

Κίνηση Κινητικός Έλεγχος Ιδιοδεκτικότητα & Κιναίσθηση

Δρ. Παναγιώτης Β. Τσακλής

Καθηγητής

Εμβιομηχανικής & Εργονομίας

ΤΕΦΑΑ - ΠΘ



*Res. Assoc Department of Molecular Medicine & Surgery
Karolinska Institutet*



Η ανθρώπινη κίνηση

Ερωτήσεις.....

Πως χρησιμοποιείται η αισθητηριακή πληροφόρηση από το περιβάλλον και το σώμα για την επιλογή και τον έλεγχο της κίνησης;;;;;

Πως το ΚΝΣ καταλήγει και επιλέγει την πρόκληση συγκεκριμένων κινητικών απαντήσεων από το συνολικό σχεδιασμό του νευροκινητικού συστήματος, έτσι ώστε να μπορεί να προκαλεί φυσιολογική εναρμοσμένη κίνηση;;;;;

Η ανθρώπινη κίνηση

Φυσιολογική Κίνηση.....

Προκύπτει από την αλληλεπίδραση

:

- **Του ατόμου**
- **Της δραστηριότητας**
- **Του περιβάλλοντος**

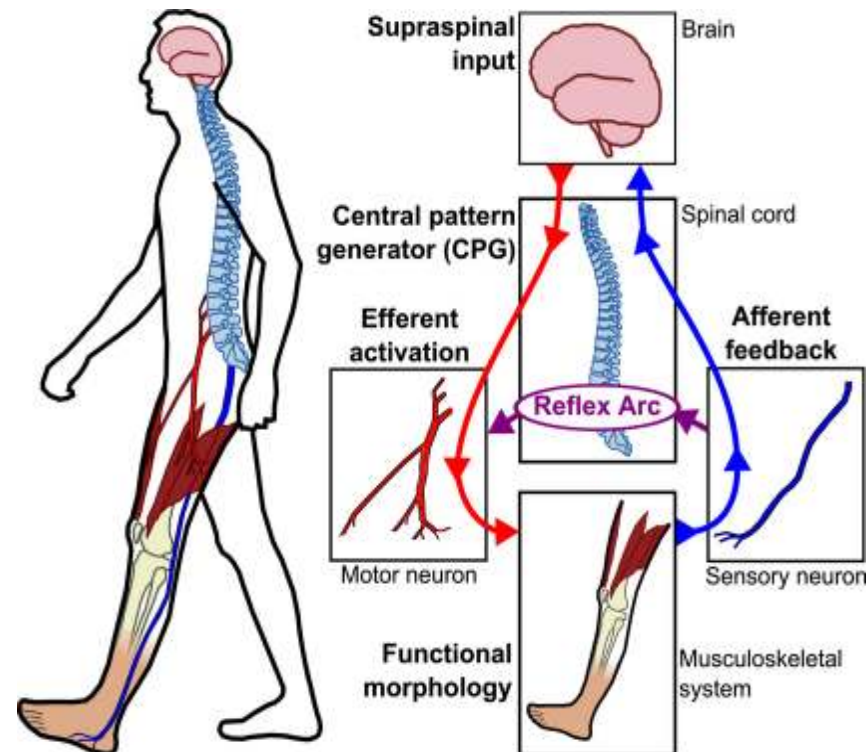
Το άτομο παράγει κινήσεις, με σκοπό την ικανοποίηση των απαιτήσεων της επικαλούμενης δραστηριότητας εντός ενός συγκεκριμένου περιβάλλοντος

Η ανθρώπινη κίνηση

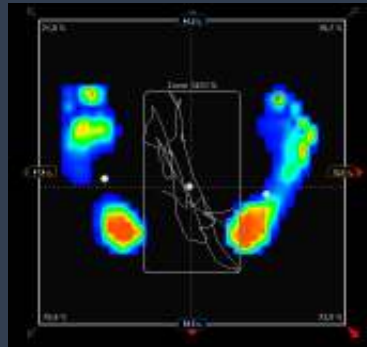
Motor Control

Η ικανότητα του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος (ΚΝΣ) να παράγει σκόπιμα, συντονισμένα κινήσεις αλληλοεπιδρώντας με το υπόλοιπο σώμα και με το περιβάλλον.

Mark L. Latash et al 2010,

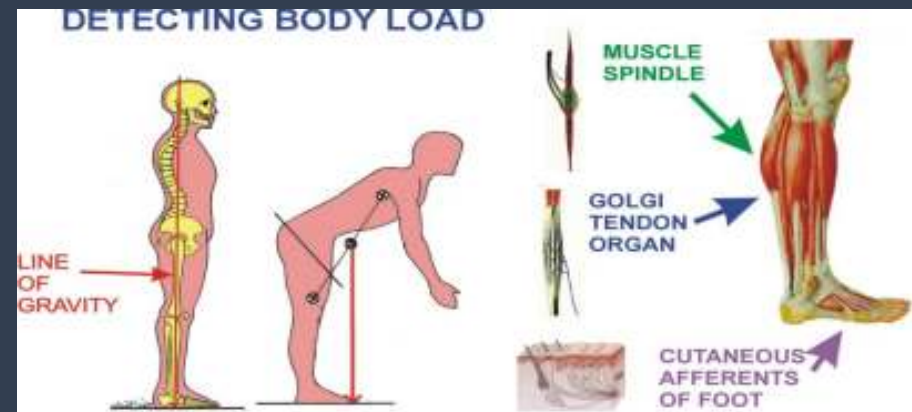
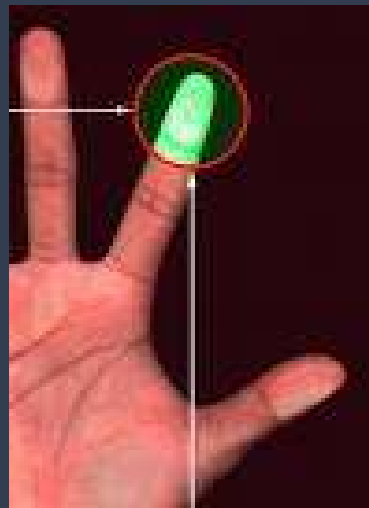
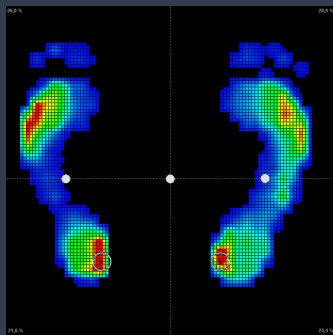
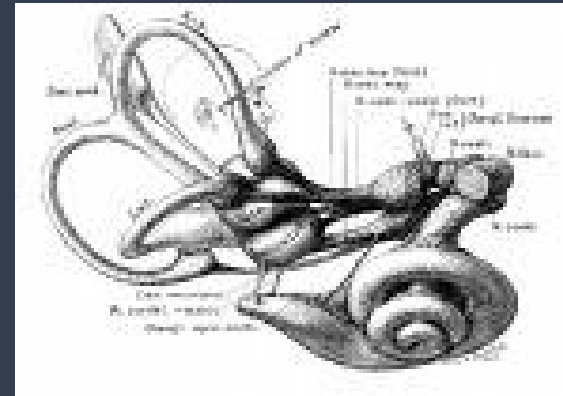
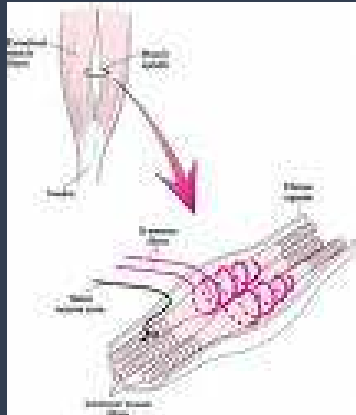


- Ο Μυοσκελετικός Κινητικός Έλεγχος (ΜΚΕ), αποτελεί τη διαδικασία μέσω της οποίας δίνεται η δυνατότητα σε ένα άτομο, να εκπληρώσει τις κινησιολογικές απαιτήσεις κατά τη διάρκεια ενός δεδομένου σκοπού ή μίας καθημερινής δραστηριότητας, όπως η βόδιση, η ισορροπία κ.α., προσαρμόζοντας και συγχρονίζοντας τις συνιστώσες του Νεύρο-Μυο-Σκελετικού του συστήματος...



- Για τον έλεγχο των καθημερινών δραστηριοτήτων, το ΚΝΣ συντονίζει τα στοιχεία της στάσης, τα οποία σταθεροποιούν το σώμα, με τα πρωταρχικά συνθετικά της κίνησης που πρόκειται να γίνει, μέσω μίας εσωτερικής «αντίληψης-παρουσίασης» της στάσης του σώματος, περιλαμβάνοντας ένα μοντέλο της γεωμετρίας του σώματος, των κινητικών του στοιχείων και του προσανατολισμού του (σε βαρυτικό πεδίο...)

- Για να λειτουργήσει στην καθημερινότητα, ένα άτομο θα πρέπει να είναι ικανό να διατηρεί πολλαπλές στάσεις-θέσεις, να αντιδρά σε εξωγενείς ενοχλήσεις και να χρησιμοποιεί αυτόματες **προσαρμογές** στη στάση, ώστε να προηγείται των εκούσιων κινήσεων...

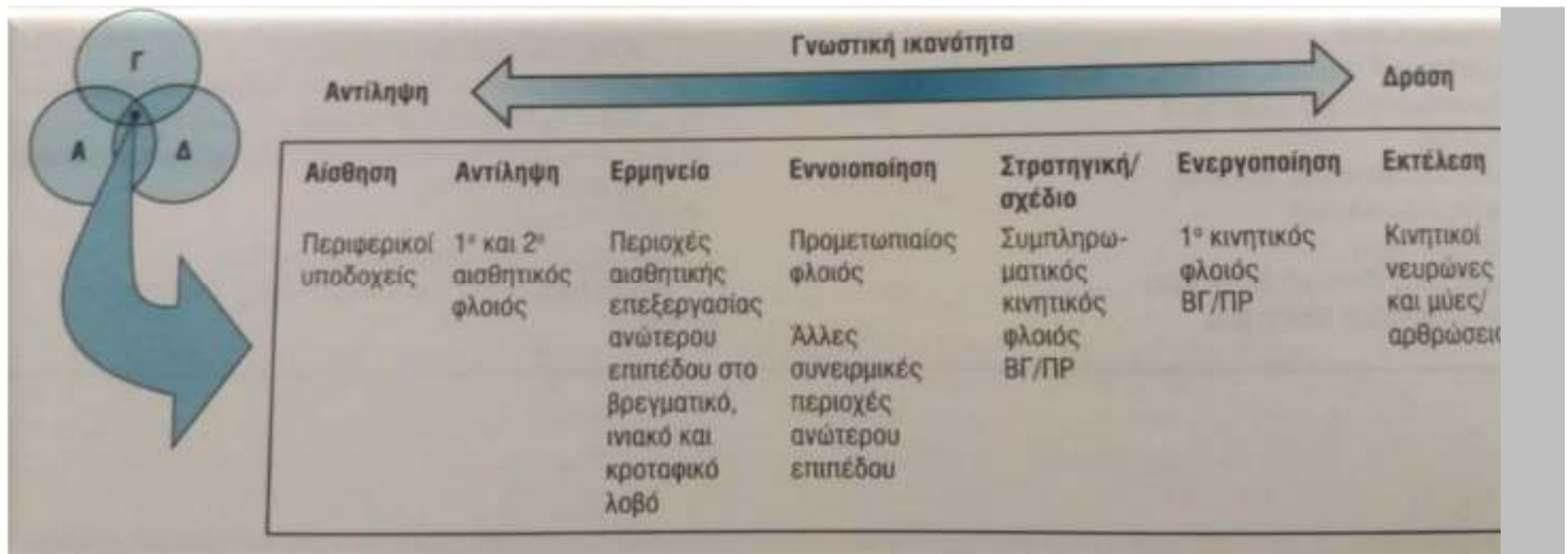


Η ανθρώπινη κίνηση

Η κίνηση

Προκύπτει από την αλληλεπίδραση μεταξύ των αντιληπτικών και των εκτελεστικών συστημάτων (δράσης), με τη γνωστική ικανότητα να επηρεάζει τα συστήματα αυτά σε πολλά και διαφορετικά επίπεδα

Shumway-Cook and Woollacott 2012



Η ανθρώπινη κίνηση

Η κίνηση

Επιτυγχάνεται μέσω συνεργατικής προσπάθειας πολλών εγκεφαλικών και περιφερικών δομών, οι οποίες οργώνονται τόσο μέσω:

- **Ιεραρχικής** επεξεργασίας (εντός των ανιόντων επιπέδων του ΚΝΣ)



Motor control theories

- **Παράλληλης κατανεμημένης επεξεργασίας**, δηλαδή ταυτόχρονης επεξεργασίας πολλών διαφορετικών δομών (ΚΝΣ, ΠΝΣ, ΜΣ)

Η ανθρώπινη κίνηση

Ο κινητικός έλεγχος συχνά αναφέρεται και με την χρήση του όρου νευρομυϊκός έλεγχος

*Νευρομυϊκός έλεγχος (από αρθρικής άποψης) ορίζεται η ασυνείδητη ενεργοποίηση δυναμικών δραστηριοτήτων, οι οποίες πραγματοποιούνται με στόχο την προετοιμασία **για**, αλλά και **από** την φόρτιση και κίνηση των αρθρώσεων, με στόχο τη διατήρηση και αποκατάσταση της αρθρικής σταθερότητας.*

Η ανθρώπινη κίνηση

Κινητικός έλεγχος Vs Νευρομυϊκός συντονισμός

Κινητικός έλεγχος

Η ικανότητα του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος (ΚΝΣ) να παράγει σκόπιμα, συντονισμένα κινήσεις αλληλοεπιδρώντας με το υπόλοιπο σώμα και με το περιβάλλον.

Νευρομυϊκός έλεγχος

Η ασυνείδητη ενεργοποίηση δυναμικών δραστηριοτήτων, οι οποίες πραγματοποιούνται με στόχο την προετοιμασία για, αλλά και από την φόρτιση και **κίνηση των αρθρώσεων**, με στόχο τη διατήρηση και αποκατάσταση της αρθρικής σταθερότητας.

Η ανθρώπινη κίνηση

Δομές που συμβάλουν στην αποδοχή, επεξεργασία, απόδοση της κίνησης

- Νωτιαίος μυελός (αρχική πρόσληψη & επεξεργασία της σωματοαισθητικής πληροφόρησης)
- Εγκεφαλικό στέλεχος (επόμενο επίπεδο νευρωνικής επεξεργασίας των σωματοαισθητικών ερεθισμάτων από το δέρμα, μύες κτλ)
- Παρεγκεφαλίδα (δέχεται ερεθίσματα από ΝΜ → παρέχουν ανατροφοδότηση για τις κινήσεις & εγκεφαλικό φλοιό → παρέχουν πληροφορίες για το σχεδιασμό των κινήσεων)
- Διεγκέφαλο (θάλαμος, υποθάλαμος)

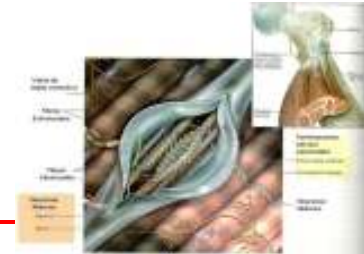
Η ανθρώπινη κίνηση

Δομές που συμβάλουν στην αποδοχή, επεξεργασία, απόδοση της κίνησης

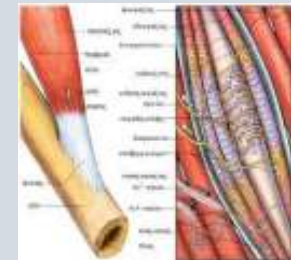
- Εγκεφαλικό φλοιός
 - Βασικά γάγγλια
 - Νευρικά κύτταρα (μεταφορά δυναμικού ενέργειας)
 - Αισθητικά / Αντιληπτικά συστήματα
 - Σωματοαισθητικό Σύστημα
- Σχεδιασμός κινητικών στρατηγικών

Η ανθρώπινη κίνηση

Περιφερικοί υποδοχείς....

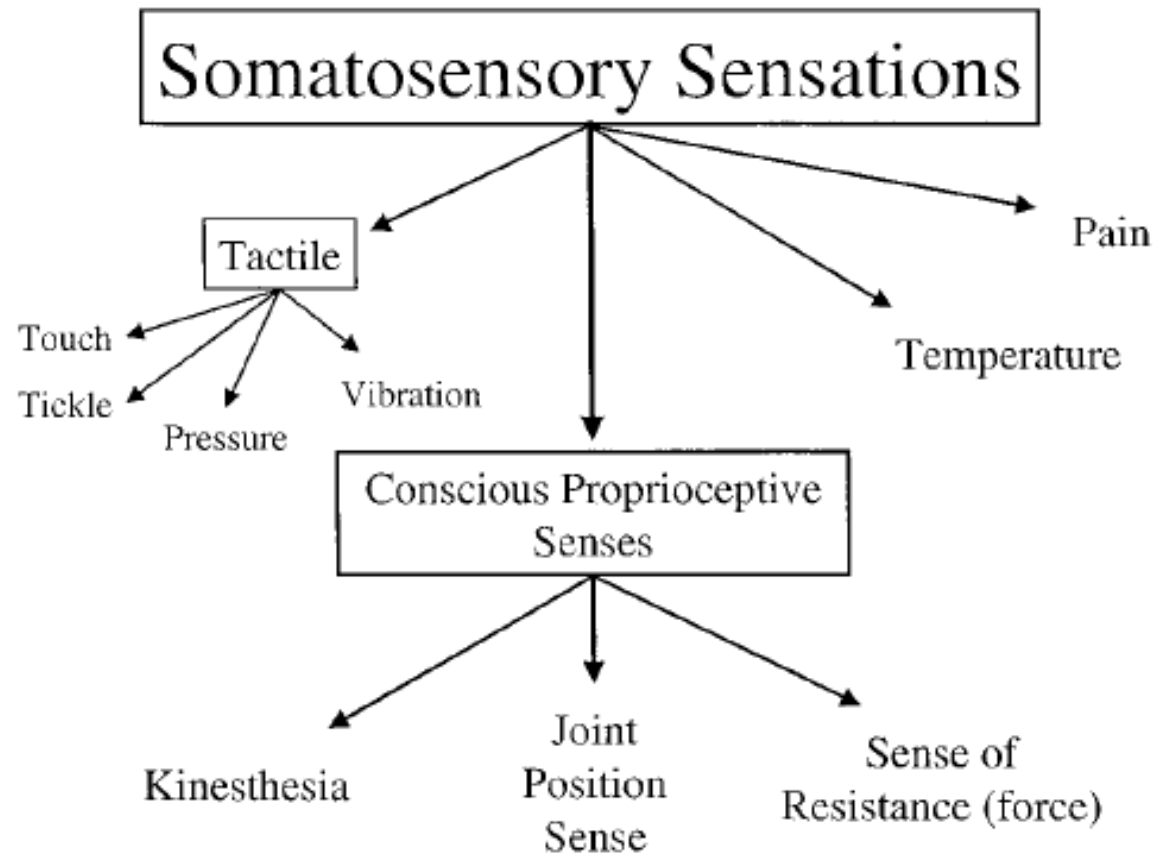


- Μυϊκή άτρακτος (ανίχνευση απόλυτου μυϊκού μήκους & αλλαγές αυτού)
- Τενόντια όργανα του Golgi (ανίχνευση μεταβολών τάσης)
- Αρθρικοί υποδοχείς (απολύξεις τύπου Ruffini & Pacinini, συνδεσμικοί υποδοχείς & ελεύθερες νευρικές απολήξεις)
- Αισθητικοί υποδοχείς (δίσκοι Merkel, σωματίδια Meissner, Θερμουποδοχείς, αλγουποδοχείς)



Η ανθρώπινη κίνηση

Σωματοαισθητικό σύστημα



Sensations arising from somatosensory sources.

Η ανθρώπινη κίνηση

Σωματοαισθητικό/αισθητικοκινητικό σύστημα

- *αισθητικό,*
- *κινητικό,*
- *Κεντρική ενσωμάτωση/ολοκλήρωση και εξελικτικές εμπλεκόμενες διαδικασίες στη διατήρηση της αρθρικής ομοιόστασης κατά τη διάρκεια των κινήσεων του σώματος (λειτουργική αρθρική σταθερότητα)*

Ιδιότητες μυϊκής αίσθησης

Sherrington (1950–1970).....

Το «ιδιοδεκτικό πεδίο» περιλαμβάνει υποδοχείς, οι οποίοι προσαρμόζονται στις αλλαγές που συμβαίνουν στον οργανισμό.

Περιέγραψε τέσσερις ιδιότητες της μυϊκής αίσθησης:

- (1) στάση,*
- (2) παθητική κίνηση,*
- (3) ενεργητική κίνηση και*
- (4) αντίσταση στην κίνηση*



Ιδιότητες μυϊκής αίσθησης

Το «ιδιοδεκτικό πεδίο» περιλαμβάνει υποδοχείς, οι οποίοι προσαρμόζονται στις αλλαγές που συμβαίνουν στον οργανισμό.

Αυτές οι μορφές είναι συνώνυμες με:

(α) την αίσθηση της **θέσης**, δηλαδή, την ικανότητα να αναγνωρίζει κάποιος συνειδητά, πού προσανατολίζονται τα μέλη του σώματός στο χώρο,

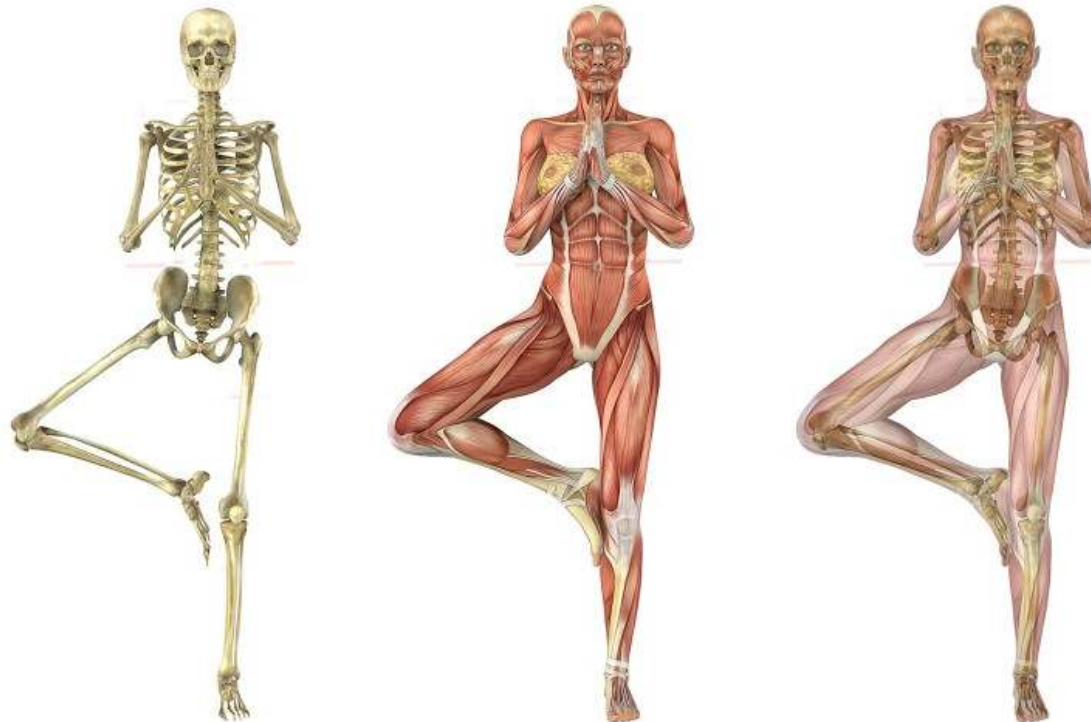
(β) την ικανότητα να εκτιμάται συνειδητά η **κίνηση** στην άρθρωση και

(γ) την αίσθηση της αντίστασης, την ικανότητα να υπολογίζονται οι δυνάμεις που παράγονται μέσα στην άρθρωση.

Η ανθρώπινη κίνηση

Ζωτικός παράγοντας στην φυσιολογική κίνηση αποτελούν:

- *Ιδιοδεκτικότητα*
- *Κιναίσθηση*



Η ανθρώπινη κίνηση

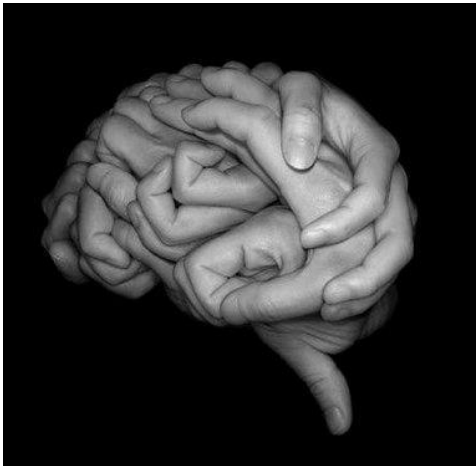
Φαίνεται πως στη διεθνή αρθρογραφία.....δυσκολίες πηγάζουν από την αρχική περιγραφή του Sherrington

για την αίσθηση της κοινής θέσης (ή την ικανότητα να προσδιορίζει πού συγκεκριμένο τμήμα του σώματος βρίσκεται ακριβώς στο χώρο → (ιδιοδεκτικότητα)

και την κιναισθησία (ή την αίσθηση ότι το τμήμα του σώματος έχει μετακινηθεί → (κιναισθηση).

Η ανθρώπινη κίνηση

Proprioception



Είναι αλληλένδετες έννοιες αλλά.....

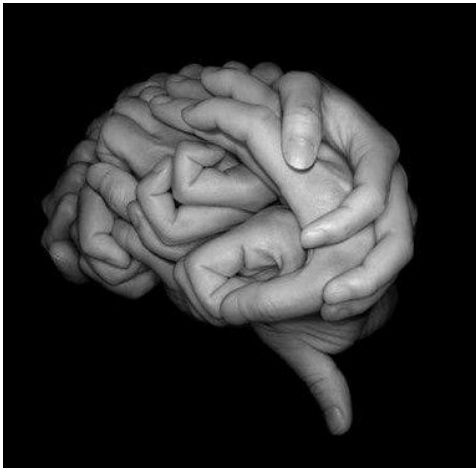
η κιναιίσθηση αφορά την αίσθηση της κίνησης ενώ

η ιδιοδεκτικότητα αφορά κυρίως την αίσθηση της θέσης

Kinaesthesia/kinesthesis

Η ανθρώπινη κίνηση

Proprioception



Kinaesthesia/kinesthesis

Η αίσθηση της σχετικής θέσης των τμημάτων του σώματος και των τμημάτων αυτού στο χώρο (αίσθηση της θέσης του σώματος)

Sherrington CS. The muscular sense. In: Schafer EA, editor. Textbook of physiology. Edinburgh: Pentland; 1900. p 1002–1025.

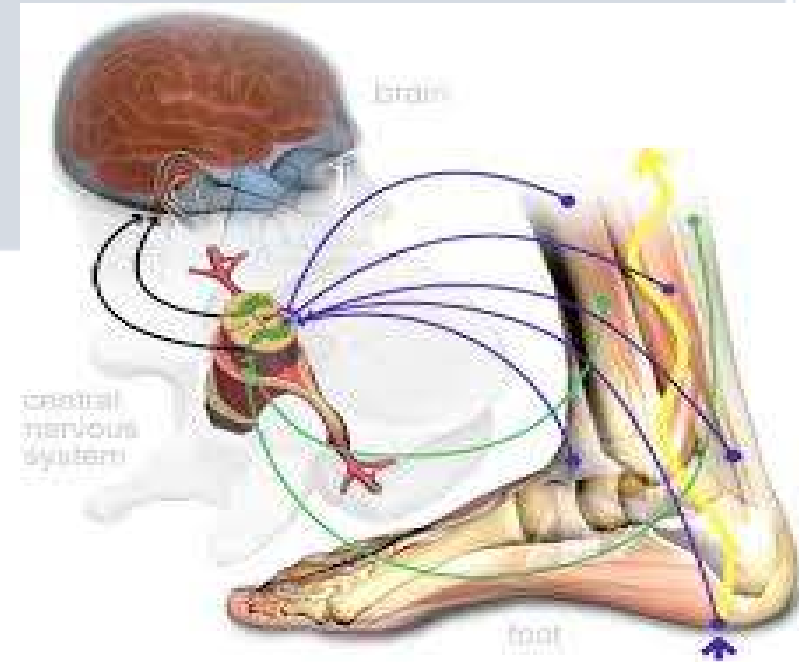
Η ικανότητα του σώματος να αισθάνεται τη θέση και την κίνηση των άκρων και του κορμού (αίσθηση της κίνησης του σώματος)

Bastian HC (1888). The 'muscular sense'; its nature and cortical localisation. Brain 10, 1–137.

Ιδιοδεκτικότητα vs Κιναίσθηση

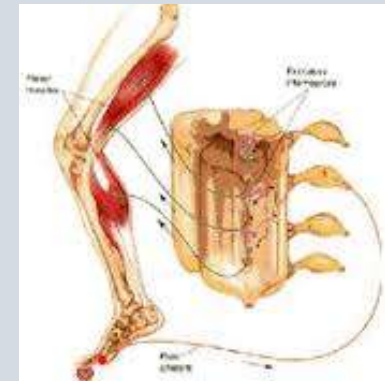
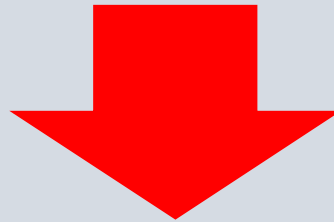
Ο όρος ιδιοδεκτικότητα συχνά χρησιμοποιείται για να περιγράψει τις φυσιολογικές διαδικασίες μέσα στο αισθητικοκινητικό σύστημα, συμπεριλαμβάνοντας:

- την αντίληψη της θέσης στο χώρο,
- την ισορροπία



Ιδιοδεκτικότητα vs Κιναίσθηση

Η αισθητική πληροφορία (ιδιοδεκτικότητα), ταξιδεύει μέσω προσαγωγών μονοπατιών στο Κ.Ν.Σ., όπου ολοκληρώνεται μαζί με πληροφορίες από άλλα επίπεδα του νευρικού συστήματος



προκαλώντας κινητικές αντιδράσεις οι οποίες είναι βασικές για συντονισμένα κινητικά πατέντα και λειτουργική σταθερότητα.

Ιδιοδεκτικότητα vs Κιναίσθηση

Η κιναισθησία είναι η επίγνωση της αλλαγής της θέσης των μελών του σώματος, της κίνησης και της δύναμης.

- Τα κιναισθητικά ερεθίσματα προέρχονται από τη δραστηριότητα των αισθητικών υποδοχέων, οι οποίοι παρέχουν στο Κ.Ν.Σ. πληροφορίες σχετικά με το μήκος των μυών, τις αλλαγές που συμβαίνουν σε αυτό και τις δυνάμεις που αναπτύσσονται στους μύες.
- Η κιναισθηση μας επιτρέπει να αντιλαμβανόμαστε την ακριβή θέση των μελών του σώματος στο χώρο, τότε αυτά κινούνται, καθώς και τις μηχανικές ιδιότητες των αντικειμένων (π.χ. βάρος).

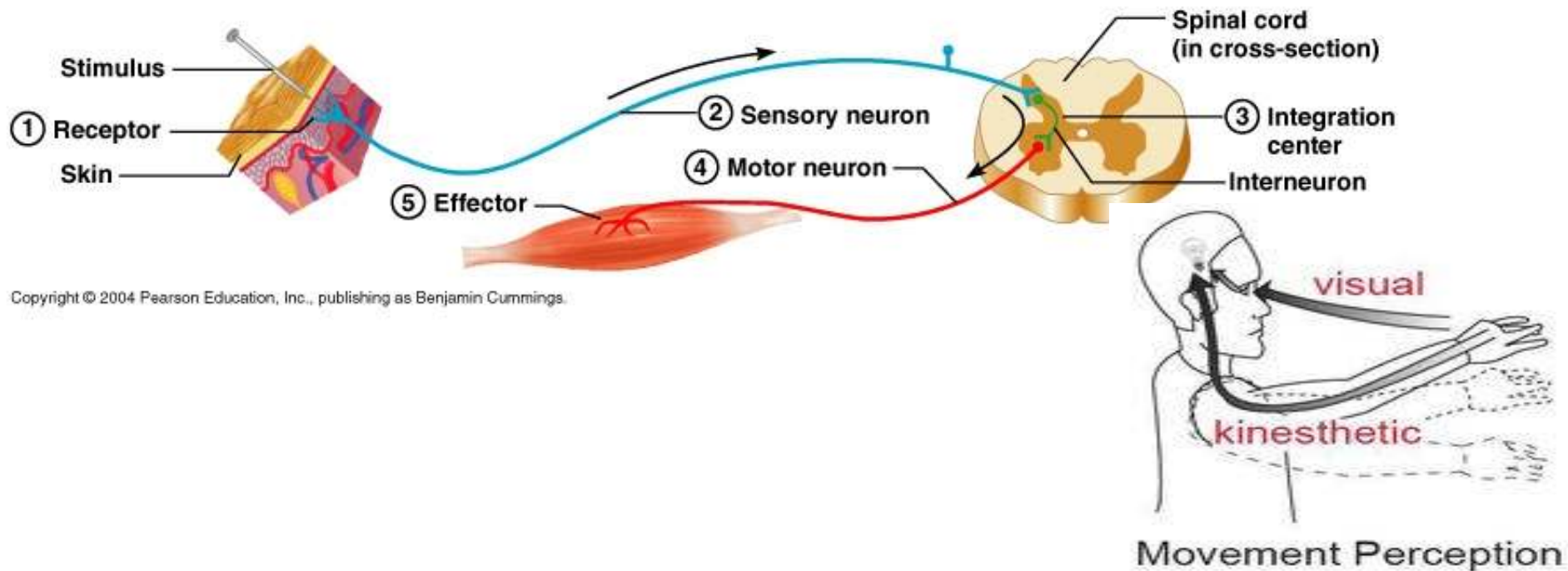
Ιδιοδεκτικότητα vs Κιναίσθηση

Η κιναισθηση

- Μας προσφέρει τη δυνατότητα να αντιλαμβανόμαστε κυρίως **αλλαγές στη θέση των μελών του σώματος και πως αυτά αντιδρούν στα φορτία**
- Συμβάλλει στη εκμάθηση συντονισμένων κινητικών προτύπων

Ιδιοδεκτικότητα vs Κιναίσθηση

Χρησιμοποιούν κοινούς μηχανισμούς αλλά.....παρουσιάζουν και διαφορές αναφορικά με τη φυσιολογία των μηχανισμών λειτουργίας.



Ιδιοδεκτικότητα vs Κιναίσθηση

Η ιδιοδεκτικότητα είναι ουσιαστικά ένας μηχανισμός **ανάδρασης**.

Δηλαδή, το σώμα μετακινείται (ή έχει μετακινηθεί) και στη συνέχεια οι πληροφορίες γι' αυτό επιστρέφονται στον εγκέφαλο, με αποτέλεσμα να γίνονται επακόλουθες προσαρμογές.

«Feedback»

Μελέτες που ασχολούνται με την κατανόηση του μηχανισμού των συνδεσμικών κακώσεων (ΠΔΚ, γόνατο) υποδεικνύει ότι ο ρόλος των αντανακλαστικών μπορεί να είναι πιο περιορισμένος λόγω των μακρών λανθάνουσών τους χρόνων (ακόμα και στο επίπεδο του νωτιαίου μυελού).

«Feedforward»

Προσθέτουν ένα συστατικό στοιχείο, όπου η ανάλογη αντίδραση θα έχει επίσης κεντρική πληροφόρηση σχετικά με τη θέση του σώματος πριν από την επίτευξή του.

Ιδιοδεκτικότητα vs Κιναίσθηση

Έλεγχος στάσης-ισορροπίας.....

Συστατικά

- Αισθητηριακή ανίχνευση των κινήσεων του σώματος (*Feed-forward*)
- Εκτέλεση μυοσκελετικών απαντήσεων (*Feedback*)

- Η μυϊκή άτρακτος είναι υπεύθυνη για την αίσθηση της θέσης και της κίνησης,
- Τα τενόντια όργανα του *Golgi* παρέχουν την αίσθηση της τάσης,
- Το αιθουσαίο σύστημα την αίσθηση της ισορροπίας, και
- Η αίσθηση της «προσπάθειας» δημιουργείται στο ΚΝΣ

Ιδιοδεκτικότητα vs Κιναίσθηση

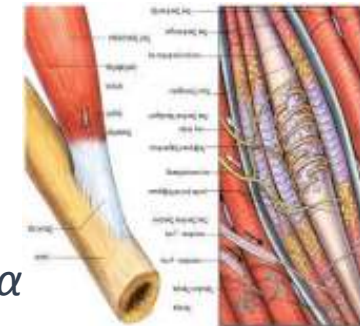
Αναφέρεται πως.....

- *Η μυϊκή άτρακτος είναι υπεύθυνη για την αίσθηση της θέσης και της κίνησης,*

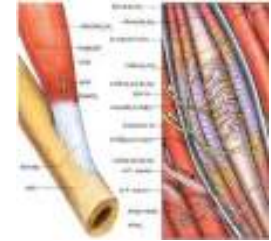
Όμως.....

φαίνεται να έχει αρκετά μειονεκτήματα ως αισθητήρα θέσης.....

και πως η μυϊκή άτρακτος παρέχει ένα δυνητικά διαφορούμενο σήμα



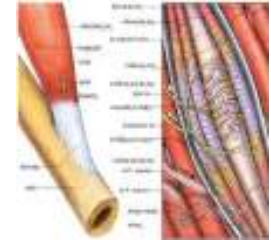
Ιδιοδεκτικότητα vs Κιναίσθηση



Αναφέρεται πως.....

- Το ερέθισμα της θέσης που παρέχεται από τη μυϊκή άτρακτος πιστεύεται ότι παράγεται από τον παθητικούς ιδιοδεκτικούς υποδοχείς, δηλαδή, ελλείψει της δραστηριότητας της κινητοποίησης.
- Καθώς όμως ο μυς είναι συσπάται, υπάρχει μια περίπου μονοτονική αύξηση στην ταχύτητα πυροδότησης του μήκους της μυϊκής ατράκτου το οποίο σήμα θεωρείται ότι ότι ερμηνεύεται κεντρικά ως προς τη θέση των άκρων

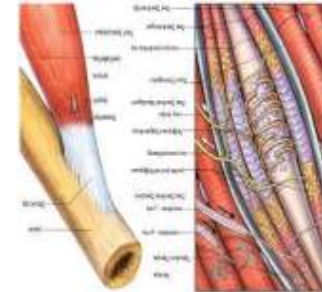
Ιδιοδεκτικότητα vs Κιναίσθηση



Αναφέρεται πως.....

- Σε σύγκριση με άλλες σωματικές αισθήσεις, το ΚΝΣ θα πρέπει να χρησιμοποιεί διαφορετικό κώδικα για να αντλεί πληροφορίες για το μήκος από τη μυϊκή άτρακτο.
- Θα πρέπει να ερμηνεύεται η αύξηση του ποσοστού πυροδότησης ως αύξηση του μήκους των μυών, συμμετέχοντας σε αυτό η όραση, η ακοή και η δερματική μηχανική αντίληψη, όπου η αύξηση του ποσοστού πυροδότησης ερμηνεύεται ως μια αύξηση του δυναμικού διέγερσης.

Ιδιοδεκτικότητα vs Κιναίσθηση



Δηλαδή.....

- Πιθανώς, αν το μήκος των μυών δεν αλλάξει, δεν υπάρχει

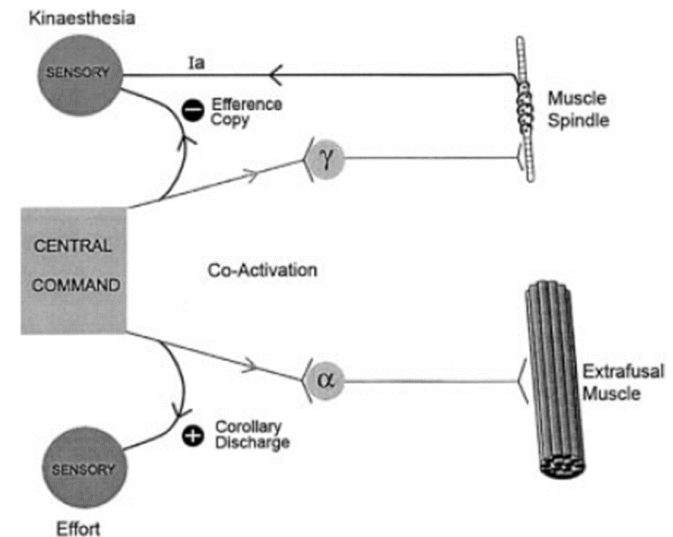
κανένα εξωτερικό ερέθισμα και.....

κατά συνέπεια **δεν υπάρχει η αίσθηση της κιναισθησίας**

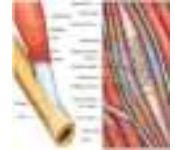
Σε αυτή την περίπτωση....

Θα λειτουργήσουν οι εσωτερικοί «παθητικοί» υποδοχείς-

Ιδιοδεκτικοί υποδοχείς



Ιδιοδεκτικότητα vs Κιναίσθηση

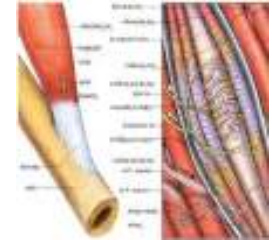


Σε μελέτες ατόμων με παράλυση μυών η αίσθηση της αναφέρεται πως.....

Αμφότερα.....η μυϊκή άτρακτος και τα τενόντια όργανα του Golgi συμβάλλουν στην έλεγχο της θέσης και τη κίνησης, ωστόσο,

.....υποστηρίζεται πως η μυϊκή άτρακτος δεν είναι κατάλληλη για τη σηματοδότηση της στατικής θέσης των άκρων ειδικά όταν αυτό επιτυγχάνεται με παθητική κινητοποίηση.

Ιδιοδεκτικότητα vs Κιναίσθηση

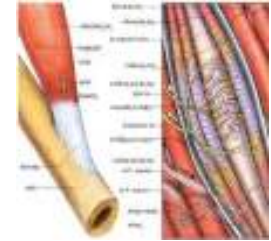


Αναφέρεται πως.....

Η αίσθηση της θέσης γίνεται πολύ πιο ακριβής αν χρησιμοποιείται ενεργή κίνηση/σύσπαση.

Κατά την ερμηνεία τέτοιων παρατηρήσεων αξίζει να αναφερθεί πως σε μελέτες της ιδιοδεκτικότητας των οφθαλμικών μυών εξετάζεται το ενδεχόμενο της σημασίας της συμβολής τόσο των εξερχόμενων όσο και τα εισερχόμενων σημάτων/ερεθισμάτων για την παραγωγή της κίνησης.

Ιδιοδεκτικότητα vs Κιναίσθηση



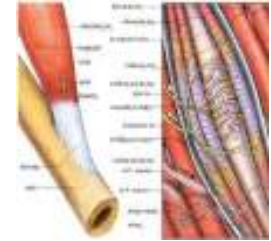
Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως.....

Όλες οι κινήσεις μας πραγματοποιούνται σε ένα βαρυντικό πεδίο και η υπέρβαση των βαρυντικών δυνάμεων μας παρέχει χωρικές ενδείξεις.

Δεν αποτελεί έκπληξη ότι, ελλείψει οπτικού ελέγχου, πχ οι αστροναύτες στο διάστημα αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην εκτέλεση των κινητικών διεργασιών.

Το ίδιο ισχύει και για τους δύτες.

Ιδιοδεκτικότητα vs Κιναίσθηση



Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως.....

Όλα αυτά σημαίνουν ότι θα πρέπει πάντα να εκτιμούμε τον ρόλο της περιφερειακής ανατροφοδότησης στην έννοια της θέσης.

Εν κατακλείδι.....Ιδιοδεκτικότητα vs Κιναίσθηση

Στην ουσία θα μπορούσαμε να πούμε πως.....

Η ιδιοδεκτικότητα αναφέρεται στις πληροφορίες οι οποίες προέρχονται από «εσωτερικές» περιφερικές περιοχές του σώματος οι οποίες συμβάλλουν στην διατήρηση του ελέγχου της στάσης, της αρθρικής σταθερότητας.

Η κιναισθηση αναφέρεται στις πληροφορίες οι οποίες προέρχονται όχι μόνο από «εσωτερικές» περιφερικές περιοχές του σώματος αλλά και «εξωτερικές» οι οποίες συμβάλλουν στην διατήρηση του ελέγχου της δυναμικής ισορροπίας, και του ελέγχου των λειτουργικών κινήσεων/δεξιοτήτων.

Εν κατακλείδι.....Ιδιοδεκτικότητα vs Κιναίσθηση

Σημείο κλειδί για τη διαφοροποίηση της ιδιοδεκτικότητας & της κιναισθησης

.....

είναι ο μηχανισμός λειτουργίας και ο ρόλος της μεταφοράς του ανάλογου ερεθίσματος της μυϊκής ατράκτου



Βιβλιογραφία

- Deusinger, R. H. (1984). Biomechanics in clinical practice. *Physical Therapy*, 64(12), 1860–8. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6505030>
- Gandevia, S. C., McCloskey, D. I., & Burke, D. (1992). Kinaesthetic signals and muscle contraction. *Trends in Neurosciences*, 15(2), 62–65. [https://doi.org/10.1016/0166-2236\(92\)90028-7](https://doi.org/10.1016/0166-2236(92)90028-7)
- Gregory, C. M., Embry, A., Perry, L., & Bowden, M. G. (2014). Quantifying human movement across the continuum of care: From lab to clinic to community. *Journal of Neuroscience Methods*, 231, 18–21. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2014.04.029>
- Henatsch, H.-D., & Langer, H. H. (1985). Basic Neurophysiology of Motor Skills in Sport: A Review. *International Journal of Sports Medicine*, 6(1), 2–14. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1025805>
- Hides, J. A., Stanton, W. R., Mendis, M. D., Gildea, J., & Sexton, M. J. (2012). Effect of motor control training on muscle size and football games missed from injury. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(6), 1141–1149. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318244a321>
- Inman, V. T., & Locomotion, H. (1966). Human Locomotion. *Can Med Assoc J*, 94(20), 1047–1054. [https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(07\)70004-0](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(07)70004-0)
- Latash, M. M. L., Levin, M. M. F., Scholz, J. P., & Schöner, G. (2010). Motor Control Theories and Their Applications. *Medicina (Kaunas)*, 46(6), 382–92. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2008.05.010>
- Proske, U. (2005). What is the role of muscle receptors in proprioception? *Muscle and Nerve*, 31(6), 780–787. <https://doi.org/10.1002/mus.20330>

Βιβλιογραφία

- Proske, U. (2006). Kinesthesia: The role of muscle receptors. *Muscle and Nerve*, 34(5), 545–558. <https://doi.org/10.1002/mus.20627>
- Proske, U., & Gandevia, S. C. (2009). The kinaesthetic senses. *Journal of Physiology*, 587(17), 4139–4146. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2009.175372>
- Riemann, B. L., & Lephart, S. M. (2002a). The sensorimotor system, part I: The physiologic basis of functional joint stability. *Journal of Athletic Training*, 37(1), 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2010.08.009>
- Riemann, B. L., & Lephart, S. M. (2002b). The Sensorimotor System , Part II : The Role. *Journal of Athletic Training*, 37(1), 80–84.
- Smidt, G. L. (1984). Biomechanics and physical therapy. A perspective. *Physical Therapy*, 64(12), 1807–1808.
- Winter, D. A. (1987). The biomechanics and motor control of human gait. <https://doi.org/>: [http://dx.doi.org/10.1016/0021-9290\(92\)90236-T](http://dx.doi.org/10.1016/0021-9290(92)90236-T)
- Zech, A., Hübscher, M., Vogt, L., Banzer, W., Hänsel, F., & Pfeifer, K. (2010). Balance Training for Neuromuscular Control and Performance Enhancement: A Systematic Review. *Journal of Athletic Training (National Athletic Trainers' Association)*, 45(4), 392–403. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-45.4.392>
- Borghese, N. A., Bianchi, L., & Lacquaniti, F. (1996). Kinematic determinants of human locomotion. *The Journal of Physiology*, 494 (Pt 3, 863–879. Retrieved from <http://search.proquest.com/docview/78432561?accountid=14542%5Cnhttp://dn3nh3eq7d.search.serialssolutions.com/directLink?&title=Kinematic+determinants+of+human+locomotion.&author=Borghese,+N+A;Bianchi,+L;Lacquaniti,+F&issn=00223751&title=The+Journa>