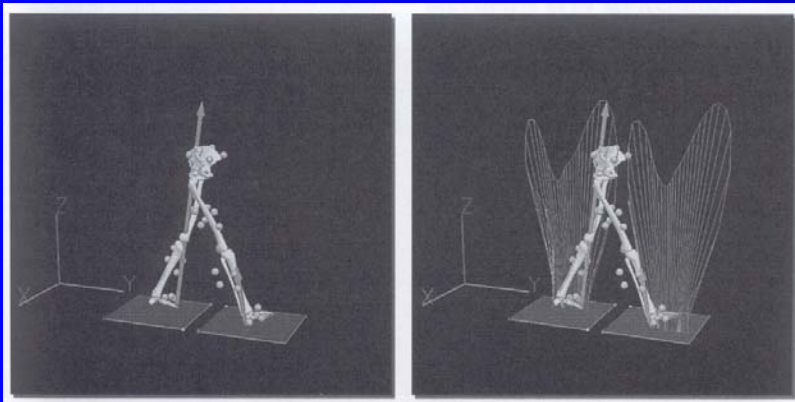
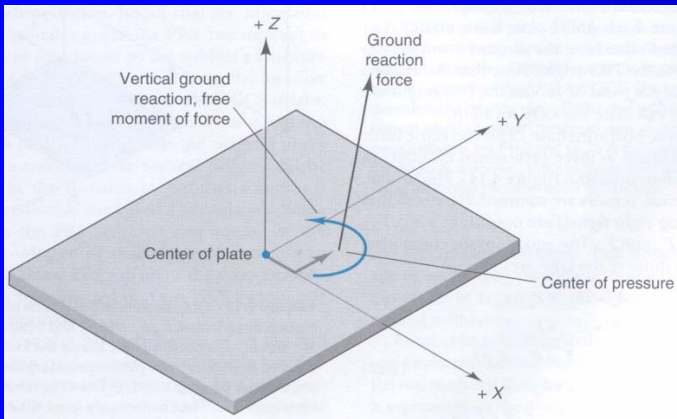
- Στηρίζεται σε τέσσερις τρισδιάστατους μετατροπείς δύναμης, έναν σε κάθε γωνία.
- Εκτός από τη δύναμη που μετρά στους τρεις καρτεσιανούς άξονες, έχει τη δυνατότητα να υπολογίζει τη θέση του κέντρου πίεσης, δηλαδή του σημείου όπου εφαρμόζεται η συνισταμένη δύναμη.

# Δυναμοδάπεδο (force plate)



- Υπολογίζονται οι τρεις συνιστώσες των δυνάμεων αντίδρασης του εδάφους.
- Υπολογίζεται η ροπή  $M_z$  στον κατακόρυφο άξονα της κίνησης που δρα στην επιφάνεια του δυναμοδάπεδου.
- Υπολογίζεται η θέση του σημείου εφαρμογής του διανύσματος της δύναμης (κέντρο πίεσης), μέσω των συντεταγμένων  $a_x$  και  $a_y$  με βάση το κέντρο του δυναμοδάπεδου.

# Δυναμοδάπεδο (force plate)

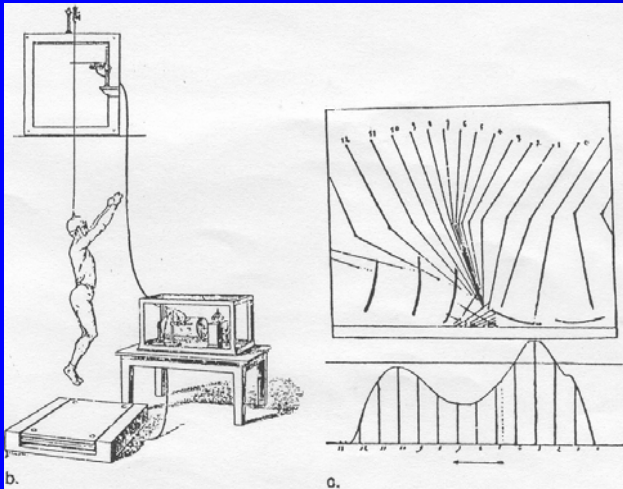


- Το δυναμοδάπεδο μας δίνει τις καμπύλες της συνισταμένης δύναμης και της συνισταμένης ροπής σε σχέση με το χρόνο, οι οποίες προκύπτουν από το σύνολο όλων των εφαρμοζόμενων στο δυναμοδάπεδο δυνάμεων και ροπών ως προς το γεωμετρικό του κέντρο.
- Με την ολοκλήρωση της συνάρτησης δύναμης- χρόνου λαμβάνουμε τις μεταβολές της ταχύτητας (και τις τρεις συνιστώσες της) του ΚΒΣ στη διάρκεια της στήριξης.

# Η διαδικασία μέτρησης με δυναμοδάπεδο

- Η μέτρηση με δυναμοδάπεδο δεν έχει επίδραση πάνω στην προσπάθεια του εξεταζόμενου.
- Πρόβλημα προκύπτει από τις μικρές διαστάσεις του δυναμοδάπεδου (40 X 60 cm) και από την ανάγκη στο πέρασμά του ο εξεταζόμενος να πετύχει μια στήριξη πάνω σ' αυτό. Στην προσπάθεια αυτή, αλλοιώνεται το κινητικό pattern (επιμήκυνση ή σμίκρυνση ενός ή περισσότερων διασκελισμών).
- Προς αποφυγή ενός σκόπιμου «σημαδέματος» του πατήματος στο δυναμοδάπεδο, με τα όσα αρνητικά αυτό συνεπάγεται :
  - α) δεν πρέπει να υπάρχει κάποιο σημάδι στην περιοχή του δυναμοδάπεδου
  - β) το δυναμοδάπεδο θα πρέπει να είναι ενσωματωμένο μέσα στο έδαφος και να μην διακρίνεται
  - γ) θα πρέπει να διεξάγονται πολλές προσπάθειες και να ακυρώνονται οι λανθασμένες
- Η επιλογή δυναμοδάπεδου με μεγαλύτερη επιφάνεια μέτρησης προσκρούει σε τεχνικά και οικονομικά προβλήματα.

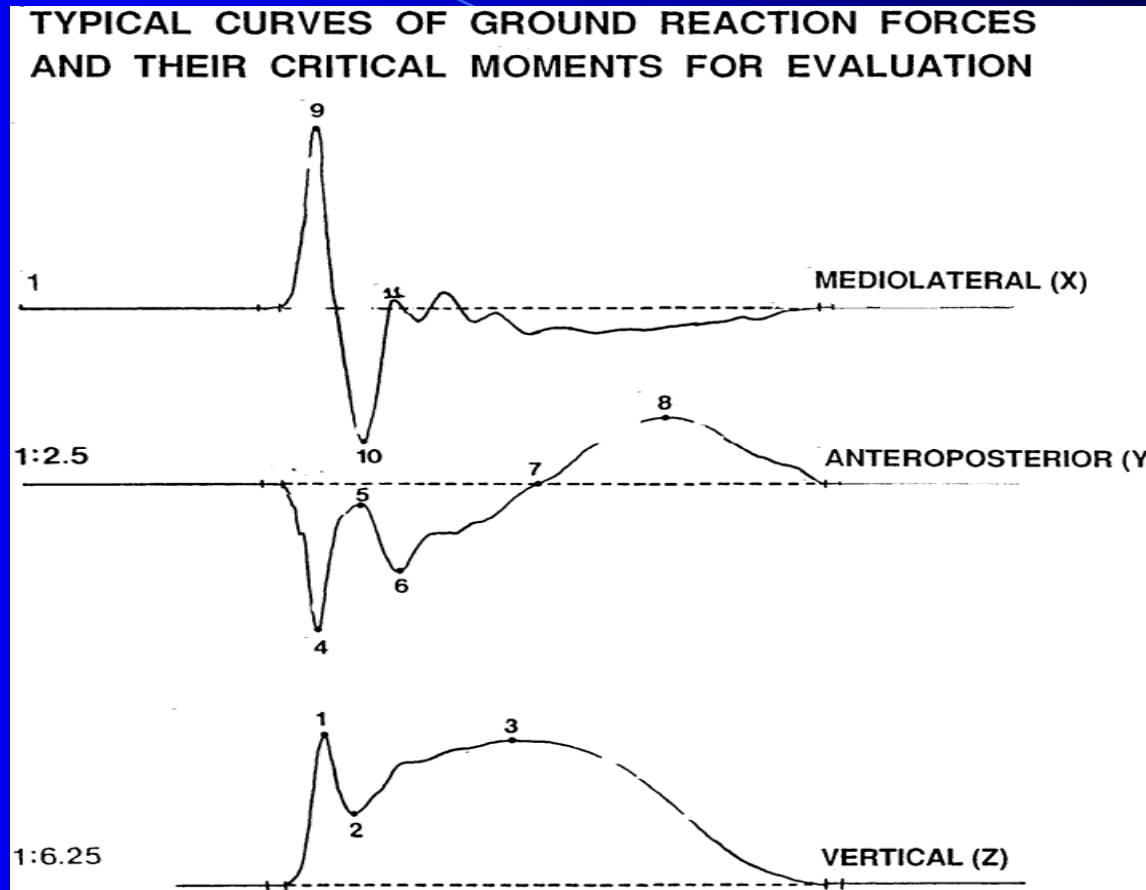
# Ground Reaction Forces



- Οι δυνάμεις αντίδρασης του εδάφους που καταγράφονται με το δυναμοδάπεδο εκφράζουν την αντίδραση της επιφάνειας στήριξης πάνω στην οποία διεξάγεται η κίνηση.
- Με βάση το νόμο του Νεύτωνα δράση – αντίδραση, είναι η αντίδραση της επιφάνειας στήριξης ενάντια στη δράση που δέχεται από το σώμα.
- Η αντίδραση αυτή συντελεί στην επιτάχυνση του ΚΜΣ.
- Οι ερευνητές ασχολήθηκαν με τις GRF από τη δεκαετία του 1930 (Elftman, 1938 Fenn, 1930 Manter, 1938) μολονότι η ιδέα είχε γεννηθεί πιο παλιά (Amar, 1920 Marey, 1879).

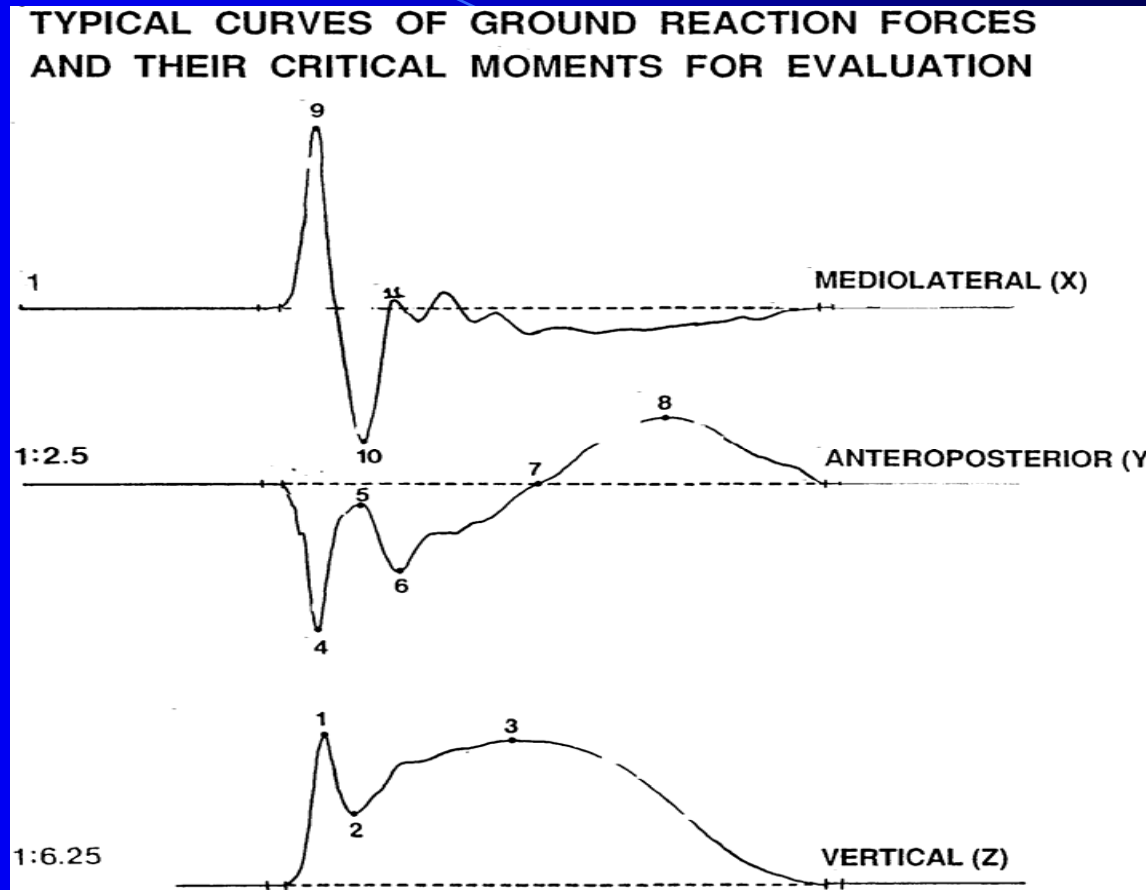


# Ground Reaction Forces



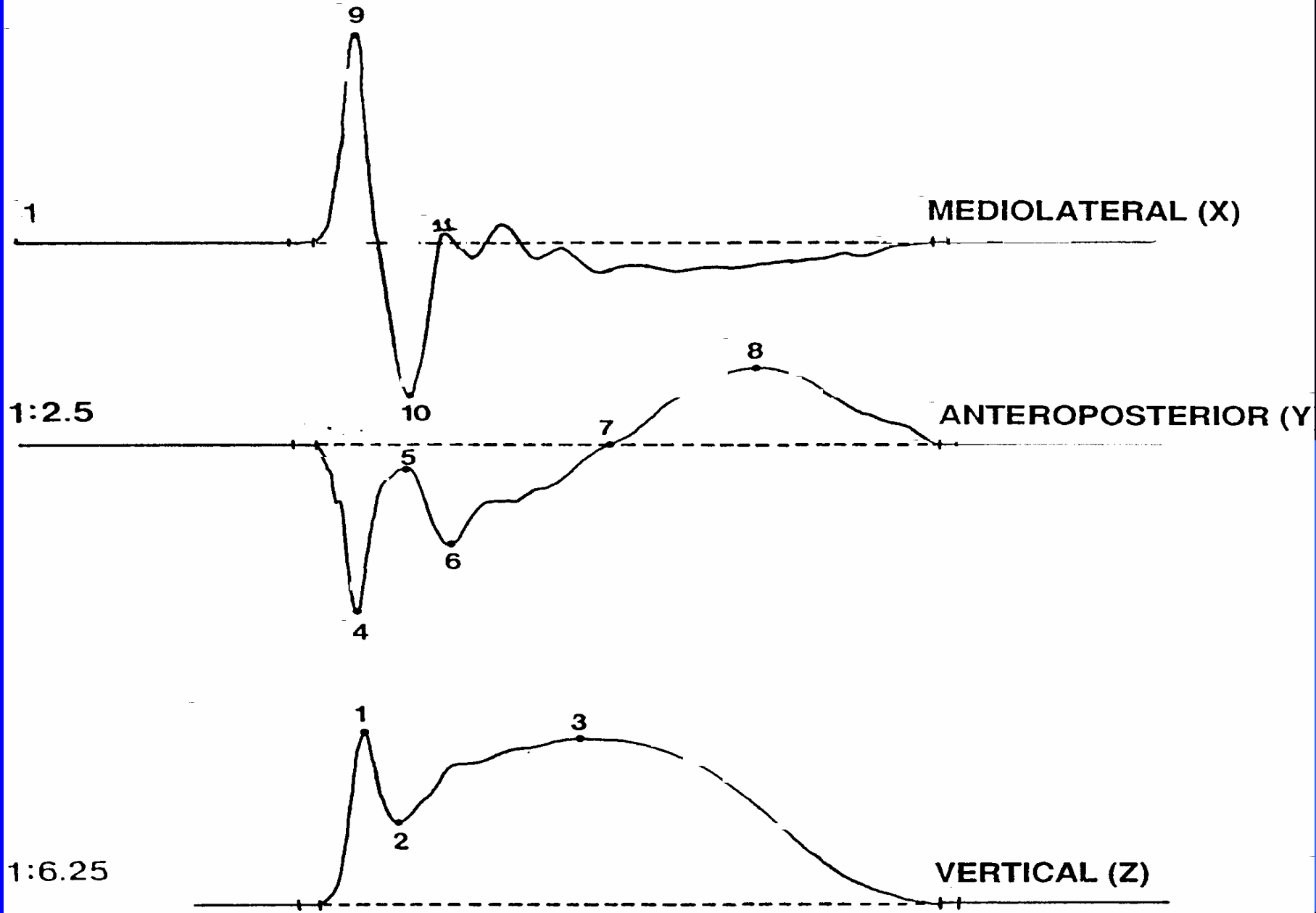
- Οι τρεις συνιστώσες των GRF αντιπροσωπεύουν την αντίδραση του εδάφους στις δράσεις του εξεταζόμενου που μεταδίδονται διαμέσου των ποδιών στο έδαφος και αντιπροσωπεύουν την επιτάχυνση του σώματος σε αυτές τις διευθύνσεις.

# Ground Reaction Forces

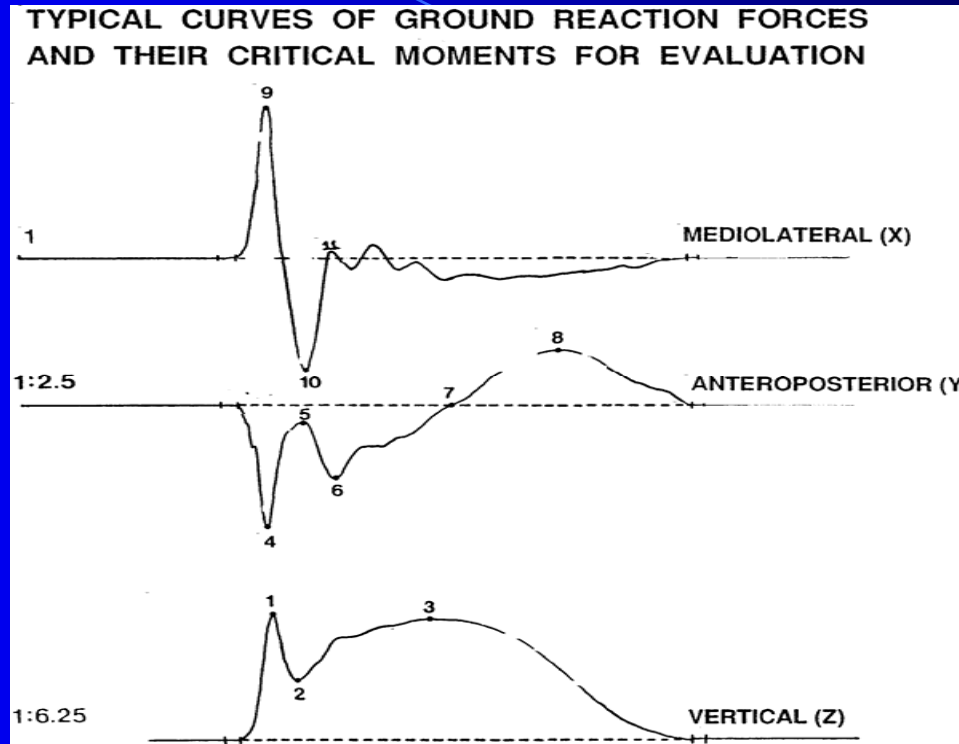


- Ο βαθμός συνεισφοράς του κάθε μέρους του σώματος στη διαμόρφωση των GRF εξαρτάται από τη μάζα του και την επιτάχυνση του ΚΜ του.
- Για την επιτάχυνση ενός δρομέα ο κορμός και το κεφάλι συνεισφέρουν 50%, ενώ το κάθε πόδι 17% και τα χέρια 5% (Miller, 1990).

# TYPICAL CURVES OF GROUND REACTION FORCES AND THEIR CRITICAL MOMENTS FOR EVALUATION

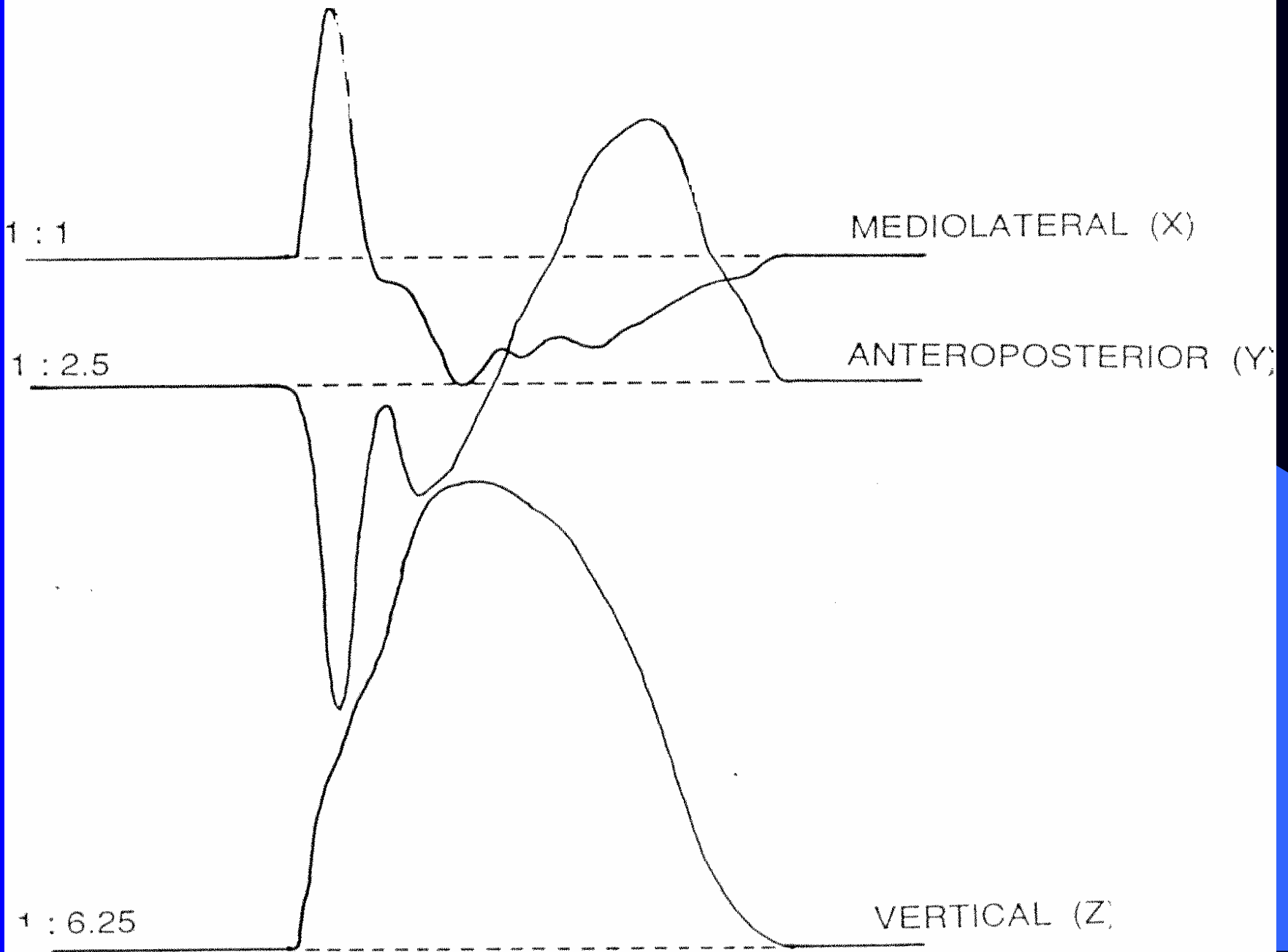


# Ground Reaction Forces στο τρέξιμο

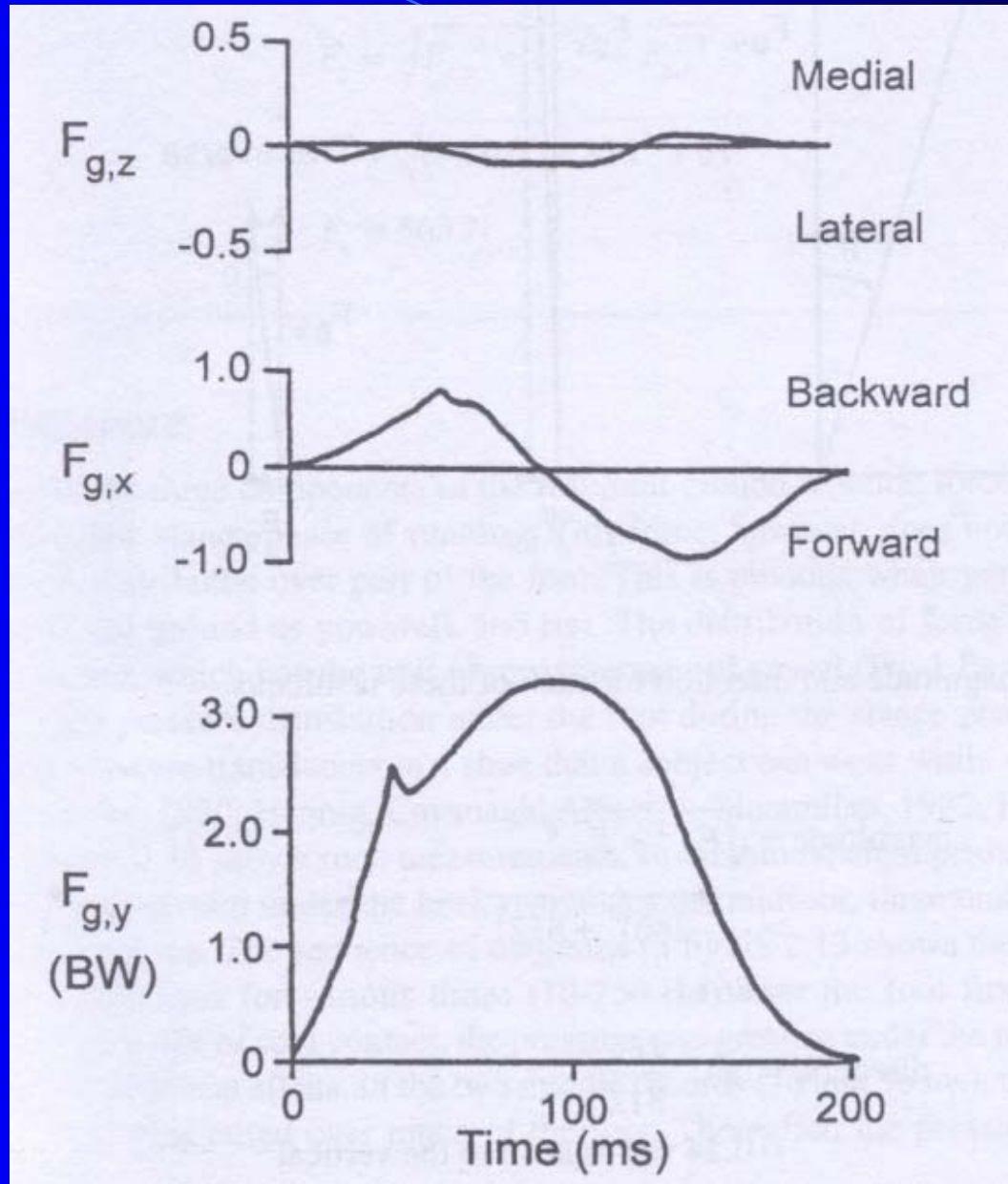


- Το **Vertical impact force peak** συμβαίνει στα 5 έως 30 milliseconds (ο χρόνος και το μέγεθός του εξαρτώνται από τη δρομική ταχύτητα, από τις ιδιότητες του υλικού πτέρνας και σόλας, το δρομικό στυλ). Στους χωρίς παπούτσια συμβαίνει νωρίτερα.
- Το **active vertical force peak** συμβαίνει περίπου στο μισό της στήριξης.

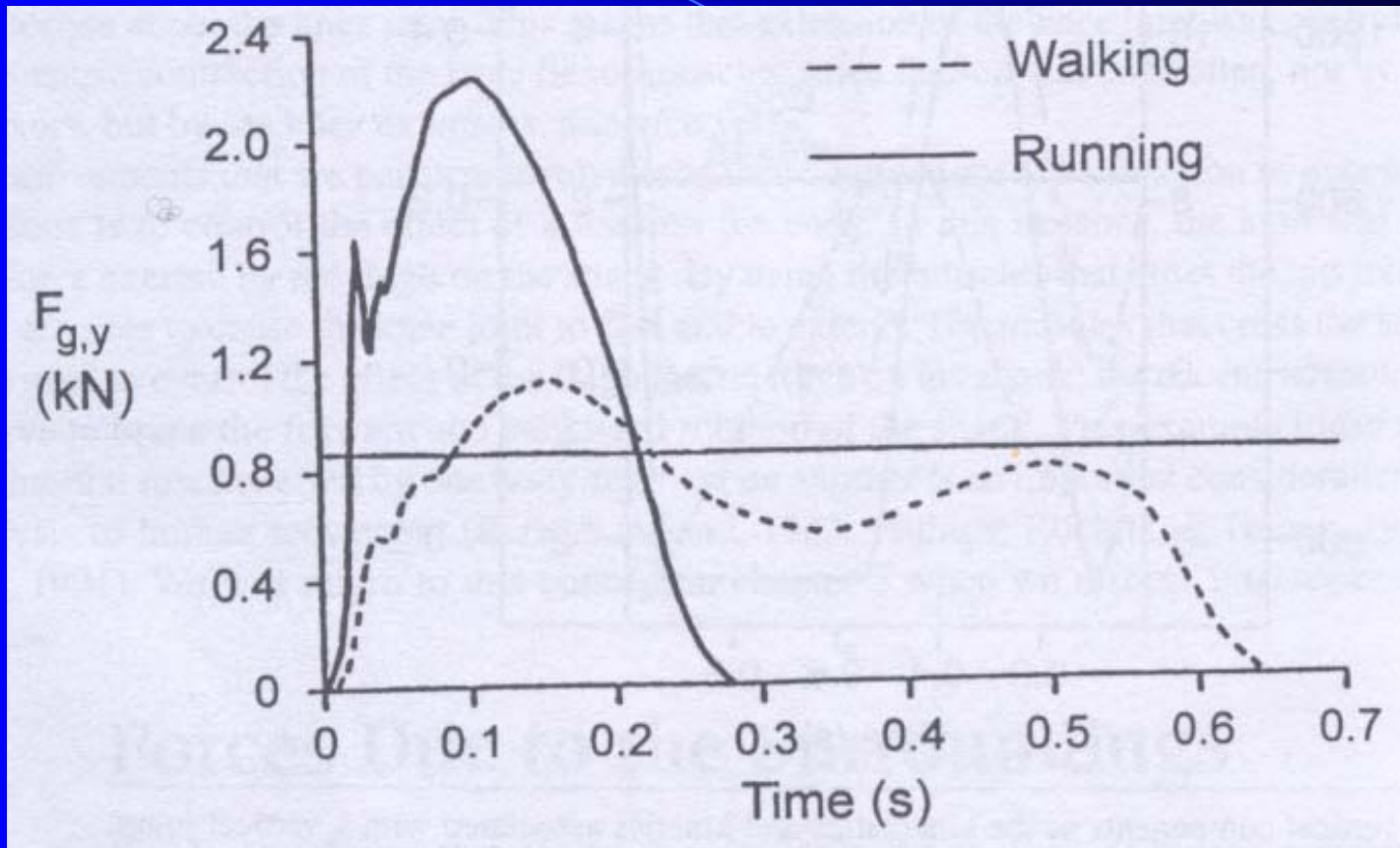
# SPRINT RUNNING



# Ground Reaction Forces στο τρέξιμο



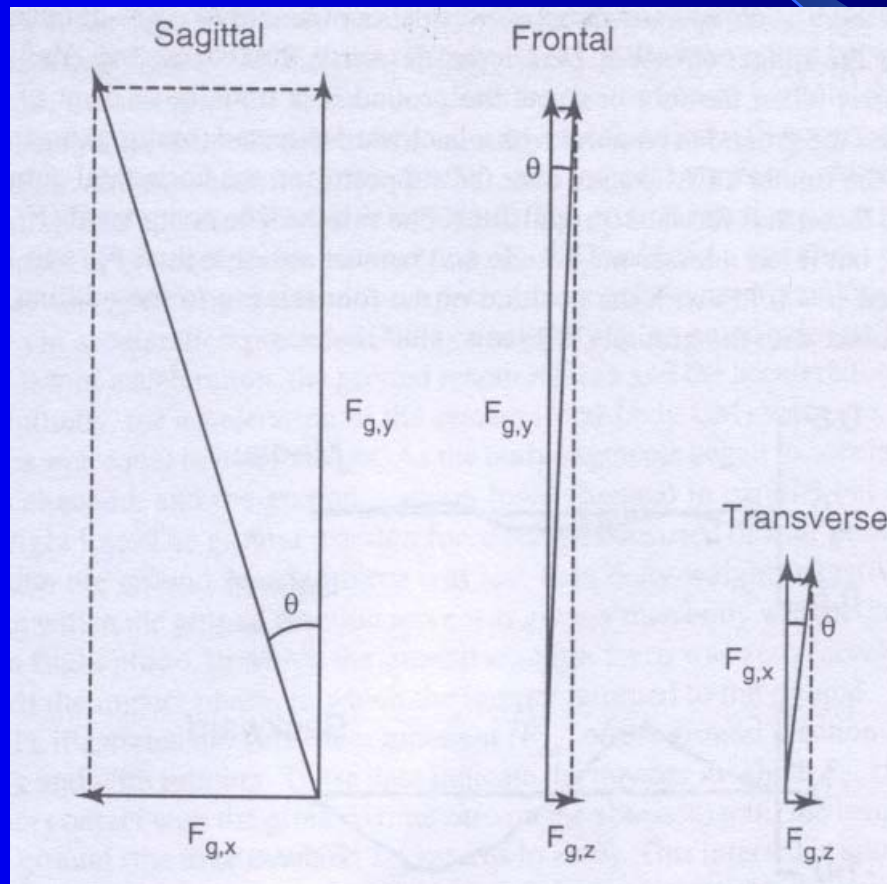
# Κατακόρυφη GRF



- Όταν η κατακόρυφη συνιστώσα είναι μεγαλύτερη του ΣΒ η κατακόρυφη επιτάχυνση του ΚΜΣ κατευθύνεται προς τα πάνω, ενώ όταν είναι μικρότερη του ΣΒ προς τα κάτω.

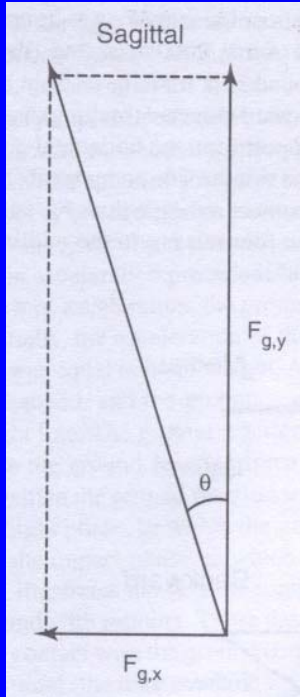
# Υπολογισμός της συνισταμένης GRF

Forward-backward ( $F_{g,x}$ )	-286 N	(positive = forward)
Vertical ( $F_{g,y}$ )	812 N	(positive = upward)
Side to side ( $F_{g,z}$ )	61 N	(positive = lateral)





# Υπολογισμός της συνισταμένης GRF

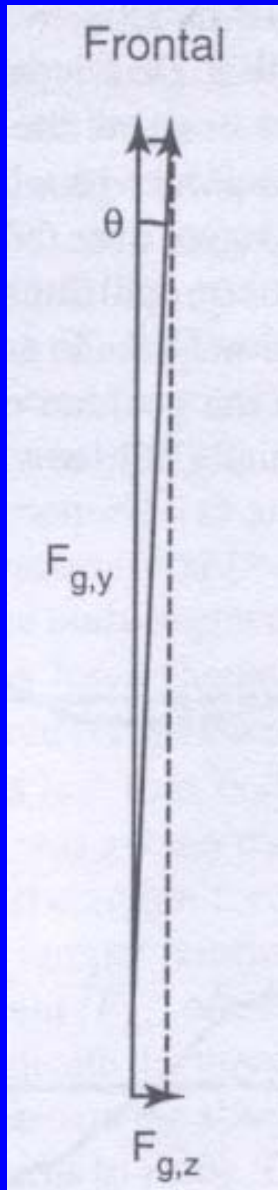


Sagittal plane:

$$\begin{aligned}\text{magnitude} &= \sqrt{F_{g,x}^2 + F_{g,y}^2} \\ &= \sqrt{(-286)^2 + 812^2} \\ &= 861 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{direction} &= \tan^{-1} \frac{286}{812} \\ &= 0.34 \text{ rad relative to the vertical}\end{aligned}$$

# Υπολογισμός της συνισταμένης GRF



Frontal plane:

$$\text{magnitude} = \sqrt{F_{g,x}^2 + F_{g,z}^2}$$

$$= \sqrt{(812)^2 + 61^2}$$

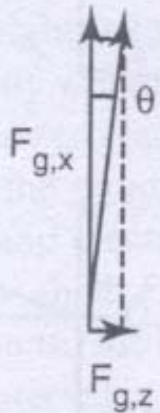
$$= 814 \text{ N}$$

$$\text{direction} = \tan^{-1} \frac{61}{812}$$

$$= 0.07 \text{ rad relative to the vertical}$$

# Υπολογισμός της συνισταμένης GRF

Transverse



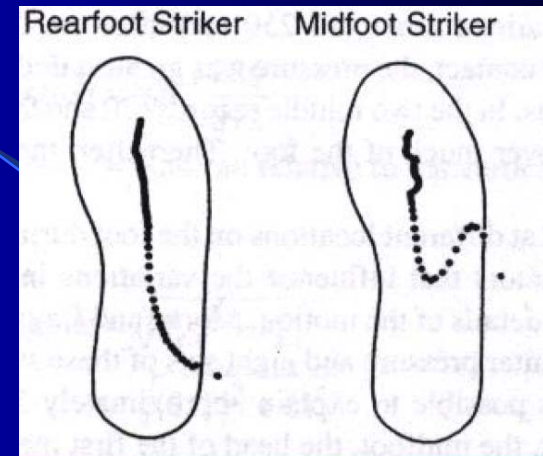
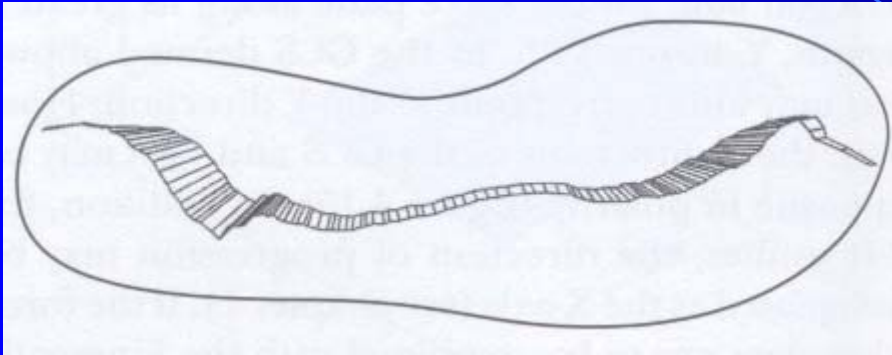
Transverse plane:

$$\begin{aligned}\text{magnitude} &= \sqrt{F_{g,x}^2 + F_{g,z}^2} \\ &= \sqrt{(-286)^2 + 61^2} \\ &= 292 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{direction} &= \tan^{-1} \frac{61}{286} \\ &= 0.21 \text{ rad relative to the horizontal}\end{aligned}$$

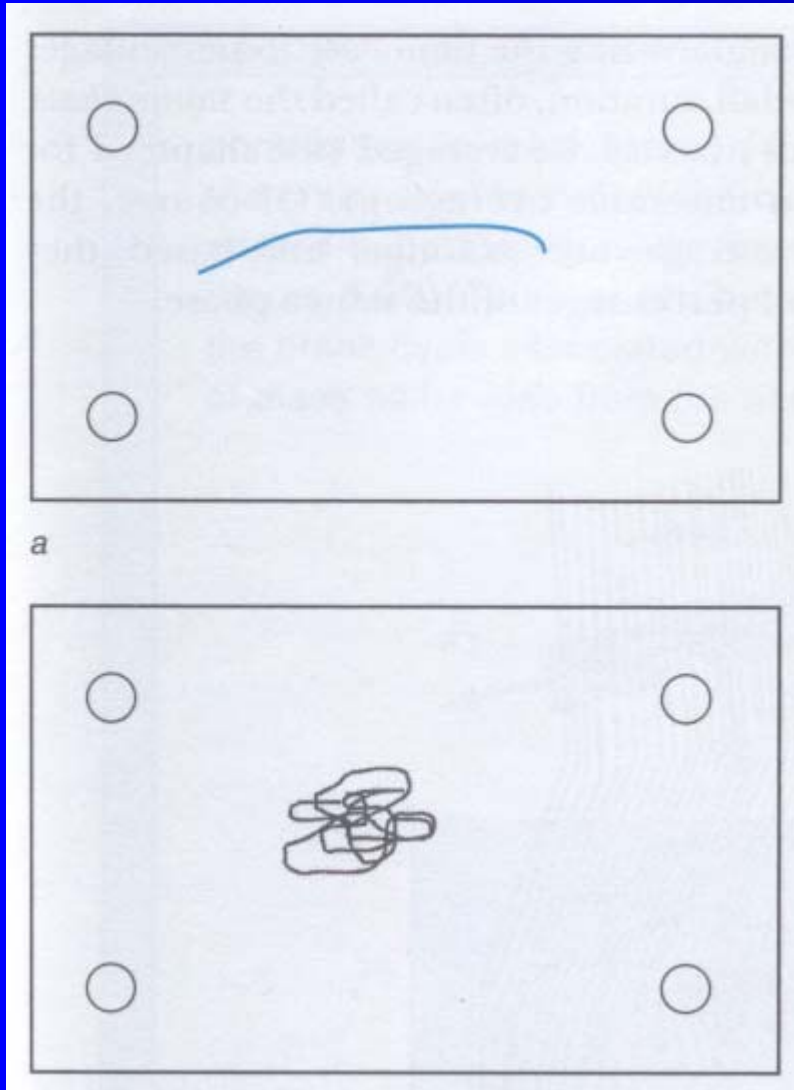
$$\begin{aligned}F_g &= \sqrt{F_{g,z}^2 + F_{g,y}^2 + F_{g,x}^2} \\ &= \sqrt{(-286)^2 + 812^2 + 61^2} \\ F_g &= 863 \text{ N}\end{aligned}$$

# Κέντρο πίεσης (Center of pressure)



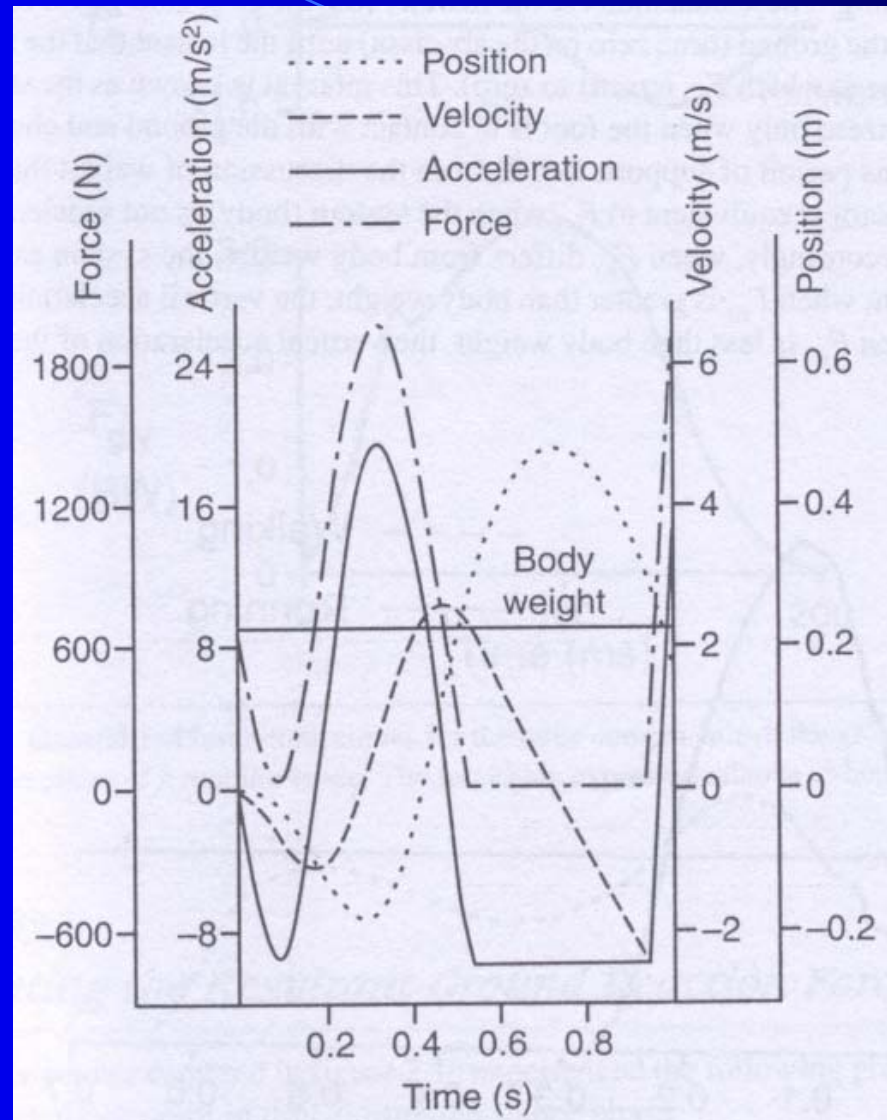
- Κατά τη μέτρηση των GRF με το δυναμοδάπεδο, το μέγεθος της δύναμης αντιπροσωπεύει το άθροισμα των πιέσεων που κατανέμονται κάτω από το πόδι.
- Το σημείο εφαρμογής της GRF κάτω από το πόδι αντιπροσωπεύει COP.
- Οι Cavanagh και Lafortune (1980) με κριτήριο την αρχική θέση του COP στο πόδι, κατά την πρώτη του επαφή με το έδαφος, έχουν ταξινομήσει τους δρομείς σε midfoot και rearfoot strikers.

# Κέντρο πίεσης (Center of pressure)



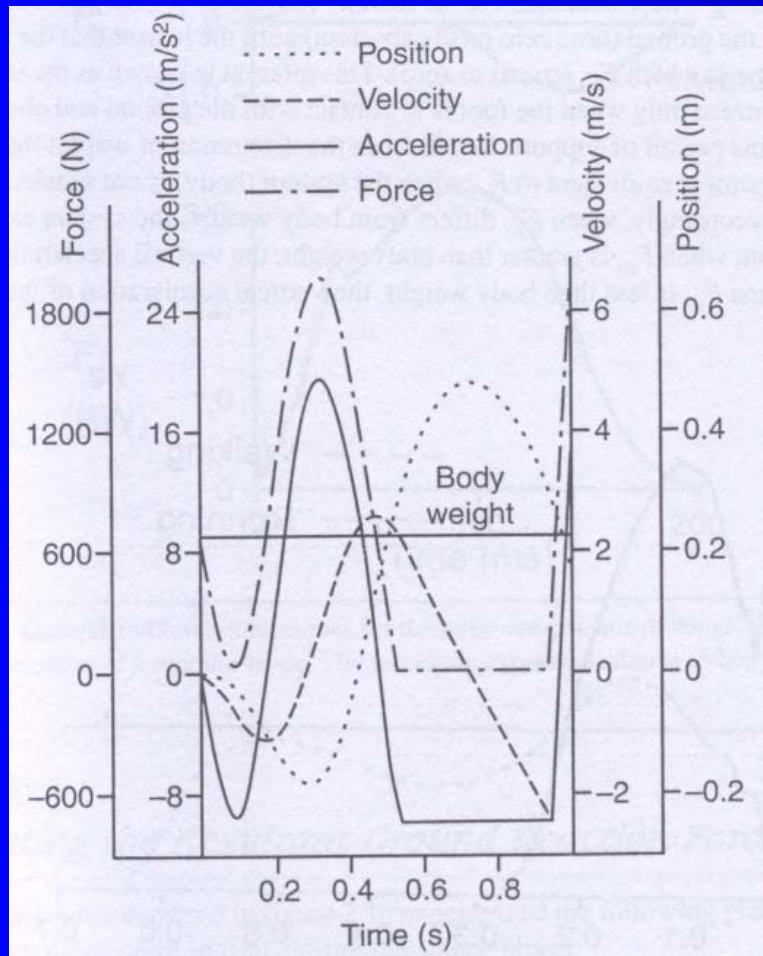
- Η πορεία του COP κατά το βάδισμα και τη στατική ισορροπία

# GRF στο κατακόρυφο άλμα



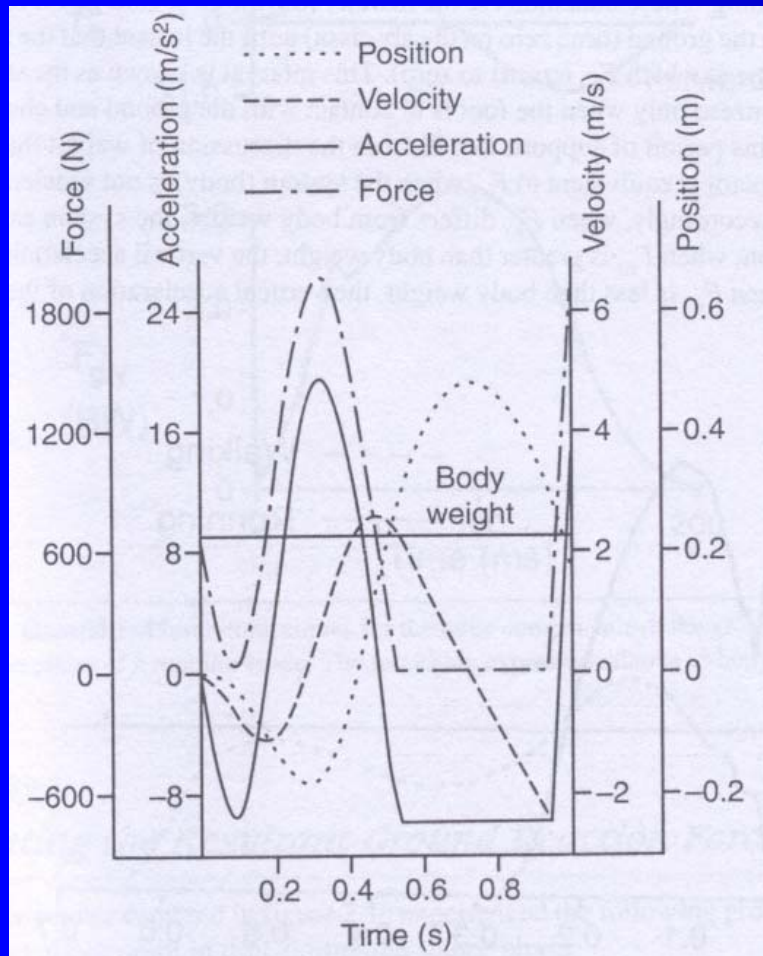
- Λαμβάνεται υπόψη μόνο η κατακόρυφη συνιστώσα των GRF

# GRF στο κατακόρυφο άλμα



- Ο εξεταζόμενος ξεκινά από την όρθια θέση και μετά χαμηλώνει το ΚΜΣ 20 cm πριν αλλάξει κατεύθυνση (η ταχύτητα περνά το 0 και γίνεται από αρνητική θετική) και κινείται προς τα πάνω προς τη θέση απογείωσης.
- Η απογείωση συμβαίνει όταν η GRF γίνεται 0 (0.53 s).
- Ο εξεταζόμενος είναι στον αέρα για περίπου 0.41 s, και το ΚΜΣ μετατοπίστηκε 0.49 cm κατακόρυφα από τη θέση αφετηρίας.
- Το τοπικό ελάχιστο της ταχύτητας συνέβη περίπου στο μισό της προς τα κάτω κίνησης (0.19 s) και το τοπικό μέγιστο μόλις πριν την απογείωση (αντίστοιχες μηδενικές τιμές της επιτάχυνσης).

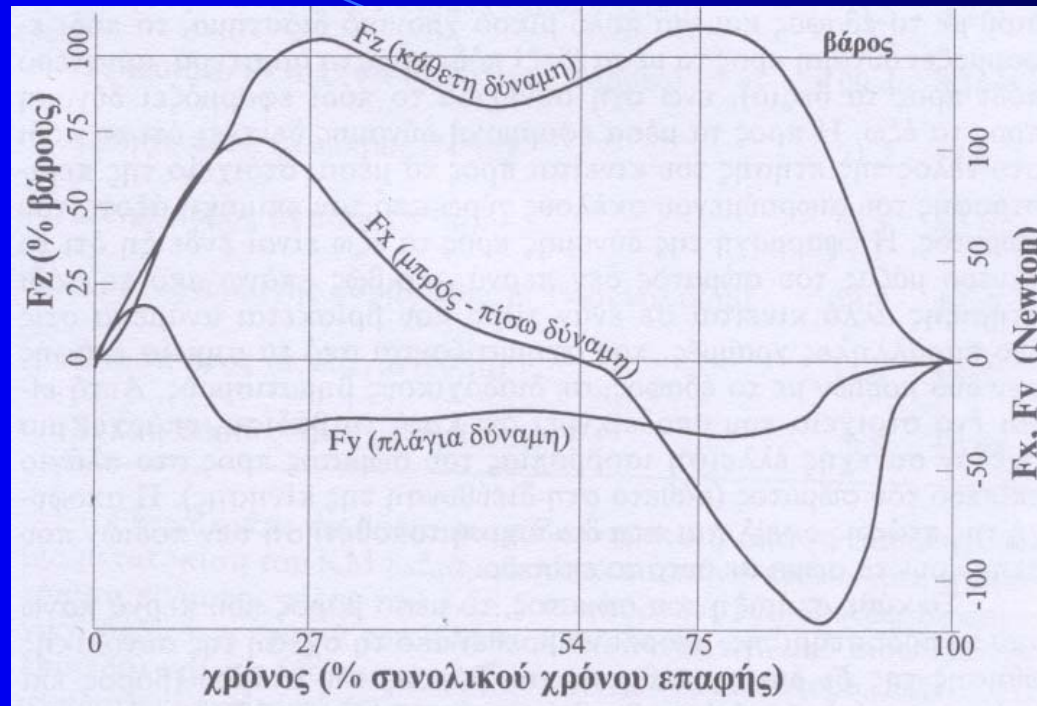
# GRF στο κατακόρυφο άλμα



- Η GRF αποτελείται από τέσσερις φάσεις:
  1. Η αρχική με την GRF να έχει τιμές μικρότερες του ΣΒ (αρνητική επιτάχυνση).
  2. Η φάση με την GRF να έχει τιμές μεγαλύτερες από το ΣΒ (θετική επιτάχυνση).
  3. Η φάση πτήσης, με μηδενικές τιμές (επιτάχυνση  $-9.81 \text{ m/s}^2$ ).
  4. Η φάση κρούσης (επιστροφή στο έδαφος).

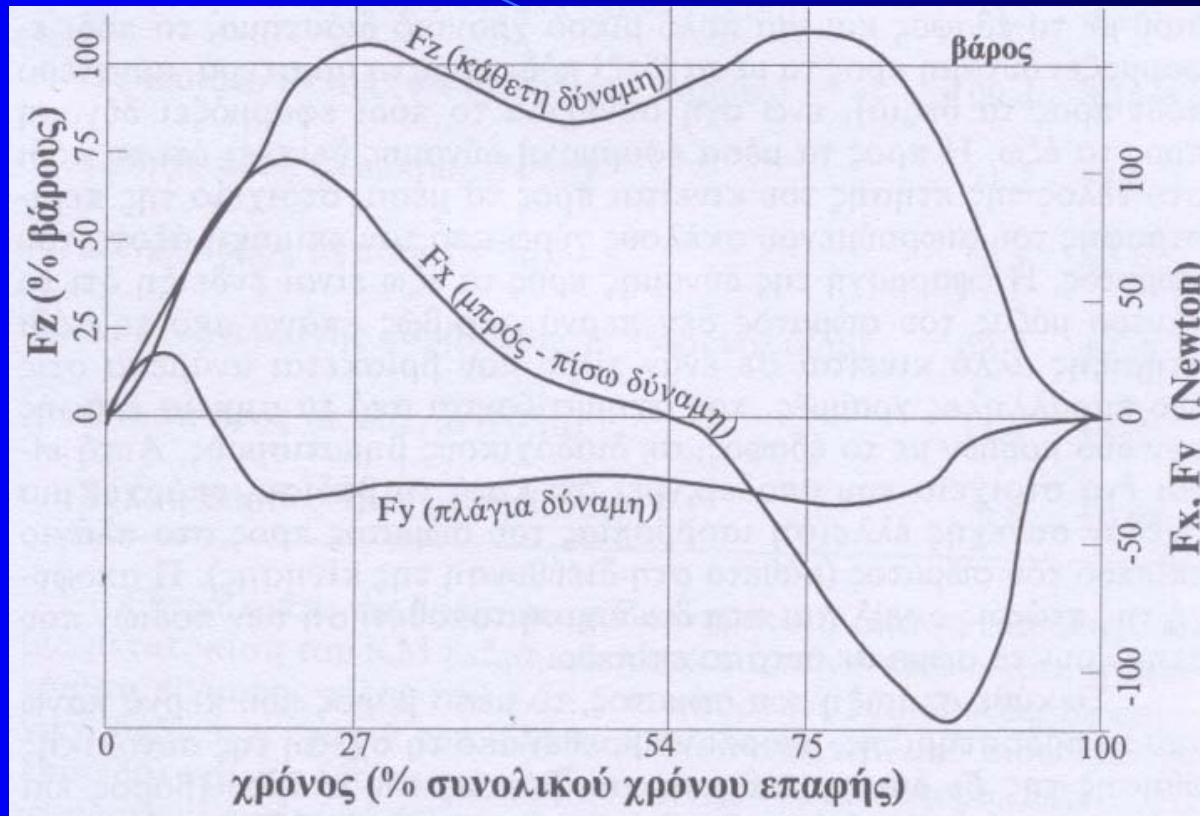


# GRF στο βάδισμα



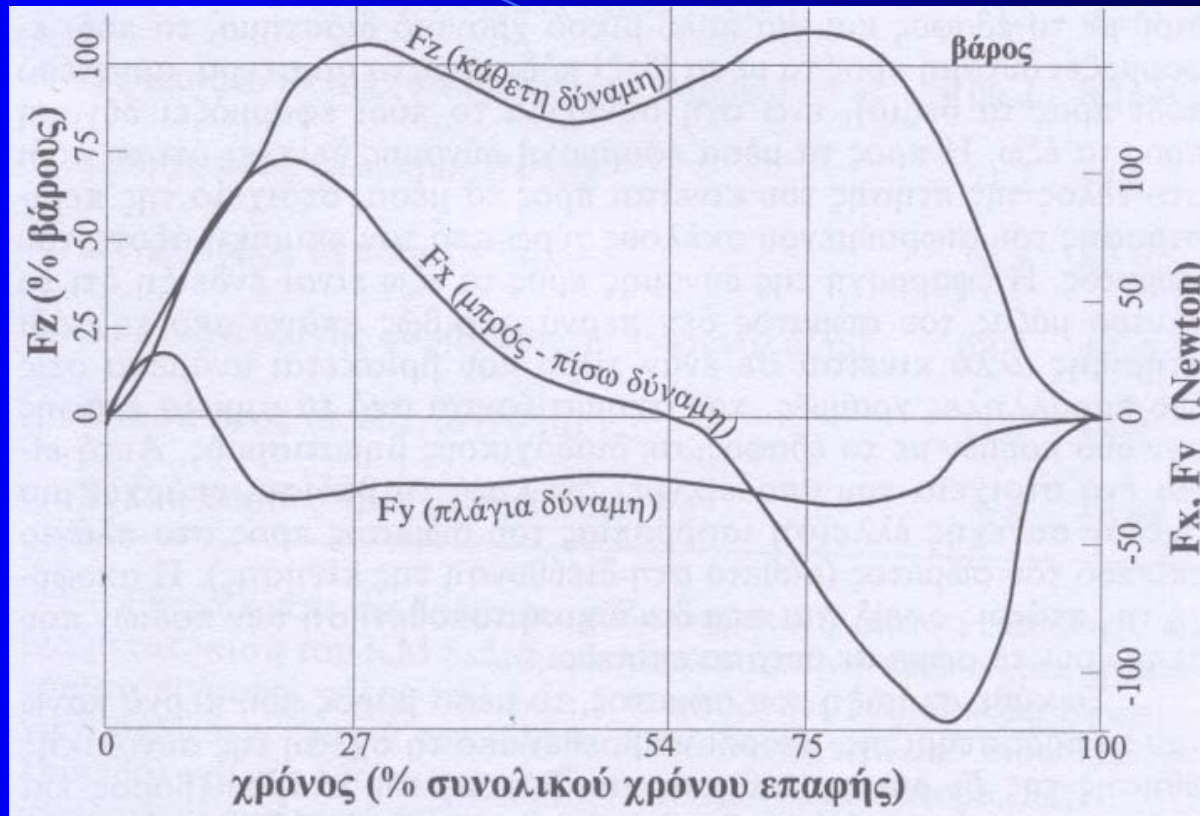
- Παράμετροι που μας ενδιαφέρουν είναι:
- Η χρονική διάρκεια του πατήματος και των διαφόρων φάσεων
- Ο τρόπος ανάπτυξης των τριών συνιστωσών
- Οι κρίσιμες χρονικές στιγμές
- Στοιχεία της ώθησης
- Η πρώτη χρονοποαράγωγος της δύναμης (ρυθμός ανάπτυξής της)

# GRF στο βάδισμα



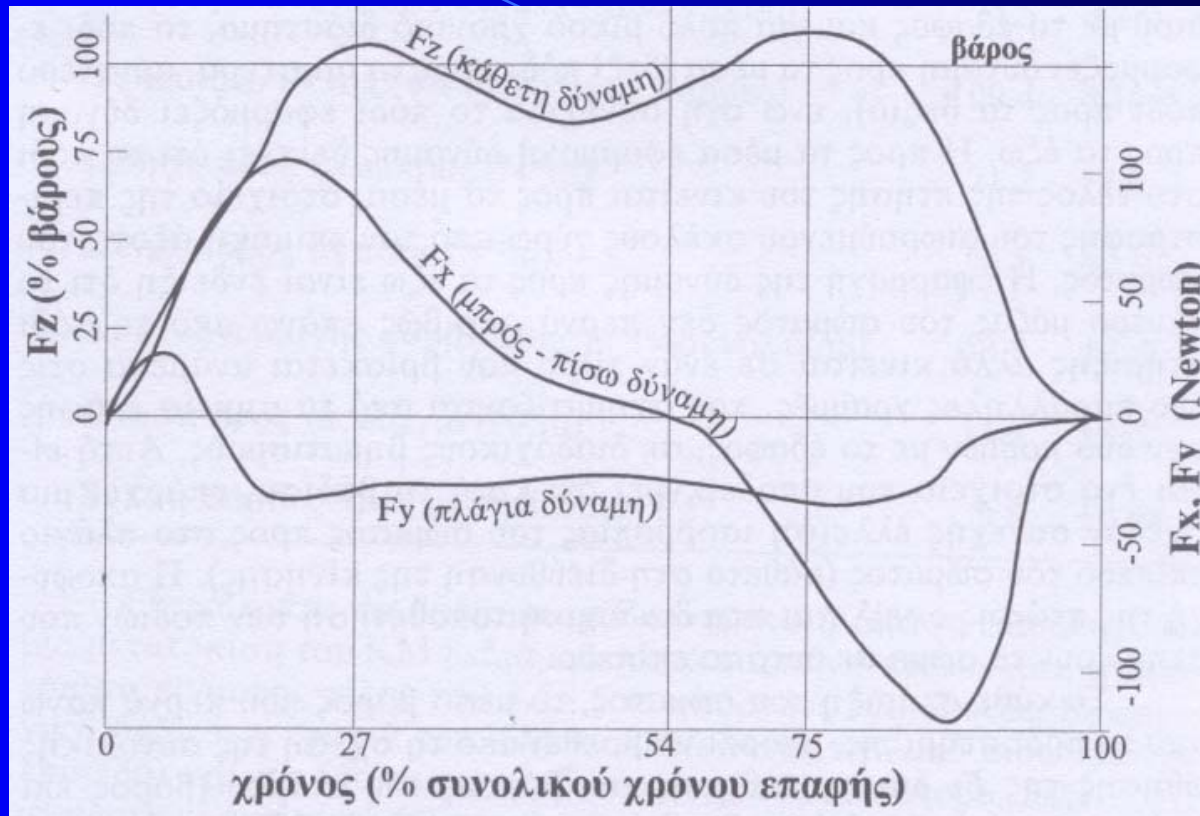
- Στην κατακόρυφη έχουμε δύο τοπικά μέγιστα και ένα ελάχιστο.

# GRF στο βάδισμα



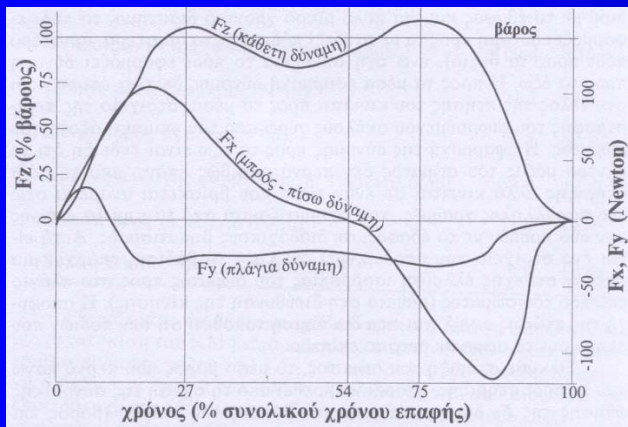
- Στην οριζόντια συνιστώσα φάση απόσβεσης και φάση ενεργητικής ώθησης

# GRF στο βάδισμα



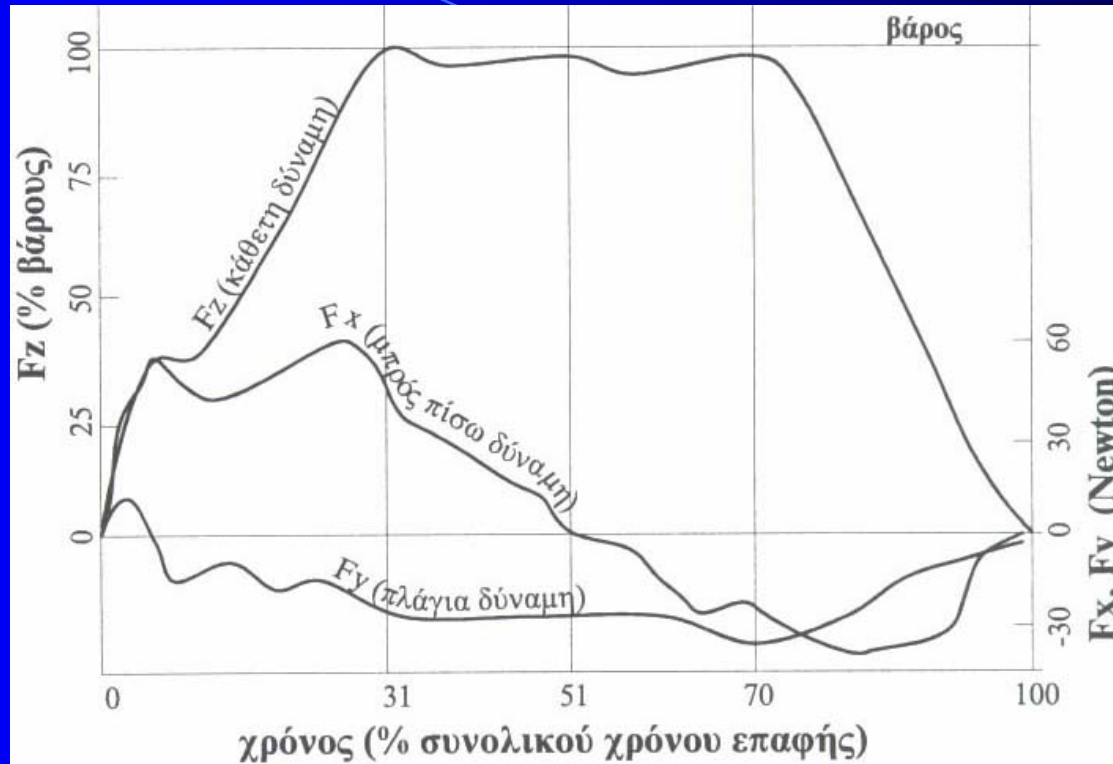
- Στην πλάγια συνιστώσα, στην αρχή εφαρμόζεται δύναμη προς τα μέσα και μετά προς τα έξω.
- Αυτό σημαίνει ότι το ΚΜΣ δεν περνά ακριβώς πάνω από το σημείο στήριξης (συνεχής έλλειψη ισορροπίας προς το πλάγιο επίπεδο – αποφυγή πτώσης με τη διαδοχική τοποθέτηση των ποδιών).

# GRF στο βάδισμα



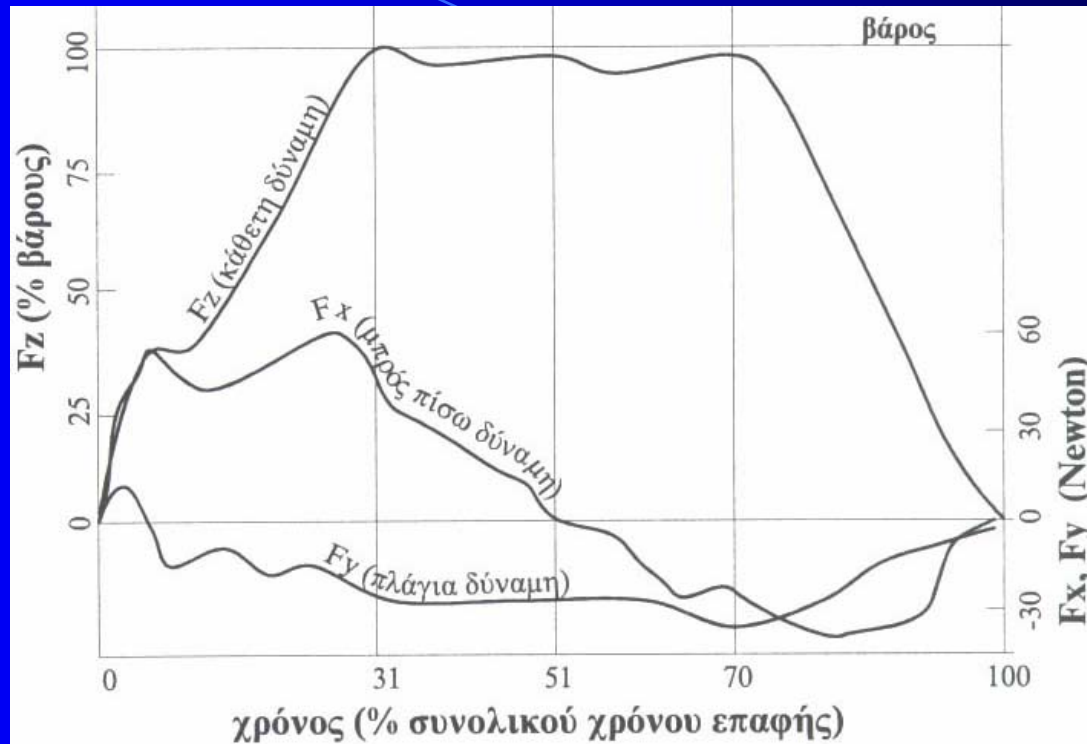
Συνολικός χρόνος επαφής με το έδαφος (ms)	773.6	±96.4
Χρόνος πρώτου Fz max (% συνολικού)	27.5	±3.5
Πρώτο Fz max (% σωματικού βάρους)	104.1	±8.2
Χρόνος τελευταίου Fz max (%συνολικού)	74.5	±3.7
Τελευταίο Fz max (% σωματικού βάρους)	109.4	±10.9
Ωθηση προς τα εμπρός (N*m)	21.2	±5.9
Ωθηση προς τα πίσω (N*m)	20.1	±4.9
Χρόνος αλλαγής φοράς ώθησης (%συνολικού)	53.9	±3.5
Ωθηση προς τα πλάγια (N*m)	15.3	±6.5
Σχέση Βάρους προς μέση δύναμη Fz	0.8	±0.08

# GRF στο παθολογικό βάδισμα



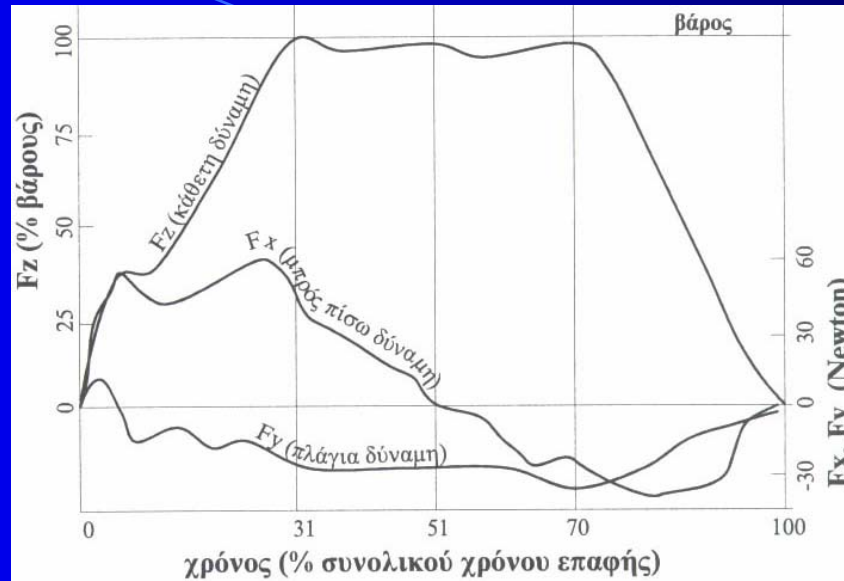
- Οι παθήσεις που αντανακλώνται στο βάδισμα μπορεί να είναι ορθοπεδικής αλλά και νευρικής ή νευρομυϊκής μορφής.
- Οι GRF στα άτομα που πάσχουν από Parkinson έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές από αυτές των φυσιολογικών ατόμων.

# GRF στο παθολογικό βάδισμα



- Οι GRF των Παρκινσονικών παρουσιάζουν αυξομειώσεις με μεγάλη συχνότητα και στις τρεις συνιστώσες.
- Στην κατακόρυφη παρουσιάζεται πλατό μεταξύ των δύο μέγιστων.
- Το τοπικό ελάχιστο που παρουσιάζεται στα φυσιολογικά άτομα οφείλεται στην κλίση του ισχίου και στην ελαφρά κάμψη του γονάτου του ποδιού στήριξης (ο Παρκινσονικός δεν έχει αυτή τη δυνατότητα και γι αυτό δεν μειώνεται η επιβάρυνση του ποδιού σε αυτή τη φάση).

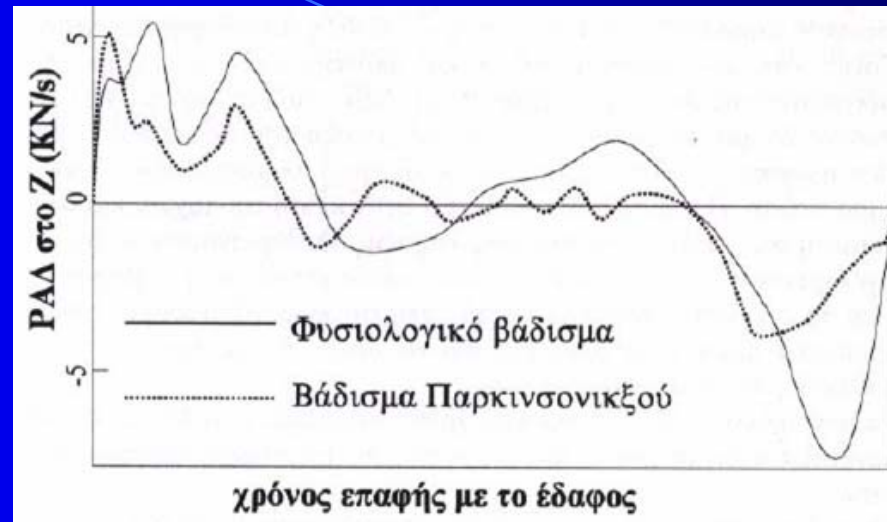
# GRF στο παθολογικό βάδισμα



- Οι Παρκινσονικοί παρουσιάζουν:
  1. Μεγαλύτερο χρόνο στήριξης (μικρότερη ταχύτητα βαδίσματος).
  2. Μικρότερη μέγιστη δύναμη στην κατακόρυφη συνιστώσα
  3. Γρηγορότερη εμφάνιση του πρώτου τοπικού μέγιστου (ρίχνουν το βάρος στο πόδι στήριξης νωρίτερα, με μεγαλύτερη κρούση – μεγαλύτερη επιβάρυνση).
  4. Μικρότερες ωθήσεις στον προσθιοπίσθιο άξονα (τα πόδια τους όχι μέσα προώθησης αλλά ως μέσα στήριξης).
  5. Η σχέση της κατακόρυφης GRF προς το βάρος μικρότερη των φυσιολογικών.



# GRF στο παθολογικό βάδισμα



- Η πρώτη χρονοπαράγωγος της κατακόρυφης GRF δείχνει το ρυθμό ανάπτυξής της.
- Ο Παρκινσονικός παρουσιάζει μικρότερες απόλυτες τιμές, όμως παρόλα αυτά παρουσιάζει το πρώτο τοπικό μέγιστο πολύ νωρίτερα (κρούση χωρίς απορρόφηση και σπατάλη ενέργειας χωρίς τη χρήση των ελαστικών στοιχείων του μυοσκελετικού).
- Στο τέλος της στήριξης ανασηκώνει το πόδι με πιο αργό ρυθμό (έπεται αιώρησή του) λόγω ελλιπούς ελέγχου. Το σώμα ήδη έχει κινηθεί προς τα μπροστά, έχουμε έλλειψη ισορροπίας και αναγκαστικά το επόμενο πόδι χτυπά γρήγορα στο έδαφος.

# GRF σε διάφορες δραστηριότητες

MOVEMENT	FOOTWEAR	v [m/s]	F(max) [N]	F(max)/ BW	AUTHOR	YEAR
WALKING	barefoot	1.3	*385	0.55	Cavanagh	1981
	army boots	1.3	*259	0.37	"	"
	street shoes	1.3	*189	0.27	"	"
RUNNING (HEEL)	run. shoe	4.5	*1540	2.2	Cavanagh	1980
	run. shoe "hard"	4.0	2000	*2.9	Nigg	1980
	run. shoe "soft"	4.0	1100	*1.6	"	"
	run. shoe	3.4	1365	2.0	Frederick	1981
	run. shoe	3.8	1590	2.3	"	"
	run. shoe	4.5	1963	2.9	"	"
	run. shoe	3.0	1345	*2.0	Nigg	1987
	run. shoe	4.0	1521	*2.2	"	"
	run. shoe	5.0	1799	*2.6	"	"
	run. shoe	6.0	2070	*3.0	"	"
RUNNING (TOE)	run. shoe	4.0	300	*0.4	Denoth	1980
TAKE-OFF FOR JUMP	spikes	2.0	1000	*1.4	Nigg	1981
	spikes	4.0	2300	*3.3	"	"
	spikes	6.0	3700	*5.4	"	"
	spikes	8.0	5700	*8.3	"	"
	run. shoe	2.0	1400	*2.0	"	"
	run. shoe	4.0	2000	*2.9	"	"
	run. shoe	7.0	2900	*4.2	"	"

# 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.