

Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ ΤΗΣ ΚΑΡΔΙΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΥΩΝ

ΜΕ ΤΑ ΜΑΤΙΑ ΕΝΟΣ ΦΥΣΙΚΟΥ

Αλέκος Χαραλαμπίδης

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Δημοσιεύτηκε στο Physics News της Ε.Ε.Φ. τεύχος 26, Η ΦΥΣΙΚΗ ΤΟΥ ΚΥΤΤΑΡΟΥ. Υποστηρίχθηκε εκεί, ότι τα δυναμικά ενέργειας που διαπίστωσαν οι φυσιολόγοι για τα κύτταρα, είναι απόρροια των πειραμάτων όπως έγιναν και στην πραγματικότητα στα κύτταρα υπάρχουν κυκλώματα RC (Thompson) για τα θετικά και τα αρνητικά ιόντα. Εδώ, αξιοποιώντας την επαναστατική αυτή τοποθέτηση και θεωρία, θα εξηγήσουμε τα φυσιολογικά εγκεφαλογραφήματα, καρδιογραφήματα και μυογραφήματα, με την φυσική, όπως την εξελίσσουμε.

Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΠΟΥ ΙΣΧΥΟΥΝ ΣΤΑ ΑΡΜΟΝΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

Όταν έχουμε μία απλή αρμονική ταλάντωση, τότε το πλάτος ταλάντωσης A , θα είναι,

$$A = A_m \cos(\omega t + \phi) \quad \text{και η δύναμη επαναφοράς,}$$

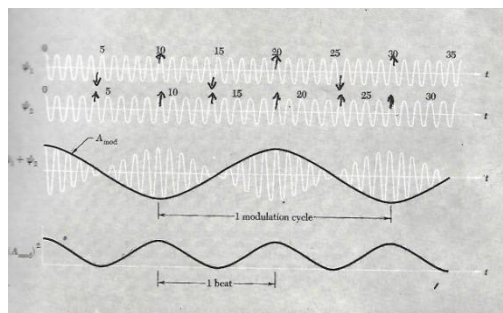
$$F = -F_m \cos(\omega t + \phi) = -m\omega^2 A_m \cos(\omega t + \phi)$$

Όταν δύο αρμονικά κύματα προστίθενται, όπως δύο ηλεκτρομαγνητικών ταλαντωτών των οποίων η συχνότητα διαφέρει λιγότερο από 5% η μία από την άλλη (δες ΚΥΜΑΤΙΚΗ παν. Berkeley, αλλά και από πειράματα δικά μου προέκυψε αυτή η διαφορά), τότε παρατηρείται το φαινόμενο της συμβολής. Μέχρι σήμερα διατυπώθηκε ότι συμβάλλουν τα πλάτη ταλάντωσης, όμως υποστηρίζουμε ότι συμβάλλουν οι δυνάμεις επαναφοράς, οπότε έχουμε (αγνοούμε τις φάσεις ϕ),

$$F = -\{F_{m1} \cos(\omega_1 t) + F_{m2} \cos(\omega_2 t)\} = -2F_m \cos\left\{\frac{(\omega_1 + \omega_2)}{2}t\right\} \cos\left\{\frac{(\omega_1 - \omega_2)}{2}t\right\} \quad (1)$$

$$\text{Και} \quad F_{m1} = F_{m2} = F_m = m\omega_1^2 A_1 = m\omega_2^2 A_2 \quad (2)$$

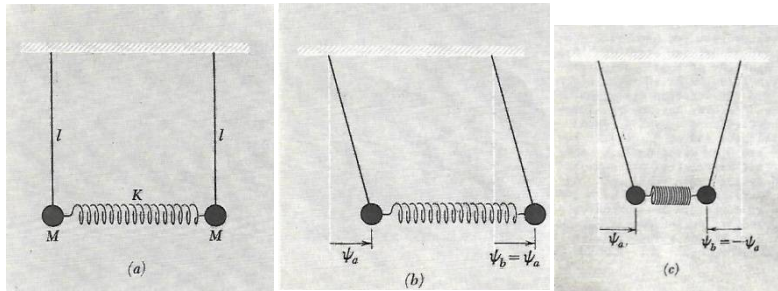
Το φαινόμενο αυτό συμβολής, είναι διαγραμματικά το εξής,



Σχήμα 1

Στο σχήμα 1, σχεδιάστηκαν δύο ταλαντώσεις με 10 και 9 c/sec.

Δείτε τώρα, ένα μοντέλο συμβολής (ΚΥΜΑΤΙΚΗ παν. Berkeley).



Σχήμα 2

Σχήμα 3

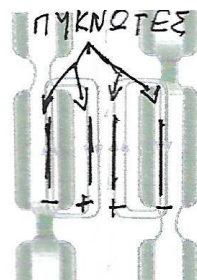
Σχήμα 4

Έχουμε δύο εκκρεμή, συνδεδεμένα με ελατήριο. Όταν απομακρύνετε από την θέση ισορροπίας το ένα εκκρεμές, αρχίζει να ταλαντώνεται με ένα μέγιστο πλάτος, που φθίνει και διαδοχικά αρχίζει να ταλαντώνεται το άλλο με μικρό πλάτος που μεγαλώνει. Τα δύο εκκρεμή εναλλάσσουν τις ταλαντώσεις, αν αγνοηθεί η τριβή.

Στα σχήματα 2,3,4 είναι σχεδιασμένες οι διαφορές πλάτους ταλάντωσης. Ένας τρόπος απλής αρμονικής ταλάντωσης είναι στο σχήμα 3 και στο σχήμα 4 ο άλλος τρόπος, με διαφορετική συχνότητα. Αυτές οι δύο συχνότητες δημιουργούν την συμβολή και την αυξομείωση της δύναμης και του πλάτους ταλάντωσης των εκκρεμών.

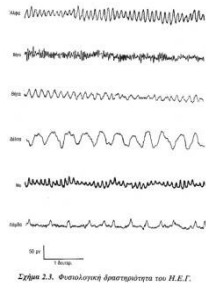
ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ RC ΔΥΟ ΝΕΥΡΑΞΟΝΩΝ

Επισκεφτείτε την ΦΥΣΙΚΗ ΤΟΥ ΚΥΤΤΑΡΟΥ και δείτε σε ένα νευράξονα, πως δημιουργείται το κύκλωμα RC. Τώρα αν δύο πανομοιότυπα κύτταρα είναι γειτονικά, θα δημιουργηθεί στους δύο παράλληλους νευράξονες μία συμβολή δύο κυκλώματα RC, δείτε,



Σχήμα 5

Αυτό το μοντέλο υποστηρίζεται από το μοντέλο των δύο πανομοιότυπων συζευγμένων εκκρεμών που παρατέθηκε παραπάνω και δημιουργείται συμβολή. Δείτε τώρα τα κύματα άλφα, των ηλεκτροεγκεφαλογραφημάτων,



Σχήμα 2.3. Φυσιολογικά δεικνόμενα του Η.Ε.Γ.

Τα φυσιολογικά κύματα άλφα δημιουργούνται όταν ο άνθρωπος έχει κλειστά τα μάτια και δεν σκέφτεται ούτε κοιμάται και τα ηλεκτρόδια βρίσκονται στις πίσω περιοχές του εγκεφάλου (ινιακές χώρες). Είναι συμβολή του μοντέλου των συζευγμένων εκκρεμών. Αλλά και τα φυσιολογικά κύματα θήτα μοιάζουν ατρακτοειδή (συμβολής) και παρουσιάζονται στα πρώτα στάδια του ύπνου, μετωπιαία. Πρόκειται για συμβολή.

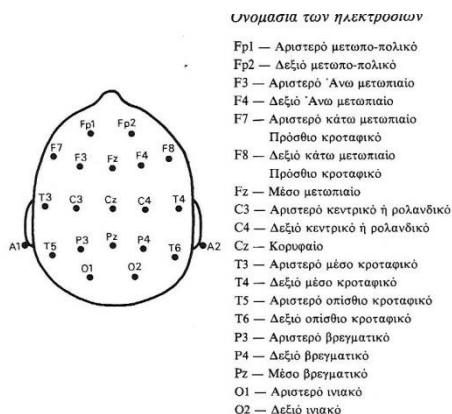
Οι συχνότητες που δίνουν οι φυσιολόγοι για τα κύματα του εγκεφάλου, είναι,

$$0.5 < \delta < 4 < \theta < 8 < \alpha < 13 < \beta, \gamma \text{ c/sec}$$

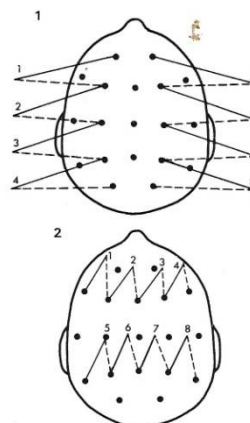
Αυτοί οι c/sec, είναι οι $(\nu_1 + \nu_2)/2 = (\omega_1 + \omega_2)/4\pi$ της συμβολής στα κύματα α και θ .

Έτσι, στους νευράξονες που αναφέραμε, γενικότερα στα όσα πανομοιότυπα κύτταρα, δημιουργούνται ζεύγη πυκνωτών, που λειτουργούν εκεί και παράγεται η συμβολή. Θυμηθείτε ότι κάναμε ανάλυση συμβολής των δυνάμεων επαναφοράς του ταλαντωμένου συστήματος και αν N ο αριθμός των θετικών ιόντων του πυκνωτή και ίδιων των αρνητικών, τότε η δύναμη είναι $F = NeV/L$ και V είναι η διαφορά δυναμικού των πυκνωτών, e το φορτίο των ιόντων και L η απόσταση των πυκνωτών, άρα $V = (L/Ne)F \cos(\omega t + \phi)$, η διαφορά δυναμικού είναι κυμαινόμενη και στους δύο πυκνωτές δημιουργείται συμβολή των δυναμικών (που εναλλάσσονται) των δύο πυκνωτών, όπως με τις δυνάμεις που παραθέσαμε.

Στον εγκέφαλο καταγράφονται διαφορές δυναμικού σε μVolts , πρόκειται για ομαδική καταγραφή δυναμικού κυττάρων του φλοιού του εγκεφάλου και το κρανίο μονώνει τον εγκέφαλο, ώστε τα δυναμικά που καταγράφει ο ηλεκτροεγκεφαλογράφος να είναι μικρά. Δείτε τις περιοχές που τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια (Σχήμα 6) και τις διπολικές αγωγές (Σχήμα 7), οι μονοπολικές είναι αγωγές που το ένα ηλεκτρόδιο είναι σε μία θέση του Σχήματος 6 και το άλλο στο λοβό του αυτιού που θεωρείται μηδενικού δυναμικού.



Σχήμα 6



Σχήμα 7

Επειδή η διαφορά δυναμικού που καταγράφεται είναι πολλών κυττάρων και τα διαγράμματα συμβολής των κυμάτων άλφα του εγκεφάλου, είναι περίπου συμβολή όχι καλά καταγραμμένη. Υπολογίστε ότι υπάρχουν και τα παράσιτα και τα φίλτρα, που φυσικά αλλοιώνουν μερικώς τα διαγράμματα από την ακριβή συμβολή.

ΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΛΛΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

Τα κύματα α (και επέκεινα των γ), είναι της συνείδησης του εν εγρηγόρσει ανθρώπου. Αυτά αλλάζουν ανάλογα με την σκέψη και είναι οξύαιχμα ικανοποιητικά, καταγράφονται στα ηλεκτρόδια των μετωπικών και ρολανδικών περιοχών.

Πηγαίνετε πάλι στο Σχήμα 1 και δείτε τις 10 και 9 c/sec κυμάνσεις των δύο ταλαντωτών. Στην περίπτωση της εγρήγορσης, οι κυμάνσεις πρέπει να είναι μεγαλύτερες από 13 c/sec. Τέτοιες ταλαντώσεις παράγουν τα οξύαιχμα κύματα.

Τώρα, ανάλογα με την ταλάντωση των πυκνωτών και ανάλογα σε κάθε κύμανση, που βρίσκονται τα θετικά και τα αρνητικά ιόντα των δύο ταλαντωτών, θα παράξουν έλξη ή άπωση μεταξύ τους στους ενελασσόμενους φορτίου πυκνωτές, έλξη αν είναι όπως στο Σχήμα 5 και στις γειτονικές κυμάνσεις το ίδιο περίπου και άπωση σε αντίθετη περίπτωση. Αυτές οι αλληλεπιδράσεις, παρεκκλίνουν το δυναμικό από την συμβολή όπως καταγράφηκε στο Σχήμα 1 και με τα κύματα α και θ και δημιουργούν, τώρα, αιχμηρά κύματα, λόγω των αλληλεπιδράσεων των φορτίων των πυκνωτών.

Τα κύματα δ καταγράφονται στις κροταφικές περιοχές και είναι περίπου απλή αρμονική ταλάντωση, βραδεία, όπως παρεκκλίνει από τα παράσιτα και τις ομαδικές κινήσεις.

ΤΙ ΦΕΡΝΕΙ Ο ΚΑΤΑΓΡΑΜΜΕΝΟΣ ΟΓΚΟΣ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ

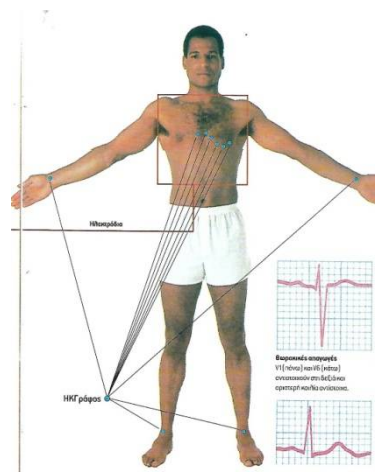
Στην περίπτωση των επιλησιών, τα κύματα είναι πολύ οξύαιχμα και υποστηρίζουμε ότι οφείλεται σε περιοχές Weiss όπως οι μαγνητικές περιοχές του μαγνήτη, όπου οι πυκνωτές είναι πλησιέστερα και πιο πυκνοί, ανάλογα με τους νευράξονες των και τα κύτταρα εν γένει. Και οι αλληλεπιδράσεις των φορτίων των ιόντων των πυκνωτών μεγάλες.

Όμως, όταν υπάρχει όγκος στο εγέφαλο και είναι τόσος, ώστε και τα δύο ηλεκτρόδια, οι δύο αγωγές, να βρίσκονται στην περιοχή του όγκου, το γράφημα είναι ισοηλεκτρικό. Αν το θετικό ηλεκτρόδιο βρίσκεται σε γειτονικά του όγκου κύτταρα, τότε είναι πολύ οξύαιχμο, αφού πιάζονται εκεί τα υγιή κύτταρα και παράλληλα είναι κοντινότεροι οι πυκνωτές, που αλληλεπιδρούν.

Το γεγονός ότι η περιοχή του όγκου είναι περίπου ισοηλεκτρική, μας οδηγεί να υποθέσουμε ότι τα καρκινικά κύτταρα έχουν μικρή ηλεκτρική δραστηριότητα, τα κυκλώματα RC είναι πιεσμένα και περιορισμένα. Περιορισμένα είναι, επειδή οι διάυλοι ιόντων των κυττάρων, όπως υποθέτουμε, έχουν τώρα μεγάλη ηλεκτρική αντίσταση. Πιθανόν λοιπόν, ότι στα καρκινικά κύτταρα οι διάυλοι, δεν ξεχωρίζουν τα ιόντα (όπως Na^+ , K^+ , Cl^-), από τα

ΠΩΣ ΔΟΥΛΕΥΟΥΝ ΤΑ ΒΟΛΤΟΜΕΤΡΑ ΚΑΙ ΟΙ ΗΛΕΚΤΡΟΓΡΑΦΟΙ

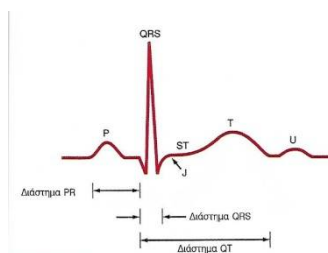
Τα βολτόμετρα έχουν σειρά αντιστάσεων πτώσης του δυναμικού. Όταν το ρεύμα τίθεται σωστά στα ηλεκτρόδια, δίνει +Volts. Τα βολτόμετρα μετρούν με μαγνήτες, όπως τα μαγνητικά αμπερόμετρα ή θερμικά. Έτσι όταν τεθούν αντίθετα τα ηλεκτρόδια, καταγράφουν -Volts. Τώρα στο καθοδικό παλμογράφο ανάλογα, όταν τα ηλεκτρόδια τεθούν σωστά, θα δώσει μία κυματομορφή. Αν τεθούν αντίθετα, θα δώσει αντίθετη κυματομορφή. Έτσι και στους καρδιογράφους. Η αντίθετη κυματομορφή, είναι όταν είναι αντίθετη η πολικότητα του δυναμικού του κύματος. Σας δίνουμε σχήμα, πως τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια στο καρδιογράφημα.



Προσέξτε τις έξι προκάρδιες αγωγές που είναι μονοπολικές, V1,V2,V3,V4,V5,V6, (το άλλο ηλεκτρόδιο συνδέεται με το δεξιό πόδι που θεωρείται μηδενικού δυναμικού). Οι έξι αγωγές, ιδιαίτερα στο κύμα QRS, δίνουν αντίθετα, σχετικά αποτελέσματα.

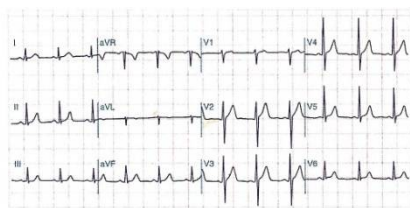
Όπως αναφέρεται στην ΚΛΙΝΙΚΗ ΝΕΥΡΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ, μετρήθηκε η ταχύτητα διάδοσης του νευρομυϊκού ερεθίσματος και είναι μικρή σχετικά. Σας θυμίζω, ότι η κατεστημένη φυσική δέχεται ότι η ταχύτητα του ρεύματος είναι μικρή στους αγωγούς. Όμως, ενώ τα ηλεκτρόνια έχουν μικρή ταχύτητα στο ρεύμα, η διάδοση του δυναμικού σε όλο τον αγωγό γίνεται με την ταχύτητα του φωτός. Έτσι λοιπόν και στη καρδιά, η διάδοση του δυναμικού σε όλα τα νευρομυϊκά κύτταρα είναι σχεδόν ακαριαία, όμως η ταχύτητα αγωγής των ιόντων, από τα κύτταρα του φλεβόκομβου μέχρι τα κύτταρα των ινών Purkinje όταν εκπολώνονται αυτές (στο τέλος του ηλεκτροκαρδιογραφήματος), γίνεται με ταχύτητα μικρή και χρόνο, τον χρόνο της ρυθμικής λειτουργίας της καρδιάς. Σημειώστε το αυτό καλά.

ΟΙ ΦΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΚΑΡΔΙΑΚΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ



ΕΙΚΟΝΑ 11-2
Βασικά κύματα ΗΚΓ και διαστήματα. Δεν απεικονίζεται το διάστημα R-R, δηλ. ο χρόνος μεταξύ διαδοχικών συμπλεγμάτων QRS.

Όπως ειπώθηκε, η ταχύτητα είναι σχετικά μικρή και στο P εκπολώνονται ο φλεβόκομβος και οι κόλποι, μεσολαβεί ισοηλεκτρικό τμήμα και ακολουθεί το QRS, όπου εκπολώνεται ο κολποκοιλιακός κόμβος και οι κοιλίες. Ακολουθεί ισοηλεκτρικό και μετά το έπαρμα T, επαναπόλωσης των κοιλιών και το U επαναπόλωσης των ινών Purkinje. Στην διαδρομή αυτή που μπορεί να γίνει σε ένα sec αν οι παλμοί της καρδιάς είναι 60/min, η ταχύτητα είναι μικρή. Αλλά το δυναμικό διαδίδεται σχεδόν ακαριαία σε όλη την καρδιά και όλα τα κύτταρά της έχουν το ανωτέρω φυσιολογικό ηλεκτρικό σχήμα-γράφημα. Δείτε ένα φυσιολογικό καρδιογράφημα,



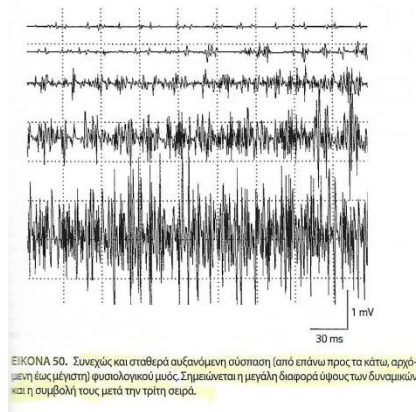
Στις αγωγές V1, V2, V3, V4, V5, V6, εναλλάσσεται το κύμα QRS σε θετικό και αρνητικό. Στις αγωγές αυτές που είναι όλες προκάρδιες, διαδίδεται το κύμα και ανάλογα θα δώσει θετικό, κυμαινόμενο ή αρνητικό QRS. Το QRS δημιουργείται στον κολποκοιλιακό κόμβο, που έχει περιοχές Weis όπως δείξαμε στην ΦΥΣΙΚΗ ΤΟΥ ΚΥΤΤΑΡΟΥ και τα ζεύγη πυκνωτών με διαφορετική συχνότητα, θα δώσουν τις έλξεις και τις απώσεις και το οξύαιχμο κύμα.

Στις περιπτώσεις και στις περιοχές που το καρδιογράφημα είναι ισοηλεκτρικό, τότε η αντίσταση των διαύλων είναι μεγάλη και παρουσιάζεται σε μερικές περιοχές της καρδιάς. Το κύμα όπως εξαπλώνεται και ανάλογα με την περιοχή που βρίσκεται, θα συντελέσει στο καρδιογράφημα, που το δυναμικό εξαπλώνεται ακαριαία σε όλη την καρδιά και το σώμα του ανθρώπου.

Τέλος, όπως υποδείξαμε στην νέα ηλεκτρομαγνητική θεωρία μας, ισχύει η σχέση για τον ηλεκτρισμό, $V=kI^2$ και για το εναλλασσόμενο ρεύμα, $V=kI_m^2 \cos^2(\omega t + \phi)$. Το τετράγωνο του συνημιτόνου θα δώσει τα επάρματα P, S, T. Είναι οι περιοχές της καρδιάς που δίνουν τα επάρματα αυτά και όπου η επικοινωνία των κυττάρων και η ηλεκτρική τους δραστηριότητα, έχουν κυρίαρχη την μετάδοση ρεύματος από τις συνάψεις των νευραξόνων με τα επόμενα νευρικά ή μυϊκά κύτταρα. Δηλαδή υποτονεί εκεί η ηλεκτρική δραστηριότητα των πυκνωτών και υπάρχει ρεύμα εναλλασσόμενο στις συνάψεις. Στις συνάψεις την ηλεκτρική αυτή δραστηριότητα υποβοηθά η ακετολοχολίνη ACTH που απελευθερώνεται από τις συναπτικές κύστες των κυττάρων. Η ACTH δρα σαν ηλεκτροδιαβιβαστής και όχι χημειοδιαβιβαστής, όπως σημειώσαμε στην ΦΥΣΙΚΗ ΤΟΥ ΚΥΤΤΑΡΟΥ. Στην περιοχή που το ρεύμα είναι αντίθετης κατεύθυνσης, το έπαρμα είναι αρνητικό.

ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΟΥΣ ΜΥΕΣ

Οι μύες διεγείρονται από τα νεύρα, στις νευρομυϊκές συνάψεις. Δείτε μυογράφημα όπου η βελόνα του ηλεκτρομυογράφου εισχωρεί βαθιά, ώστε να έχουμε αντιπροσωπευτικό γράφημα συμβολής,



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα νεύρα και οι διεγερόμενοι μύες, πάλλονται σε συχνότητες από 5-250 c/sec , όπως σημειώσαμε στην ΦΥΣΙΚΗ ΤΟΥ ΚΥΤΤΑΡΟΥ. Παραθέσαμε για τον εγκέφαλο τις συχνότητες λειτουργίας στις διάφορες καταστάσεις (ύπνος, εγρήγορση κλπ) και αυτές είναι οι $0.5 < \delta < 4 < \theta < 8 < \alpha < 13 < \beta, \gamma$ c/sec , και συμβαίνουν συμβολές αυτών των κυμάτων σε περιοχές του εγκεφάλου όπου τα κύτταρα είναι πανομοιότυπα, όπως τα πανομοιότυπα εκκρεμή συνδεδεμένα με χαλαρό ελατήριο (που συμβάλλουν). Όπου τα κύματα του εγκεφάλου είναι αιχμηρά, αυτό συμβαίνει γιατί υπάρχουν γειτονικοί πυκνωτές με διαφορετική συχνότητα και όπου η έλξη ή η άπωση των ιόντων των πυκνωτών, αντί φαινομένων συμβολής θα δημιουργήσει αιχμηρά κύματα.

Στους όγκους του εγκεφάλου, τα γραφήματα είναι ισοηλεκτρικά, που σημαίνει ότι η ηλεκτρική δραστηριότητα είναι σχεδόν μηδενική και συμπεραίνεται ότι η αντίσταση των διαύλων των ιόντων που απαρτίζουν τους πυκνωτές, είναι μεγάλη.

Μεγάλη είναι και η αντίσταση των διαύλων ιόντων στις περιοχές της καρδιάς, που είναι υπεύθυνες για τα ισοηλεκτρικά τμήματα του καρδιογραφήματος. Τα κύματα QRS του γραφήματος, προκαλούνται στον κολποκοιλιακό κόμβο, όπου τα κύτταρα σχηματίζουν περιοχές, ανάλογες των μαγνητικών περιοχών Weiss. Αυτά τα κύματα είναι ανάλογα των αιχμηρών κυμάτων του εγκεφάλου, ιδίως των επιληπτικών και δημιουργούνται για τους ίδιους λόγους. Τέλος τα επάρματα όπως το P, S,T του καρδιογραφήματος, προκαλούνται από το εσωτερικό ρεύμα των νευρώνων που μεταδίδεται διά μέσου των κυτταρικών συνάψεων.

Οι μύες παρουσιάζουν σχεδόν ισοηλεκτρική γραμμή και διεγείρονται από τους νευρώνες στις νευρομυϊκές κινητικές μονάδες και παρουσιάζουν φαινόμενα συμβολής.

ΣΧΕΤΙΚΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΚΛΙΝΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΟΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΙΑ Donald Scott, University Studio Press, Θεσσαλονίκη 1983

ΚΛΙΝΙΚΗ ΝΕΥΡΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ Αριστείδης Καζής, University Studio Press, Θεσσαλονίκη 1989

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΜΥΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΕΥΡΟΓΡΑΦΙΑ, Νίκος Καρανδρέας, Παρισιάνου ΑΕ, Αθήνα 2016

ΚΑΡΔΙΑΓΓΕΙΑΚΗ ΙΑΤΡΙΚΗ, Joseph Loscalzo, Παρισιάνου ΑΕ, Αθήνα 2011

Η ΚΑΡΔΙΑ , Δημήτριος Κρεμαστινός, ΙΕΜ, Αθήνα 2006

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΚΑΡΔΙΟΛΟΓΙΑΣ, Hurst, Παρισιάνου ΑΕ, Αθήνα 2016

ΗΓΚ ΕΥΚΟΛΑ ΚΑΙ ΠΡΑΚΤΙΚΑ , Atul Luthra, Ροτόντα, Θεσσαλονίκη 2009

ΤΟ ΗΓΚ ΣΤΗΝ ΠΡΑΞΗ, John Hampton, Παρισιάνου ΑΕ, Αθήνα 2011

ΚΥΜΑΤΙΚΗ, παν. Berkeley- ΕΜΠ, Κορφιάτης, Αθήνα 1979

ΦΥΣΙΚΗ, Αλκίνοος Μάζης, Εστία, Αθήνα 1963

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΥΣΙΚΗΣ, Κουγιουμζέλης- Περιστεράκης, Κοκοτσάκη, Αθήνα 1969