

Κεφάλαιο 1

ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΝΕΥΡΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑΣ

1.1. Εισαγωγή

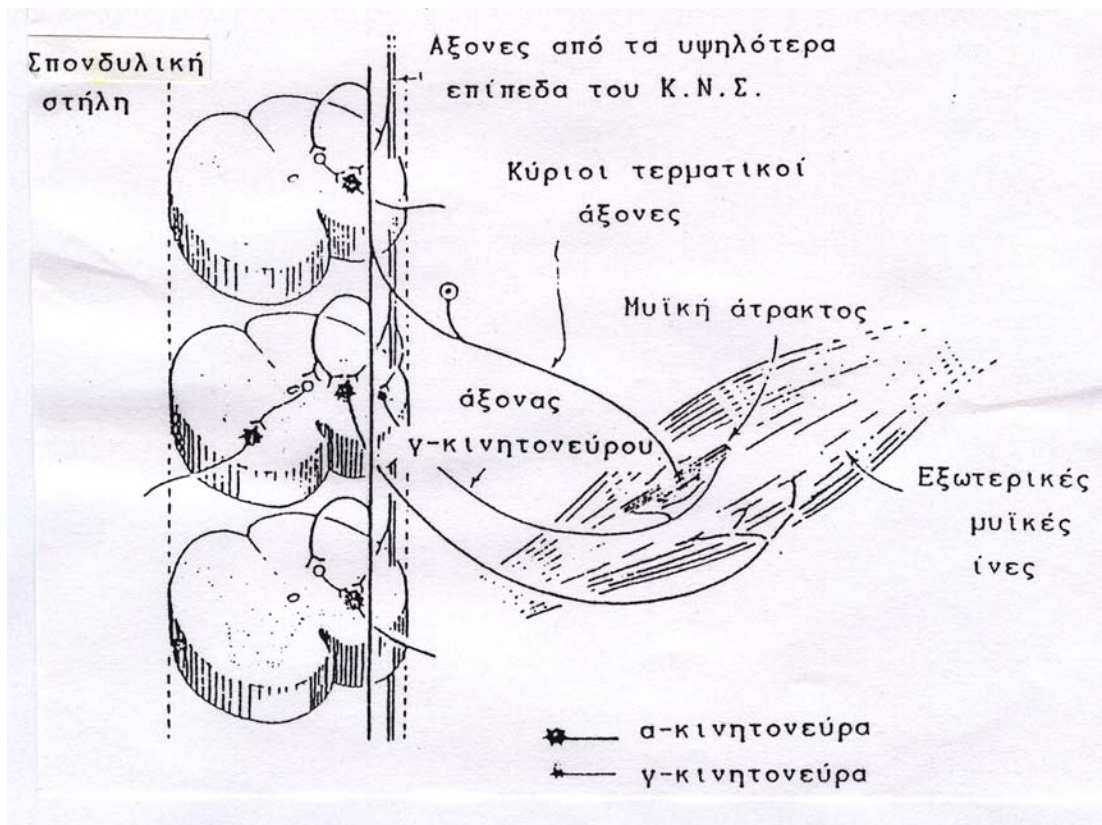
Ο ζωντανός οργανισμός έχει την ικανότητα να αντιδρά σε μεταβολές που συμβαίνουν στο περιβάλλον και στο εσωτερικό του. Οι μεταβολές αυτές ονομάζονται ερεθίσματα. Η αντίδραση του οργανισμού είναι αρχικά κάποια τοπική απάντηση στο ερέθισμα (πρωτεύουσα αντίδραση). Στην συνέχεια ενεργοποιείται ο οργανισμός για την ανάλογη αντιμετώπιση του ερεθίσματος (δευτερεύουσα αντίδραση) Η ενεργοποίηση αυτή ονομάζεται διέγερση και αφορά τα μέσα μεταφοράς του οργανισμού, η αντίδραση των οποίων είναι εξειδικευμένη: τα νεύρα μεταδίδουν τη διέγερση, οι μυς συσπώνται και τα κύτταρα των αδένων εκκρίνουν διάφορες ουσίες.

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούμε στο νευρικό σύστημα, τη βασική μονάδα του το νευρικό κύτταρο και την αλληλεπίδραση του με το μυϊκό σύστημα.

1.2. Νευρικό σύστημα

Το νευρομυϊκό σύστημα μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από όλα εκείνα τα μέρη των δύο συστημάτων, δηλ. του νευρικού και του μυϊκού, που σχετίζονται με την έναρξη και τον έλεγχο της κίνησης καθώς επίσης και με την διατήρηση της στάσης των μυών.

Από ανατομικής και λειτουργικής πλευράς το νευρικό σύστημα έχει διαιρεθεί σε περιφερειακό και κεντρικό. Το περιφερειακό νευρικό σύστημα, στο επίπεδο του νωτιαίου μυελού, διατάσσεται σε μία ακολουθία επαναλαμβανόμενων μονάδων. Αυτές οι μονάδες είναι οργανωτικά ταυτόσημες και ονομάζονται τμηματικά επίπεδα του νωτιαίου μυελού. Οι συνιστώσες του περιφερειακού νευρομυϊκού συστήματος σ' ένα τμηματικό επίπεδο του νωτιαίου μυελού περιγράφονται στο Σχ. 1.1. Η σύνδεση του περιφερειακού νευρικού συστήματος με τον εγκέφαλο, ο οποίος αποτελεί το κεντρικό νευρικό σύστημα (ΚΝΣ), γίνεται μέσω του νωτιαίου μυελού.



Σχήμα 1.1. Διάγραμμα μερικών διαδρομών που συνδέουν τους μύς και τα υποσυστήματα τους (π.χ. μυϊκοί άτρακτοι) με το νωτιαίο μυελό. Περιγράφονται επίσης μερικά από τα σώματα των νευρικών κυττάρων μέσα στο νωτιαίο μυελό και οι αλληλεπιδράσεις τους μέσω των νευρικών αξόνων.

1.3. Νευρικό κύτταρο

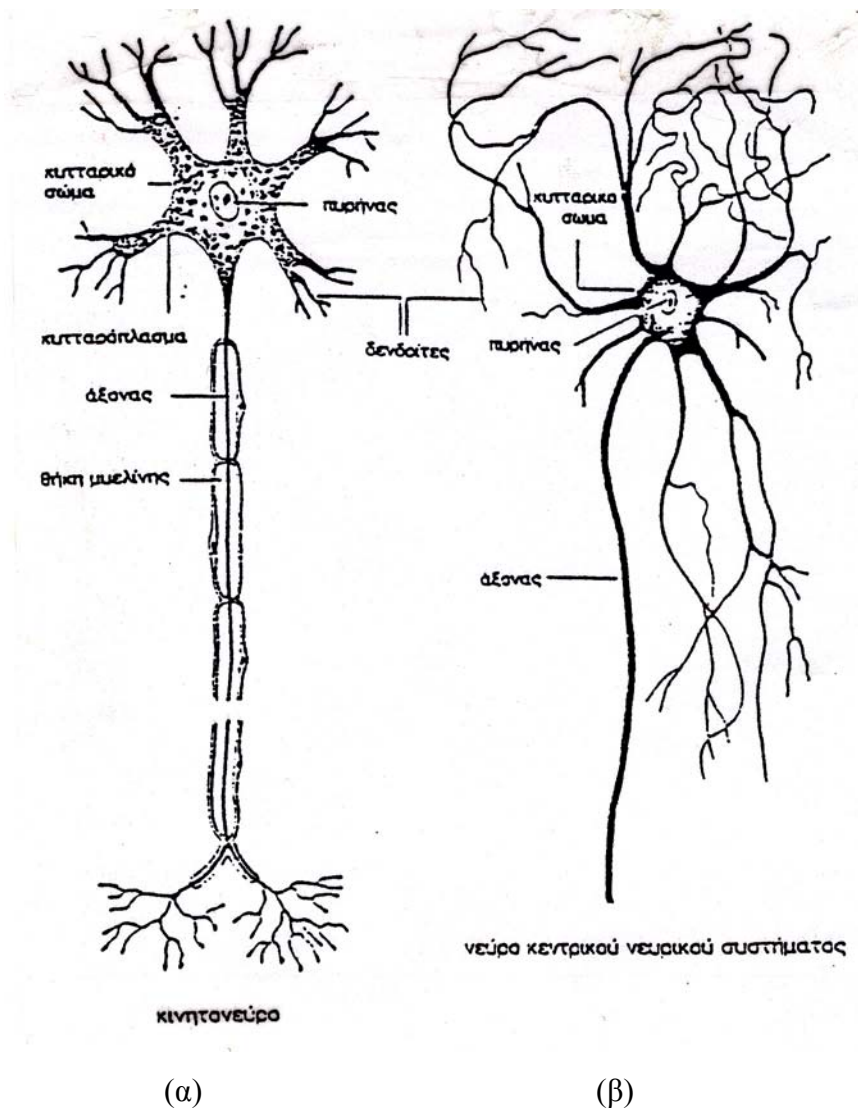
Το νευρικό κύτταρο ή νευρώνας αποτελεί τη βασική μονάδα του νευρικού συστήματος. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, τα νευρικά κύτταρα διατηρούν τη διεγερσιμότητα, έχουν δηλαδή την ικανότητα να αντιδρούν στα διάφορα ερεθίσματα. Ο αριθμός των νευρικών κυττάρων στον ανθρώπινο οργανισμό υπολογίζεται ότι είναι 10^{11} περίπου.

Το τυπικό νευρικό κύτταρο αποτελείται από το σώμα που περιέχει τον πυρήνα και από δύο είδη αποφυάδων, τους δενδρίτες (γενικά πολυάριθμους και κοντούς) και τον νευρικό άξονα (ή νευρίτη) μοναδικό και γενικά μακρύ. Στον άνθρωπο τα κυτταρικά σώματα βρίσκονται κυρίως μέσα στη φαιά ουσία του εγκεφάλου και στο νωτιαίο μυελό, ενώ οι περιφερειακές αποφυάδες των κυττάρων αποτελούν τα περιφερειακά νεύρα. Στο Σχ. 1.2. περιγράφονται δύο νευρικά κύτταρα: α) Ένα άλφα κινητονεύρο το σώμα του οποίου βρίσκεται στο νωτιαίο μυελό και β) ένα νευρικό κύτταρο του εγκεφάλου. Οι δενδρίτες αποτελούν επιφάνειες λήψης των εισερχόμενων σημάτων στο κύτταρο τα οποία μεταφέρουν παθητικά (χωρίς ενίσχυση) στο σώμα, το οποίο με τη σειρά του (μετά από κάποια επεξεργασία) τα μεταφέρει στο νευρίτη.

Ο νευρίτης αποτελεί το μακρύ κυτταροπλασματικό και κυλινδρικό νημάτιο μέσω του οποίου διαβιβάζονται νευρικοί παλμοί σε κατεύθυνση που απομακρύνεται από την νευρική ζώνη. Οι νευρικοί παλμοί που ονομάζονται και ενεργά δυναμικά (action potentials) διαδίδονται κατά μήκος του νευρίτη χωρίς εξασθένηση και μεταφέρονται σε παραπλήσια κύτταρα ή μεταφέρονται στους μυς τους οποίους ενεργοποιούν.

Οι άξονες των νευρικών κυττάρων του περιφερειακού νευρικού συστήματος περιβάλλονται από μία θήκη που είναι γνωστή ως θήκη της μυελίνης. Η θήκη της μυελίνης εμφανίζεται, από χημική άποψη, μεγάλες ομοιότητες με την κατασκευή της μεμβράνης του κυττάρου, αποτελείται δηλ. από ένα σύμπλεγμα πρωτεϊνών και λιπιδίων. Ορισμένα νημάτια στερούνται της θήκης της μυελίνης και για το λόγο αυτό καλούνται αμύελα σε αντίθεση με τα εμμύελα. Στα εμμύελα νημάτια η θήκη της μυελίνης διακόπτεται ανά διαστήματα περίπου 1 mm και σχηματίζονται οι κόμβοι του Ranvier.

Υπάρχουν διαφορετικά είδη νευρικών κυττάρων, τα οποία βρίσκονται μέσα στο νωτιαίο μυελό σε ομάδες που καλούνται πυρήνες, μερικοί από τους οποίους μπορούν να περιέχουν μέχρι 2000 κύτταρα. Μία από τις ομάδες αυτές περιέχει τα άλφα κινητονεύρα που έχουν σώματα με διαμέτρους που κυμαίνονται από 25 μέχρι 100 μm και κατέχουν μακρείς άξονες με διάμετρο από 8 μέχρι 25 μm οι οποίοι ξεκινούν από το νωτιαίο μυελό και καταλήγουν στις εξωτερικές μυϊκές ίνες που σχηματίζουν την κύρια μάζα των μυών και είναι υπεύθυνες για την παραγωγή



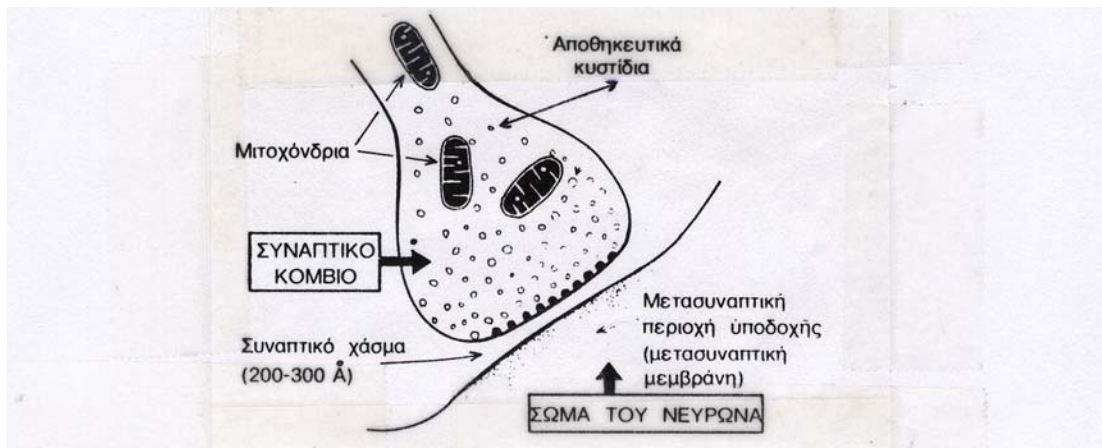
Σχήμα 1.2. Περιγραφή νευρικών κυττάρων : α) Άλφα κινητονεύρο το σώμα του οποίου βρίσκεται στο νωτιαίο μυελό και β) Νευρικό κύτταρο του εγκεφάλου.

δυνάμεων ή αλλαγές στο μήκος των μυών. Οι άξονες των άλφα κινητονεύρων μεταφέρουν νευρικούς παλμούς από το σώμα προς τις εξωτερικές νευρικές ίνες. Ο νευρικός παλμός είναι μία τυπική αλλαγή δυναμικού που συμβαίνει κατά μήκος της μεμβράνης που περιβάλλει το σώμα του κυττάρου και το νευρίτη. Διαδίδεται κατά μήκος του άξονα με μια ταχύτητα που εξαρτάται, εν μέρει, από την διάμετρο του άξονα. Ο νευρικός παλμός είναι περίπου 100 m V σε πλάτος και 1 ms σε διάρκεια. Στον άξονα του άλφα κινητονεύρου ο νευρικός παλμός διαδίδεται με ταχύτητα που κυμαίνεται από 50 μέχρι 120 m/sec. Η πληροφορία δεν μεταφέρεται με το πλάτος του παλμού αλλά με τη συχνότητα εμφάνισης των παλμών (frequency modulation) μέσα σ' ένα χρονικό διάστημα.

Τα νευρικά κύτταρα μπορούν να δημιουργήσουν νευρικούς παλμούς κατ' εξακολούθηση με συχνότητες που κυμαίνονται από 1 παλμό κάθε λίγα δευτερόλεπτα μέχρι πολλές εκατοντάδες παλμούς το δευτερόλεπτο. Οι λεπτοί τερματικοί κλάδοι του άλφα κινητονεύρου καταλήγουν σε ειδικευμένες περιοχές των εξωτερικών μυϊκών ινών που ονομάζονται «κινητήριες πλάκες». Όταν ένας νευρικός παλμός φθάσει στο κόμβο μεταξύ του άξονα και της μυϊκής ίνας, μία σειρά από ηλεκτροχημικά γεγονότα λαμβάνουν χώρα τα οποία οδηγούν στη συστολή των εξωτερικών μυϊκών ινών. Η δύναμη της συστολής σ' όλο το μυ μπορεί να μεταβληθεί αυξάνοντας τον αριθμό των ενεργών άλφα κινητονεύρων που σχετίζονται μ' ένα μυ ή τροποποιώντας την συχνότητα των νευρικών παλμών που φθάνουν στο μυ από τους άξονες των άλφα κινητονεύρων.

Σε συσχέτιση με τις εξωτερικές μυϊκές ίνες και τους τένοντες που προσκολλούν τους μυς στα κόκκαλα, είναι ένας αριθμός από φυσιολογικούς λήπτες που είναι ευαίσθητοι στις αλλαγές του μήκους του μυ ή στη δύναμη που ενεργεί στο μυ. Τα νεύρα που σχετίζονται μ' αυτούς τους λήπτες, τα οποία μεταφέρουν παλμούς προς το νωτιαίο μυελό, καλούνται «αισθητήρια» νεύρα. Αυτά τα νεύρα μεταφέρουν παλμούς κατά μήκος των αξόνων τους από τους μυϊκούς λήπτες προς ομάδες νευρικών κυττάρων που βρίσκονται μέσα στο νωτιαίο μυελό. Οι αισθητήριοι άξονες έρχονται σε επαφή μ' αυτά τα κύτταρα σε συνδέσεις που ονομάζονται συνάψεις. Οι συνάψεις δημιουργούνται συνήθως πάνω σε δενδρίτες άλλων νευρικών κυττάρων. Ένα χαρακτηριστικό μιας σύναψης είναι ένα στενό κενό, το οποίο καλείται «συναπτικό κενό» μεταξύ της προ-και μετά - συναπτικής θέσης. Υπάρχουν δύο είδη

συνάψεων, οι διεγερτικές και οι ανασταλτικές. Και στις δύο περιπτώσεις υπάρχει μια συγκέντρωση μικρών κόκκων, που είναι γνωστά ως συναπτικά κυστίδια, στη προσυναπτική περιοχή στα οποία είναι αποθηκευμένοι οι χημικοί διαβιβαστές που υποβοηθούν ή αναστέλλουν τη μετάδοση της πληροφορίας από την προ - στην μετά - συναπτική θέση (Σχ. 1.3)



Σχήμα 1.3. Περιγραφή μιας συναπτικής επαφής.

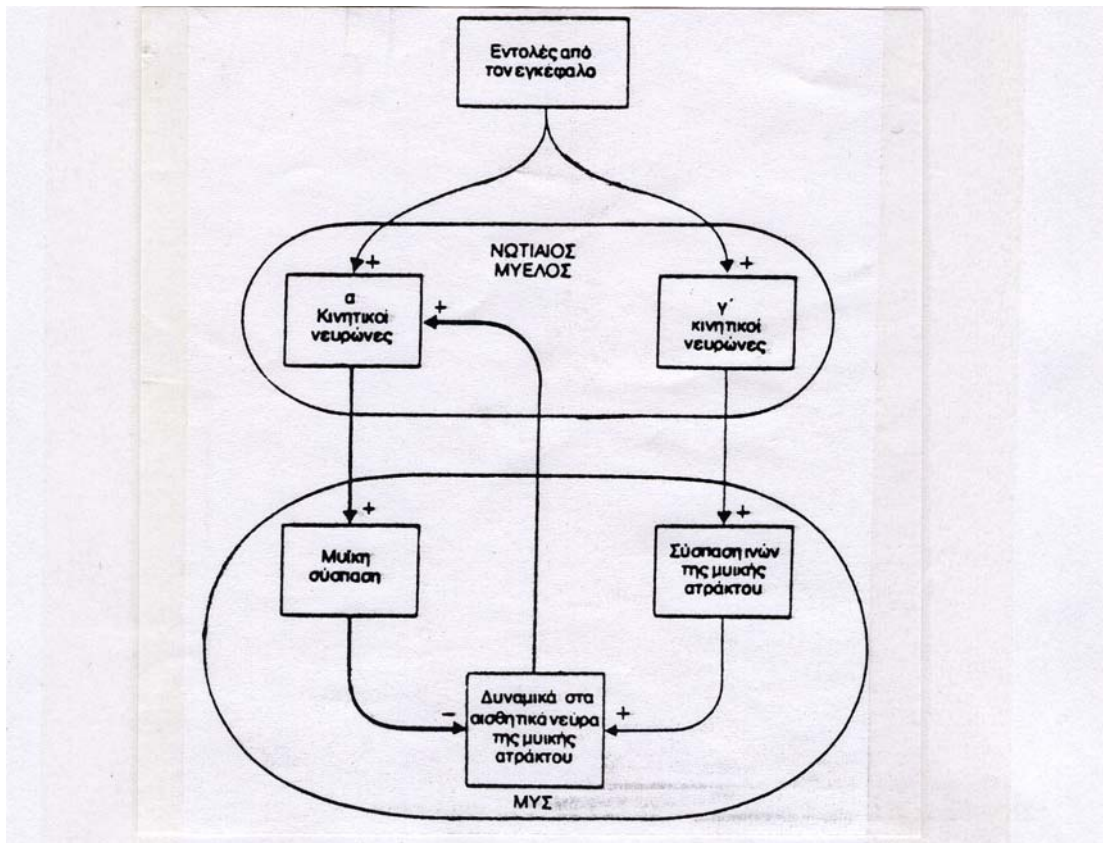
Από το νωτιαίο μυελό η πληροφορία μεταφέρεται στον εγκέφαλο όπου γίνεται η επεξεργασία της και δίνεται κατόπιν εντολή για την εκτέλεση κάποιας ενέργειας.

Μία ιδιαίτερα σπουδαία ομάδα μυϊκών ληπτών είναι η ομάδα των μυϊκών ατράκτων οι οποίοι θεωρούνται ότι παίζουν κριτικό ρόλο στην έναρξη της κίνησης και τη διατήρηση της θέσης. Οι ίνες μέσα σε μία μυϊκή άτρακτο, οι οποίες καλούνται εσωτερικές, είναι σημαντικά μικρότερες από τις εξωτερικές μυϊκές ίνες. Οι εσωτερικές μυϊκές ίνες ενεργοποιούνται από τους άξονες μιας ομάδας κυττάρων που βρίσκονται μέσα στο νωτιαίο μυελό στη γειτονιά των άλφα κινητονεύρων. Αυτά τα κύτταρα που ονομάζονται γάμα κινητονεύρα είναι αρκετά μικρότερα σε διάμετρο από τα άλφα κινητονεύρα και παράγουν νευρικούς παλμούς με ταχύτητες από 10-50 m/sec. Τα γάμα κινητονεύρα ενεργοποιούν μόνο εσωτερικές μυϊκές ίνες. Έχει βρεθεί ότι η δραστηριότητα των αξόνων των γάμα κινητονεύρων μπορεί να τροποποιήσει τις μηχανικές ιδιότητες των εσωτερικών ινών ή να εξασκήσει μία απ' ευθείας επίδραση στους μηχανισμούς που εμπλέκονται στη μετατροπή της μηχανικής

πίεσης στις εσωτερικές ίνες για τη παραγωγή νευρικών παλμών στους αισθητήριους άξονες.

Οι μυϊκές άτρακτοι είναι τοποθετημένες παράλληλα προς την κύρια μάζα των εξωτερικών ινών του μυ. Η τάση πάνω στις μυϊκές άτρακτους θα μηδενιζόταν, αν ακολουθούσαν παθητικά την ελάττωση του μήκους των μυϊκών ινών, εξαιτίας της παράλληλης σύνδεσης μ' αυτές. Έτσι θα σταματούσαν να δίνουν δυναμικά δράσης και επομένως θα υπήρχε απώλεια στην αισθητική πληροφόρηση. Για να αποφευχθεί αυτό, οι μυϊκές άτρακτοι συχνά συσπώνται «ανεξάρτητα» ακολουθώντας τη σύσπαση των εξωτερικών μυϊκών ινών. Επειδή το μήκος των ινών της μυϊκής άτρακτου είναι μικρό, όταν συσπώνται δεν συσπάται και ολόκληρος ο μυς, δηλαδή δεν έχουν επίδραση στη σύσπαση του μυ. Ο μοναδικός τους ρόλος είναι να διατηρούν την τάση στη μυϊκή άτρακτο. Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω, η ενεργοποίηση των μυϊκών άτρακτων που γίνεται μέσω των γ -κινητικών νευρώνων προκαλεί σύσπαση στα άκρα των μυϊκών ινών της άτρακτου. Το μέσο τμήμα της άτρακτου δεν είναι συσταλό. Επομένως η σύσπαση των μυϊκών άτρακτων εκτείνει το κεντρικό τους τμήμα και διεγείρει τις αισθητικές απολήξεις. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η αποτελεσματική αύξηση της ευαισθησίας της μυϊκής άτρακτου, γιατί, αν απλώς ακολουθούσε παθητικά το μύ, θα μπορούσε να λειτουργεί σε μία μόνο στενή περιοχή μεταβολών του μήκους του, ενώ η δράση των γ -κινητικών νευρώνων αυξάνει σε μεγάλο βαθμό την ευαισθησία της. Το όλο κύκλωμα, εγκέφαλος - κινητική οδός - κινητικοί νευρώνες - μυϊκή άτρακτος-αισθητικός νευρώνας - α - κινητικός νευρώνας, είναι γνωστό σαν κύκλωμα γ . Οι εντολές από τον εγκέφαλο παράγουν συνήθως ταυτόχρονη ενεργοποίηση των α - και των γ - κινητικών νευρώνων (βλέπε Σχ. 1.4). Αν ενεργοποιούνταν μόνο οι α - κινητικοί νευρώνες τότε η ελάττωση του μήκους του μύ, θα αφαιρούσε την τάση από τις άτρακτους και έτσι θα έχαναν της ευαισθησία τους στις μεταβολές του μήκους.

Η πληροφόρηση για το μήκος του μύ που παρέχεται από τις μυϊκές άτρακτους δεν είναι συνειδητή. Υπάρχουν άλλοι τύποι αισθητικών υποδοχέων που επιτρέπουν την συνειδητή γνώση της λειτουργίας διαφόρων τμημάτων του σώματος.



Σχήμα 1.4. Επιδράσεις από τον εγκέφαλο προκαλούν ταυτόχρονη ενεργοποίηση των α και των γ κινητικών νευρώνων. Έτσι καθώς το μήκος του μυ ελαττώνεται, το μήκος των μυϊκών ινών της ατράκτου επίσης ελαττώνεται και έτσι λειτουργούν αποτελεσματικά και στο νέο μήκος του μυ.