

Ηλεκτρικός ερεθισμός υψηλής τάσης

ΠΑΠΑΘΑΝΑΣΙΟΥ ΓΙΩΡΓΟΣ, Φυσικοθεραπευτής.
ΓΕΡΝΑΣ ΓΙΩΡΓΟΣ, Φυσικοθεραπευτής.

Εισαγωγή

Κατάλληλα τροποποιημένα ηλεκτρικά ρεύματα χρησιμοποιούνται σήμερα ευρύτατα, τόσο στο χώρο της διαγνωστικής όσο και στο χώρο της Θεραπευτικής Ιατρικής. Ειδικότερα, για τη Φυσικοθεραπεία τα ηλεκτρικά ρεύματα αποτελούν ένα από τα βασικότερα μέσα αξιολόγησης και Θεραπευτικής αντιμετώπισης πολλών παθήσεων του ανθρώπινου οργανισμού.

Ηλεκτρικό ερεθισμό στη Φυσικοθεραπεία ονομάζουμε τη χρήση κατάλληλα διαμορφωμένων ηλεκτρικών ρευμάτων για τη διέγερση των ιστών του ανθρώπινου σώματος, που παρουσιάζουν χαρακτηριστικές ηλεκτρικές ιδιότητες, δηλαδή τις μυικές και νευρικές ίνες. Ο ειδικός αυτός ηλεκτρικός ερεθισμός έχει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, όπως η ηλεκτροδιαγνωστική, η αποκατάσταση της μυικής λειτουργικής ικανότητας (μυική επανεκπαίδευση, ερεθισμός απονευρωμένων μυών, χαλάρωση μυικού σπασμού, πρόληψη ατροφιών), η αναλγησία κ.λ.π. Για την επιτυχία των σκοπών αυτών ο φυσικοθεραπευτής έχει στη διάθεσή του μια μεγάλη ποικιλία συσκευών ηλεκτρικού ερεθισμού. Η αποτελεσματική χρήση των ερεθιστών προϋποθέτει τη γνώση σε βάθος του ανατομικού και παθοφυσιολογικού υποστρώματος του προβλήματος που πρέπει να αντιμετωπισθεί, την επιλογή κατάλληλης μεθόδου και τεχνικής για την εφαρμογή των ηλεκτρικών ρευμάτων και την πλήρη κατανόηση των δυνατοτήτων και τεχνικών χαρακτηριστικών της συσκευής, που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί.

Η τάση της γεννήτριας παραγωγής ρεύματος μιας συσκευής ηλεκτρικού ερεθισμού αποτελεί ένα από τα κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά της. Σαν τάση ενός ηλεκτρικού ερεθιστή ορίζεται η διαφορά δυναμικού, που δημιουργείται μεταξύ των ηλεκτροδίων εφαρμογής, όταν ο ερεθιστής τίθεται σε λειτουργία. Είναι γνωστό, ότι η διαφορά δυναμικού ανάμεσα σε δύο ηλεκτρόδια είναι η αιτία εκείνης, που προκαλεί τη ροή των ηλεκτρονίων από το ένα στο άλλο, με άλλα λόγια τη παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

Οι συσκευές ηλεκτρικού ερεθισμού ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με το ύψος της τάσης τους: τους **χαμηλής και υψηλής τάσης** ηλεκτρικούς ερεθιστές. Για

πολλές δεκαετίες, οι συσκευές χαμηλής τάσης ήταν οι μόνες που χρησιμοποιούνταν σε διάφορους διαγνωστικούς και θεραπευτικούς σκοπούς. Τα τελευταία, όμως, χρόνια κερδίζει συνεχώς έδαφος η χρήση των ερεθιστών υψηλής τάσης, που φαίνεται να έχουν καλύτερα θεραπευτικά αποτελέσματα με ασήμαντες φυσικοχημικές επιπλοκές, όπως ο κίνδυνος θερμικού και χημικού εγκαύματος, ο δερματικός ερεθισμός και η αισθητική ενόχληση.

Χαμηλής και Υψηλής Τάσης Ηλεκτρικοί Ερεθιστές

Πριν από την παρουσίαση των ερεθιστών και των διαφορετικών ηλεκτρικών ρευμάτων που παράγουν, αξίζει να αναφερθούν κάποια βασικά στοιχεία φυσικής του ηλεκτρικού ερεθισμού, τα οποία θα διευκολύνουν την κατανόηση του κειμένου που ακολουθεί.

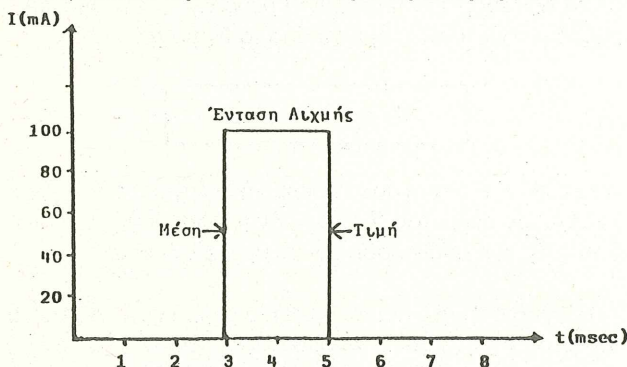
Σύμφωνα με τον νόμο του Ohm, η ένταση (I) του ηλεκτρικού ρεύματος που διέρχεται μέσα από έναν αγωγό, είναι ανάλογη της διαφοράς δυναμικού (V) μεταξύ των άκρων του αγωγού και αντίστροφα ανάλογη της αντίστασης (R) του αγωγού στη διέλευση του ρεύματος. Όπως φαίνεται και στον τύπο, όσο υψηλότερη είναι η τάση της συσκευής, (V) τόσο μεγαλύτερη θα είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που παράγεται:

$$I = \frac{V}{R}$$

Μια από τις κύριες παραμέτρους του ηλεκτρικού ερεθισμού είναι η ένταση αιχμής του ηλεκτρικού ρεύματος που χρησιμοποιείται. **Ένταση αιχμής** ορίζεται η μέγιστη ή κορυφαία τιμή της έντασης του ρεύματος κατά τη διάρκεια της εφαρμογής του (Σχήμα 1). Τα ρεύματα που διαθέτουν υψηλές εκτάσεις αιχμής (>100-150mA) καλούνται **ρεύματα αιχμής**, έχουν χαρακτηριστική μορφή παλμού και παράγονται συνήθως από συσκευές υψηλής τάσης. Η ένταση αιχμής ενός ηλεκτρικού ρεύματος καθορίζει την λειτουργική αποτελεσματικότητά του, δηλαδή την ικανότητα του ρεύματος να διεισδύει σε βάθος μέσα στους ιστούς και να διεγείρει τις νευρικές ή μυικές ίνες, ανάλογα πάντα με το σκοπό της θεραπείας. Να σημειωθεί εδώ ότι όσο

μεγαλύτερη είναι η ένταση αιχμής του ρεύματος που χρησιμοποιείται, τόσο καλύτερα είναι τα φυσιολογικά αποτελέσματά του.

Σχήμα 1. Ένας τυπικός ορθογώνιος παλμός που συνήθως χρησιμοποιείται για τον ερεθισμό φυσιολογικών μυών. Η διάρκεια του παλμού είναι 2 msec, η ένταση αιχμής 100mA, ενώ η μέση τιμή του ρεύματος 50mA.



Από την άλλη μεριά, **μέση τιμή ρεύματος** καλείται η μέση «ποσότητα» του ρεύματος, που διέρχεται μέσα από τους ιστούς στη διάρκεια μιας ώσης (Σχήμα 1). Η μέση τιμή του ρεύματος αντιστοιχεί στη μέση τιμή του ολοκληρώματος του εμβαδού της περιοχής που περικλείεται από το διάγραμμα του παλμού. Στη περίπτωση που ο παλμός του ρεύματος έχει ένα από τα κλασικά γεωμετρικά σχήματα, είναι σχετικά απλό να υπολογισθεί η μέση τιμή του ρεύματος, εάν είναι γνωστή η διάρκεια του παλμού, η ένταση αιχμής και ο χρόνος ανόδου και καθόδου του ρεύματος. Όταν, όμως, η μορφή του παλμού έχει πιο πολύπλοκο γεωμετρικό σχήμα (Σχήμα 2), τότε απαιτείται η εφαρμογή ολοκληρωμάτων.

Η μέση τιμή του ρεύματος εξαρτάται από τη μορφή του παλμού, τη διάρκειά του και την ένταση αιχμής του ρεύματος. Όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση αιχμής και η διάρκεια παλμού ενός ρεύματος, τόσο υψηλότερη είναι και η μέση τιμή του. Επιπρόσθετα, όσο μικρότερο είναι το εμβαδόν της περιοχής που περικλείεται από το διάγραμμα του παλμού, τόσο χαμηλότερη είναι και η μέση τιμή του ρεύματος. Έτσι, ένα ρεύμα με τριγωνικό παλμό έχει μικρότερη μέση τιμή από ένα ρεύμα με την ίδια διάρκεια ώσης και ένταση αιχμής με ορθογώνιο όμως τύπο παλμού. Το ύψος της μέσης τιμής του ρεύματος καθορίζει τα φυσιολογικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ερεθισμού. Η Υψηλή μέση ένταση έχει συνήθως, σαν αποτέλεσμα την αισθητική ενόχληση του ασθενή, τον δερματικό του ερεθισμό, ενώ αυξάνει σημαντικά την πιθανότητα πρόκλησης θερμικού και χημικού εγκαύματος.

Συμπεραίνεται λοιπόν, ότι η αποτελεσματικότητα του ηλεκτρικού ερεθισμού θα εξαρτηθεί από την δυνατότητα που έχει η συσκευή να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα με υψηλή ένταση αιχμής, διατηρώντας τη μέση τιμή του στο χαμηλότερο δυνατό επίπεδο. Τέτοια δυνατότητα έχουν οι σύγχρονες συσκευές ηλεκτρικού ερεθισμού υψηλής τάσης.

1. Ερεθιστές Χαμηλής Τάσης

Συσκευές ηλεκτρικού ερεθισμού χαμηλής τάσης καλούνται οι ερεθιστές που η τάση τους δεν ξεπερνά τα 150 περίπου Volt. Το πλάτος της έντασης του ρεύματος, το οποίο οι συσκευές χαμηλής τάσης παράγουν, δεν ξεπερνά συνήθως τα 100-150mA.

Στις περισσότερες συσκευές δίνεται η δυνατότητα ρύθμισης της διάρκειας ώσης του ρεύματος, η οποία κυμαίνεται ανάμεσα στο 0.1msec και 600msec. Επίσης, μπορεί να υπάρχει η δυνατότητα ρύθμισης του χρόνου ανόδου και της συχνότητας του ρεύματος, ενώ στη διάθεση του Φυσικοθεραπευτή υπάρχουν διάφοροι τύποι παλμών, όπως ο ορθογώνιος, ο τραπεζοειδής, ο τριγωνικός, ο εκθετικός κ.ά.

Οι ηλεκτρικοί ερεθιστές χαμηλής τάσης χρησιμοποιούνται με επιτυχία στην ηλεκτροδιαγνωστική (π.χ. προσδιορισμός ρέοβασης — χροναξίας), στην ιοντοφόρηση (σταθερά συνεχή ρεύματα), στον ερεθισμό απονευρωμένων και ενευρωμένων μυών (διακοπόμενα συνεχή ρεύματα), στην ηλεκτροαναλγησία (χαμηλός T.E.N.Σ, διαδυναμικά, παρεμβαλλόμενα ρεύματα) κ.λπ. Παρ' όλα αυτά, όπως περιγράφεται και σε επόμενες σελίδες, τα ακόλουθα τεχνικά χαρακτηριστικά, των ερεθιστών χαμηλής τάσης περιορίζουν την αποτελεσματικότητά τους:

- α. μικρός πλάτος έντασης ρεύματος
- β. χαμηλό ρεύμα αιχμής (<150mA, συνήθως <100mA)
- γ. μεγάλη σχετικά μέση τιμή ρεύματος, αναλογικά με το χαμηλό ρεύμα αιχμής που επιτυγχάνουν, π.χ. 50% της έντασης αιχμής για ορθογώνιο παλμό
- δ. αδυναμία διαμόρφωσης μικρότερων από 0.1msec (100μsec) σε διάρκεια παλμών, με πολλές συσκευές να διαθέτουν παλμούς διάρκειας μέχρι 1 μόνο msec.

2. Ερεθιστές Υψηλής Τάσης

Συσκευές ηλεκτρικού ερεθισμού με γεννήτριες υψηλής τάσης εμφανίστηκαν τα τελευταία μόλις χρόνια στο χώρο της Φυσικοθεραπείας. Πρόκειται για συσκευές που μπορούν να παρέχουν τάση μέχρι και 500 Volt, ενώ το πλάτος της έντασης του ρεύματος που παράγουν μπορεί να φθάσει ακόμα και τα 2.500mA (2.5A).

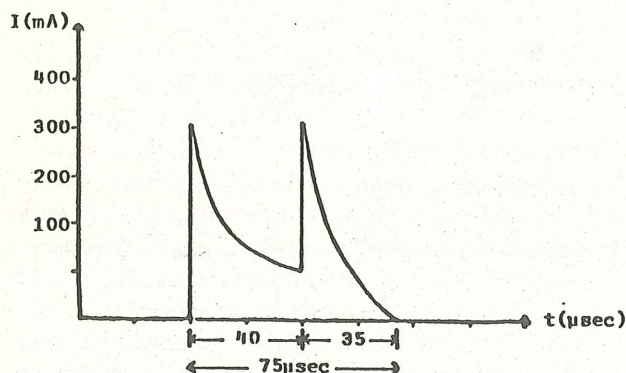
Το κύριο χαρακτηριστικό αυτών των ρευμάτων αιχμής είναι η ειδική μορφή και η πολύ μικρή διάρκεια του παλμού τους. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 2, κάθε παλμός αποτελείται από δύο διαδοχικές υψηλές κορυφές, η διάρκεια των οποίων δεν ξεπερνά τα 30-40μsec (0.03-0.04msec). Η ολική διάρκεια του παλμού κυμαίνεται, ανάλογα με τον τύπο της συσκευής, ανάμεσα στα 60 και 80μsec (0.06-0.08msec).

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως, το ρεύμα που παράγεται από ερεθιστές υψηλής τάσης, μπορεί να έχει πολύ μεγάλες τιμές έντασης αιχμής, ενώ — λόγω της ειδικής μορφής και της πολύ μικρής διάρκειας

του παλμού του — διατηρεί αναλογικά χαμηλή μέση τιμή ρεύματος.

Οι συσκευές υψηλής τάσης δίνουν τη δυνατότητα επιλογής διαφόρων τύπων θεραπείας, όπως είναι ο συνεχής, ο διακοπόμενος, η ρύθμιση παλμοσειράς και άλλοι. Αξίζει να αναφερθεί, ότι με τους περισσότερους ερεθιστές υψηλής τάσης ο φυσικοθεραπευτής μπορεί να αυξάνει την ένταση του ερεθισμού επιλεκτικά στο ένα από το δύο ηλεκτρόδια. Επίσης, δίνεται η δυνατότητα διαμόρφωσης της συχνότητας, που κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 1Hz και 120Hz, έτσι ώστε να διεγείρονται τόσο οι αισθητικές νευρικές (60Hz-120Hz), όσο και οι κινητικές-μυικές ίνες (1Hz-60Hz). Πληρέστερη παρουσίαση των εφαρμογών του ηλεκτρικού ερεθισμού με συσκευές υψηλής τάσης ακολουθεί σε επόμενες σελίδες.

Σχήμα 2. Παράδειγμα παλμού ρεύματος που παράγεται από ερεθιστή υψηλής τάσης. Η ένταση αιχμής είναι 400mA, η ολική διάρκεια του παλμού είναι 75μsec (0.075msec) και η διάρκεια κάθε κορυφής είναι μικρότερη από 30μsec, διατηρώντας έτσι τη μέση τιμή του ρεύματος σε πολύ χαμηλά επίπεδα.



Φυσικοχημικά και Φυσιολογικά Αποτελέσματα των Ερεθιστών Χαμηλής και Υψηλής Τάσης

Πριν προχωρήσουμε στη συγκριτική παρουσίαση των φυσικοχημικών και φυσιολογικών αποτελεσμάτων του ηλεκτρικού ερεθισμού χαμηλής ή υψηλής τάσης, θα ήταν σωστό να θυμίσουμε, ότι σαν φυσικοχημικά αποτελέσματα αναφέρονται οι θερμικές και χημικές επιδράσεις που μπορεί να έχει η εφαρμογή του ρεύματος στο ανθρώπινο σώμα, καθώς επίσης και η ικανότητα διείσδυσής του μέσα στους ιστούς. Από την άλλη μεριά, οι μηχανισμοί διέγερσης και ερεθισμού των νευρικών και μυικών ινών αποτελούν την φυσιολογική συνιστώσα της δράσης των ηλεκτρικών ρευμάτων.

1. Θερμικά αποτελέσματα

Η χρήση κάθε ηλεκτρικού ερεθιστή θα πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε και η ανεκτικότητα του ρεύματος να είναι καλή και να μην διακινδυνεύεται η ασφάλεια του ασθενή, παράγοντες που εξαρτώνται άμεσα από τα θερμικά και χημικά αποτελέσματα του ερεθισμού.

Οι ιστοί προβάλλουν σημαντική αντίσταση στη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος, η οποία οφείλεται στις αλληλεπιδράσεις συγκρούσεις των ιόντων του ρεύματος με τα ιονικά μόρια που συναντούν, με συνέπεια μέρος της φέρουσας ηλεκτρικής ενέργειας να μετατρέπεται σε θερμική. Η ποσότητα της θερμικής ενέργειας, που παράγεται με τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από τους ανθρώπινους ιστούς, δίνεται από το Νόμο του Joule:

$$W = I^2 \cdot t \cdot R$$

όπου: **W** = η παραγόμενη θερμική ενέργεια, **I** = η μέση ένταση του ρεύματος, **T** = ο χρόνος εφαρμογής του ρεύματος, **R** = η αντίσταση των ανθρώπινων ιστών.

Η αντίσταση (**R**), που συναντά το ρεύμα κατά τη πορεία του μέσα στους ιστούς, είναι σύνθετη αποτελούμενη από επιμέρους ωμική (**Rohm**) και χωρητική (**Rc**) αντίσταση [**R** = **Rohm** + **Rc**]. Τόσο η ωμική όσο και η χωρητική αντίσταση είναι ίδιες για κάθε συνεχές διακοπόμενο ρεύμα που εφαρμόζεται στο ίδιο σημείο του σώματος, ανεξάρτητα αν το ρεύμα παράγεται από συσκευή χαμηλής ή υψηλής τάσης. Έτσι, το θερμικό αποτέλεσμα του ηλεκτρικού ερεθισμού είναι συνάρτηση του γινόμενου του τετραγώνου της μέσης τιμής του ρεύματος επί το χρόνο εφαρμογής του. Δηλαδή, όσο μεγαλύτερη είναι η μέση ένταση και ο χρόνος εφαρμογής του ρεύματος τόσο αυξάνεται ο κίνδυνος για πιθανό θερμικό έγκαυμα από την παραγόμενη θερμική ενέργεια:

$$\text{Θερμικό αποτέλεσμα} \approx I^2 \cdot t$$

Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, οι ερεθιστές χαμηλής τάσης παράγουν ρεύματα με μικρή ένταση αιχμής, αλλά μεγάλη σχετικά μέση τιμή. Για να επιτευχθεί όμως κατάλληλος ερεθισμός (ικανοποιητικό φυσιολογικό αποτέλεσμα). Θα πρέπει, μια και η ένταση αιχμής του ρεύματος είναι μικρή, να αυξηθεί η διάρκεια του παλμού του (1msec έως 10msec). Σαν συνέπεια, αυξάνεται σημαντικά ο χρόνος εφαρμογής του ρεύματος, το γινόμενο ($I^2 \cdot t$), επομένως και ο κίνδυνος πιθανής θερμικής ενόχλησης. Αντίθετα, τα ρεύματα υψηλής τάσης διαθέτουν πολύ μεγάλες εντάσεις αιχμής, με μικρές σχετικά μέσες τιμές και πολύ μικρή διάρκεια παλμού (0.06-0.08msec).

Είναι έτσι φανερό, ότι το γινόμενο έντασης — χρόνου ($I^2 \cdot t$) και η θερμική ενόχληση αυξάνουν σημαντικά κατά την εφαρμογή ρευμάτων χαμηλής τάσης συγκριτικά με αντίστοιχες εφαρμογές των ρευμάτων υψηλής τάσης, για τον ίδιο πάντα σκοπό θεραπείας. Πράγματι, ενώ ρεύματα υψηλής τάσης με ένταση αιχμής 1.000 έως και 1.500mA γίνονται άνετα ανεκτά από ασθενείς, πολύ δύσκολα θα γίνει ανεκτό ένα ρεύμα χαμηλής τάσης με ένταση αιχμής πάνω από 50mA.

2. Χημικές επιδράσεις

Κατά τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από τους ιστούς, εκτός από την παραγωγή θερμότητας λαμβάνει χώρα και σειρά ηλεκτρολυτικών διεργασιών. Εάν μεγάλη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας διοχετευθεί στο ανθρώπινο σώμα, τότε η γενικευμένη ηλεκτρόλυση των ελεύθερων ιόντων που θα ακολουθήσει, επιφέρει τον θάνατο (ηλεκτροπληξία). Γενικά, εάν η ηλεκτρολυόμενη μάζα ιστών κατά την εφαρμογή ηλεκτρικού ρεύματος είναι σημαντική, η πιθανότητα πρόκλησης τοπικού χημικού εγκαύματος είναι μεγάλη.

Σύμφωνα με το νόμο του Faraday, η ηλεκτρολυόμενη μάζα είναι ανάλογη με το γινόμενο της μέσης έντασης του ρεύματος επί το χρόνο εφαρμογής του. Και σε αυτή την περίπτωση, ενώ ο ερεθισμός με ρεύματα χαμηλής τάσης μπορεί να έχει ανεπιθύμητα χημικά αποτελέσματα, ο κίνδυνος τοπικού χημικού εγκαύματος με τη χρήση ερεθιστών υψηλής τάσης είναι αμελητέος, αν όχι μηδαμικός (μικρές σχετικά μέσες τιμές ρεύματος, με πολύ μικρό χρόνο εφαρμογής).

$$m = \frac{1}{n \cdot F} \cdot I \cdot t$$

όπου: **m** = ηλεκτρολυόμενη μάζα

I = μέση ένταση ρεύματος

t = χρόνος εφαρμογής

n = γραμμομόρια (moles)

F = μονάδα Faraday

3. Διεσδυτικότητα και ικανότητα ερεθισμού

Η αποτελεσματικότητα του ηλεκτρικού ερεθισμού εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό και από τη δυνατότητα του ρεύματος να προχωρά σε βάθος μέσα στους ανθρώπινους ιστούς, διατηρώντας ταυτόχρονα όσο το δυνατό αναλλοίωτα τα χαρακτηριστικά διαμόρφωσής του (μορφή και διάρκεια παλμού, συχνότητα, ένταση κ.λπ.). Η διεσδυτικότητα του ηλεκτρικού ρεύματος είναι πάντα ανάλογη της έντασης αιχμής και αντίστροφα ανάλογη της μέσης τιμής του. Όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση αιχμής ενός ρεύματος, τόσο βελπώνεται η ικανότητά του να υπερνικά την αντίσταση που προβάλλουν οι ανθρώπινοι ιστοί, επομένως και η διεσδυτικότητά του. Από την άλλη μεριά, όσο μεγαλύτερη είναι η μέση τιμή ενός ρεύματος, τόσο αυξάνονται οι απώλειες της ηλεκτρικής του ενέργειας, τα φυσικοχημικά του αποτελέσματα (↑ γινομένου έντασης-χρόνου) και ο κίνδυνος από πιθανό θερμικό ή χημικό έγκαυμα. Επιπρόσθετα, σημαντικές απώλειες ηλεκτρικής ενέργειας οδηγούν στην αλλοίωση των χαρακτηριστικών διαμόρφωσης του ηλεκτρικού ρεύματος με φυσική συνέπεια την μειωμένη αποτελεσματικότητά του.

Όπως είναι γνωστό, τα ρεύματα χαμηλής τάσης διαθέ-

τουν μικρές εντάσεις αιχμής. Για να βελτιωθεί, έτσι, η διεσδυτικότητα (υπερνίκηση ιστικών αντιστάσεων) και η ικανότητά τους για αποτελεσματικό ερεθισμό αυξάνεται συνήθως ένταση, ή και η διάρκεια παλμού του ρεύματος, με αποτέλεσμα την αύξηση τόσο της μέσης τιμής όσο και του χρόνου εφαρμογής του. Με τη σειρά τους οι αλλαγές αυτές θα οδηγήσουν σε αυξημένες απώλειες ηλεκτρικής ενέργειας, παραμόρφωση των χαρακτηριστικών διαμόρφωσης και ανεπιθύμητα φυσικοχημικά αποτελέσματα με συνέπεια την ενόχληση του ασθενή και την μειωμένη αποτελεσματικότητα του ρεύματος.

Αντίθετα, τα ρεύματα που παράγονται από συσκευές υψηλής τάσης διαθέτουν πολύ μεγάλες εντάσεις αιχμής, υπερνικώντας ευκολότερα την αντίσταση των ιστών στη διέλευσή τους. Παράλληλα, με την μικρή σχετικά μέση ένταση και διάρκεια παλμού που τα χαρακτηρίζει, οι απώλειες ηλεκτρικής ενέργειας περιορίζονται στο ελάχιστο και τα χαρακτηριστικά τους διατηρούνται αναλλοίωτα σε ικανό βάθος μέσα στο ανθρώπινο σώμα.

4. Φυσιολογικά αποτελέσματα

Οι νευρικές ίνες χωρίζονται βασικά σε κινητικές (φυγόκεντρες) και αισθητικές (κεντρομόλες). Ανάλογα με τη διάμετρο και τη ταχύτητα αγωγής τους ταξινομούνται σε διάφορες ομάδες. Είναι γνωστό, ότι κάθε ομάδα νευρικών ινών χρειάζεται διαφορετική ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας για την εκπόλωση και διέγερσή της. Πιο συγκεκριμένα, ανάλογα με την ένταση και τη διάρκεια παλμού του ρεύματος που χρησιμοποιείται, διεγείρονται διαφορετικές νευρικές ίνες. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα στο φυσιολογικό, να ερεθίσει εκλεκτικά τις νευρικές ίνες που επιθυμεί, ανάλογα πάντα με τον σκοπό της θεραπείας.

Τις περισσότερες φορές που χρησιμοποιείται ο ηλεκτρικός ερεθισμός για να διεγείρει τις αισθητικές νευρικές ίνες, σκοπός της θεραπείας είναι συνήθως η αναλγησία. Γνωρίζουμε, ότι τα ερεθίσματα του πόνου μεταφέρονται από τους υποδοχείς στα κεντρικότερα τμήματα του νευρικού συστήματος με τις μικρές σε διάμετρο κεντρομόλες αισθητικές ίνες Αδ και C. Με βάση τη γνωστή θεωρία της «πύλης ελέγχου του πόνου» των Melzack και Wall, όπως έχει διαμορφωθεί σήμερα, πιστεύεται, ότι ο εκλεκτικός ερεθισμός των μεγάλων αισθητικών ινών (Αα, Αβ και Αγ) μπορεί να αναχαιτίσει την πορεία των επώδυνων «πληροφοριών», παράγοντας μικρής ή μεγάλης διάρκειας αναλγησία.

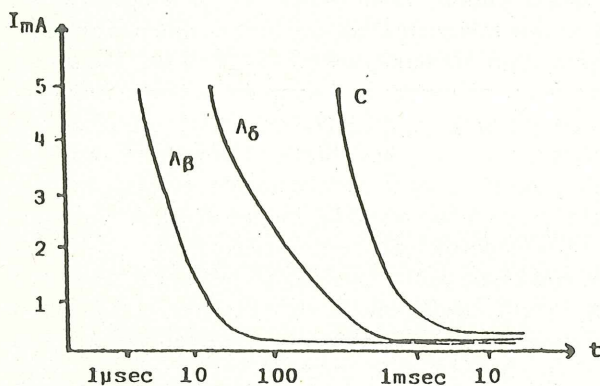
Προηγούμενες εργασίες έχουν δείξει, ότι οι ίνες του πόνου διεγείρονται με παλμούς διάρκειας μεγαλύτερης των 50μsec για τις Αδ και 200μsec για τις C. Από την άλλη μεριά, οι μεγάλες αισθητικές ίνες, η έντονη δραστηριότητα των οποίων αναστέλλει την αγωγιμότητα των ινών του πόνου, διεγείρονται με παλμούς διάρκειας μεγαλύτερης των 2μsec (Σχήμα 3). Έτσι, η διάρκεια παλμού του ηλεκτρικού ρεύματος που στοχεύει στον αποτελεσματικό εκλεκτικό ερεθισμό των μεγάλων αισθητικών ινών με σκο-

πό την αναλγησία, θα πρέπει να μην είναι μεγαλύτερη από 50-80μsec.

Οι ερεθιστές υψηλής τάσης που χρησιμοποιούνται στην ηλεκτροθεραπεία, όπως ο ηλεκτρικός ερεθισμός υψηλής τάσης και ο «υψηλός» Τ.Ε.Ν.Σ., παράγουν ρεύματα με δυνατότητα διαμόρφωσης παλμού πολύ μικρής διάρκειας, ο οποίος μπορεί να φθάσει ακόμα και τα 50μsec. Αντίθετα, τα ρεύματα που παράγονται από ερεθιστές χαμηλής τάσης έχουν συνήθως διάρκεια παλμού που κυμαίνεται μεταξύ 1msec (1.000μsec) και 100msec, σπανιότατα δε κατεβαίνουν μέχρι το 0.1msec. Όταν, λοιπόν, σκοπός του ηλεκτρικού ερεθισμού είναι η εκλεκτική διέγερση των μεγάλων κεντρομόλων αισθητικών ινών (αναλγητικό αποτέλεσμα), τα ρεύματα υψηλής τάσης κατάλληλα διαμορφωμένα αποτελούν ίσως την καλύτερη επιλογή για το φυσικοθεραπευτή.

Διάφορα είδη ηλεκτροθεραπευτικών ρευμάτων χρησιμοποιούνται εδώ και πολλές δεκαετίες για τον ερεθισμό των μυικών και κινητικών νευρικών ινών. Η έρευνα έχει δείξει, ότι ο αποτελεσματικός ερεθισμός των ινών αυτών επιτυγχάνεται, όταν η διάρκεια παλμού του ηλεκτρικού ρεύματος βρίσκεται μεταξύ του 0.1msec και 2msec.

Σχήμα 3. Εκλεκτική διέγερση των Α_β, Α_δ και C ινών του σαφηνούς νεύρου της γάτας με διαφοροποίηση της διάρκειας παλμού του ρεύματος.



Τα ρεύματα χαμηλής τάσης καταφέρνουν να αποσπάσουν σημαντικές κινητικές απαντήσεις, αφού διαθέτουν την απαραίτητη ένταση και χρόνο ώσης γι' αυτόν τον θεραπευτικό σκοπό. Στην περίπτωση, όμως, που η θεραπεία χρειάζεται να επαναλαμβάνεται συχνά και για μεγάλα χρονικά διαστήματα, τότε ο μεγάλος χρόνος ερεθισμού σε συνδυασμό με την μεγάλη μέση τιμή του ρεύματος μειώνουν την αποτελεσματικότητα του ερεθισμού, ενώ παράλληλα αυξάνονται και οι ενοχλήσεις του ασθενή.

Τα ρεύματα υψηλής τάσης δεν διαθέτουν τη μεγάλη σχεπικά διάρκεια παλμού που απαιτεί για τον αποτελεσματικό ερεθισμό των κινητικών νευρικών και μυικών ινών (0.1msec-2msec). Η κατασκευαστική αυτή «αδυναμία» τους, για τον συγκεκριμένο θεραπευτικό σκοπό, αντισταθμίζεται σε ένα βαθμό από τις πολύ μεγάλες εντάσεις αιχμής που διαθέτουν (μέχρι 2.000mA). Από την άλλη με-

ριά, η παροχή του ερεθίσματος κατά ζεύγη βελτώνει αισθητά την αποτελεσματικότητα της θεραπείας. Είναι γνωστό ότι, όταν ένα ηλεκτρικό ερέθισμα μικρής διάρκειας παρέχεται κατά ζεύγη, τότε η εκπόλωση της κινητικής νευρικής ή μυικής ίνας είναι πολύ πιο εύκολη, ενώ η ένταση του ρεύματος που απαιτείται για μια δυνατή κινητική απάντηση, μειώνεται σημαντικά. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα ρεύματα υψηλής τάσης έχουν μικρής διάρκειας παλμό (περίπου 80μsec), ο οποίος αποτελείται από δύο επιμέρους παλμικές κορυφές των 40μsec η κάθε μια (Σχήμα 2).

Συμπερασματικά, τα ρεύματα υψηλής τάσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν με πολύ καλά αποτελέσματα στον ερεθισμό των φυσιολογικών μυικών και νευρικών κινητικών ινών. Όταν δε πρόκειται για συχνές και πολύ μεγάλης διάρκειας θεραπείες, αποτελούν την καλύτερη επιλογή, μια και η εφαρμογή τους δεν συνοδεύεται από πιθανές θερμικές ή χημικές ενοχλήσεις και είναι ευχάριστα ανεκτή από τους ασθενείς.

Εφαρμογές του Ηλεκτρικού Ερεθισμού Υψηλής Τάσης

Ποικιλία ηλεκτρικών ερεθιστών υψηλής τάσης διατίθεται σήμερα στην αγορά με πολλές φυσικοθεραπευτικές εφαρμογές, οι κυριότερες των οποίων παρατίθενται συνοπτικά παρακάτω.

1. Αναλγησία

Σε προηγούμενες σελίδες αναφέρονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των ερεθιστών υψηλής τάσης, καθώς επίσης και οι παράμετροι του αντίστοιχου ηλεκτρικού ερεθισμού που επιτρέπουν καταστολή ή ελάττωση του πόνου, τη σημαντικότερη ίσως ενόχληση που καλείται να αντιμετωπίσει η ηλεκτροθεραπεία.

Η καταστολή του πόνου με τη βοήθεια του ηλεκτρικού ερεθισμού υψηλής τάσης μπορεί να γίνει με δύο κυρίως τρόπους:

α. Περιφερειακός αποκλεισμός των σημάτων του πόνου. Αναφέρθηκε προηγουμένως ότι η εκλεκτική διέγερση των μεγάλων κεντρομόλων αισθητικών νευρικών ινών μπορεί να αναχαιτίσει την αγωγιμότητα των μικρών αισθητικών ινών Αδ και C, οι οποίες μεταφέρουν τις επώδυνες πληροφορίες στο «κέντρο». Η αναχαίτιση γίνεται στο επίπεδο του νωπιαίου μυελού και πιο συγκεκριμένα στο 2ο και 3ο πέταλο (ζελαπινώδης ουσία) των οπισθίων κεράτων. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται μεγάλα σχεπικά ηλεκτρόδια, τα οποία τοποθετούνται κατάλληλα στις επώδυνες περιοχές ή στα νευρικά στελέχη που τις νευρώνουν. Ορισμένοι ερευνητές αναφέρουν επίσης, ότι με τη μέθοδο αυτή ο ηλεκτρικός ερεθισμός ανεβάζει την ουδωή ερεθισσιμότητα των υποδοχέων του πόνου, μειώνοντας έτσι τη διεγερσιμότητά τους.

β. Κεντρικός αποκλεισμός των σημάτων του πόνου.

Στην περίπτωση αυτή αναφέρεται, ότι ο κατάλληλος ερεθισμός των σημείων βελονισμού ή και των λεγόμενων «trigger points» ενεργοποιεί τους μηχανισμούς ελέγχου του πόνου. Με λίγα λόγια, παρατηρείται σημαντική αύξηση των οπιούχων ενδογενών ουσιών (β-ενδορφίνη, εγκεφαλίνη), ο ρόλος των οποίων είναι καθοριστικός για τη λειτουργία των καπόντων συστημάτων (descending pathways) ελέγχου του πόνου που διαθέτει ο οργανισμός. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιούνται ειδικά μικρά ηλεκτρόδια, η σωστή τοποθέτηση των οποίων απαιτεί μεγάλη προσοχή και εμπειρία.

Στην αναλγητική εφαρμογή των ρευμάτων υψηλής τάσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι τύποι παλμοσειρών με μικρή πάντα διάρκεια παλμού (50 έως 100μsec). Η συχνότητα του ρεύματος κυμαίνεται μεταξύ των 80Hz και 100Hz, ενώ η ένταση ρυθμίζεται ανάλογα με την περίπτωση.

2. Αποκατάσταση μυοσκελετικών κακώσεων

Οι βαθείς και δυνατές συσπάσεις, που δίνει ο ηλεκτρικός ερεθισμός με ρεύματα υψηλής τάσης, βελτιώνουν σημαντικά την τοπική κυκλοφορία και χαλαρώνουν το μυϊκό σπασμό, συμπτώματα τα οποία μαζί με τον περιορισμό της κινητικότητας, την ανάπτυξη συμφύσεων κ.λπ., ακολουθούν πολλές μυοσκελετικές κακώσεις και φλεγμονές των περιαρθρικών στοιχείων. Οι συνοδές αυτές ενοχλήσεις επιδεινώνουν τον αρχικό πόνο που προκαλεί η κάκωση ή και η φλεγμονή. Η αντιμετώπιση παρόμοιων προβλημάτων με υψηλού δυναμικού ηλεκτρικό ερεθισμό παρέχει σημαντική θεραπευτική υποστήριξη στον ασθενή, ελατώνοντας τον πόνο, αλλά συνάμα παρέχει και λειτουργική υποστήριξη με την αύξηση της κυκλοφορίας, τη χαλάρωση του μυϊκού σπασμού και τη βελτίωση της κινητικότητας που ακολουθεί.

Ειδικότερα, η ανάπτυξη συμφύσεων αποτελεί πολύ καλή ένδειξη για την εφαρμογή των ρευμάτων υψηλής τάσης. Εδώ, τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται πάνω στις μυϊκές ομάδες, που κινούν την άρθρωση όπου βρίσκονται οι συμφύσεις και δίνεται ερεθισμός για μεγάλα χρονικά διαστήματα, τα οποία μπορούν να φτάνουν και τις πέντε ώρες την ημέρα σύμφωνα με ορισμένους ερευνητές. Είναι φανερό, ότι τέτοια πολύωρη θεραπεία απαιτεί τη χρήση αποκλειστικά ρευμάτων υψηλής τάσης, των οποίων η εφαρμογή είναι ανεκτή για τον ασθενή χωρίς τον κίνδυνο θερμικών ή χημικών επιπλοκών, όπως θα συνέβαινε στην περίπτωση πολύωρης χρήσης ρευμάτων χαμηλής τάσης.

Τόσο στην αντιμετώπιση των συμφύσεων, όσο και στην περίπτωση που σκοπός της θεραπείας είναι η βελτίωση της τοπικής κυκλοφορίας, η χαλάρωση του μυϊκού σπασμού και η διευκόλυνση της κινητικότητας, χρησιμοποιούνται ρεύματα υψηλής τάσης με χαμηλή συχνότητα (0-20Hz). Ο λόγος λειτουργίας — παύσης του ρεύματος δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερος από ένα προς τρία (1/3), ώστε να παρεμβάλλονται ικανά διαστήματα ανάπαυσης και

να αποφεύγεται η κόπωση των μυών. Η διάρκεια του παλμού πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 0.1msec, χωρίς όμως να ξεπερνά τα 2msec και η ένταση του ρεύματος τόσο υψηλή όσο το επιτρέπει η ανοχή του ασθενή και η συνολική διάρκεια της θεραπείας.

3. Διαταραχές περιφερικής σωματικής κυκλοφορίας

Ο ηλεκτρικός ερεθισμός χρησιμοποιείται συχνά στην αντιμετώπιση προβλημάτων που αφορούν την περιφερική σωματική κυκλοφορία. Η κατάλληλη εφαρμογή ηλεκτροθεραπευτικών ρευμάτων μπορεί να αυξήσει περιφερικά την αιματική ροή, αμβλύνοντας διάφορα συμπτώματα που συνοδεύουν συνήθως τις διαταραχές της σωματικής κυκλοφορίας, όπως ο περιορισμός της κινητικότητας, η μειωμένη τροφοδοσία, ο πόνος κ.ά.

Ο ηλεκτρικός ερεθισμός μπορεί να επιδράσει στη λειτουργία του κυκλοφορικού συστήματος, είτε άμεσα (με τη δραστηριοποίηση των συμπαθητικών ινών του αυτόνομου νευρικού συστήματος), είτε έμμεσα (με την περιοδική σύσπαση — χάλαση μεγάλων μυϊκών ομάδων) ενεργοποιώντας την αντλητική ικανότητα των μυών. Είναι γνωστό, ότι μεγάλες ποσότητες φλεβικού αίματος κινητοποιούνται γρήγορα προς το δεξιό κόλπο της καρδιάς με τη βοήθεια του μηχανισμού της μυϊκής αντλίας. Κάθε αύξηση της φλεβικής επιστροφής έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του προφορτίου και στη συνέχεια του όγκου παλμού και της καρδιακής παροχής. Έτσι, μεγαλύτερες ποσότητες αρτηριακού αίματος, πλούσιου σε οξυγόνο και θρεπτικά συστατικά, τροφοδοτούν τους περιφερικούς ιστούς του σώματος.

Για τη βελτίωση της περιφερικής κυκλοφορίας χρησιμοποιούνται τόσο τα ρεύματα υψηλής όσο και τα ρεύματα χαμηλής τάσης. Οι ερεθιστές όμως υψηλής τάσης έχουν φανερί αποτελεσματικότεροι, γιατί τα ρεύματα που παράγουν, διαθέτουν μεγαλύτερο βάθος ερεθισμού, επιτρέπουν πολύωρη εφαρμογή σε διάφορα μέρη του σώματος και είναι πιο ευχάριστα για τους ασθενείς. Επίσης αναφέρεται, ότι ο ηλεκτρικός ερεθισμός με ρεύματα υψηλής τάσης φαίνεται να εξειδικεύει την δράση του αυξάνοντας την αιματική ροή στους μύες και όχι στο δέρμα, όπου συνήθως επιδρά ο ερεθισμός με παλαιού τύπου ρεύματα χαμηλής τάσης.

4. Αποκατάσταση μυϊκής λειτουργικής ικανότητας

Η αποκατάσταση της μυϊκής λειτουργικής ικανότητας θα μπορούσε να ορισθεί σαν το σύνολο των θεραπευτικών ενεργειών, που έχουν στόχο να καταστήσουν πάλι ικανό το μυ, ή τη μυϊκή ομάδα, να εκτελεί με επιτυχία όλες τις προηγούμενες φυσιολογικές λειτουργίες ή ενδεχόμενα και κάποιες καινούργιες δραστηριότητες, αν οι ανάγκες του οργανισμού το επιβάλλουν.

Πρέπει εδώ να τονισθεί, ότι ο ηλεκτρικός ερεθισμός με

ρεύματα υψηλής τάσης χρησιμοποιείται στην αποκατάσταση της λειτουργικής ικανότητας φυσιολογικά μόνο ε-νευρωμένων μυών. Οι απονευρωμένοι μύες, ή οι μύες που αποκτούν σταδιακά τη νευρώσή τους, μπορούν να ε-ρεθιστούν αποτελεσματικά με ρεύματα που διαθέτουν μεγάλη διάρκεια παλμού (100msec-600msec), διάρκεια την οποία δεν διαθέτουν τα ρεύματα υψηλής τάσης.

Η χρήση των ερεθιστών υψηλού δυναμικού ενδείκνυται απόλυτα και με άριστα αποτελέσματα, όταν ο στόχος του ερεθισμού είναι φυσιολογικά ενευρωμένοι μύες με διάφορα προβλήματα, όπως ατροφίες, συρρικνώσεις, διαταραχές κινητικότητας κ.λπ. Ειδικότερα, όταν η θεραπεία στοχεύει στην ενδυνάμωση μυικών ομάδων, χρησιμοποιούνται, παράλληλα με την κινησιοθεραπεία, ρεύματα με συχνότητα που κυμαίνεται ανάμεσα στα 50 και 100Hz, διάρκεια παλμού κοντά στο 1msec, υψηλή σχετική ένταση και μεγάλο χρόνο εφαρμογής. Στη βιβλιογραφία αναφέρονται πάρα πολλά πρωτόκολλα ενδυνάμωσης που χρησιμοποιούν τους ερεθιστές υψηλής τάσης, τα οποία όμως παραθέτουν διαφορετικές παραμέτρους ερεθισμού, δυσκολεύοντας έτσι την πλήρη παρουσίασή τους στα στενά πλαίσια της εργασίας αυτής.

Πέρα από την αύξηση της δύναμης, η εφαρμογή των ρευμάτων υψηλής τάσης μπορεί να βελτιώσει την ταχύτητα συστολής και την ισχύ του μυ, ή της μυικής ομάδας που διεγείρεται. Άριστη ένδειξη αποτελεί, επίσης, η πρόληψη των ατροφιών και όλων των εκφυλιστικών αλλοιώσεων του μυϊκού ιστού, που ακολουθούν την παρατεταμένη ακινητοποίηση ασθενών με ειδικά προβλήματα, όπως κατάγματα, διαταραχές στη λειτουργία του κεντρικού και περιφερικού νευρικού συστήματος, κ.ά. Εδώ, ο συχνός και μεγάλης διάρκειας ηλεκτρικός ερεθισμός μπορεί να βοηθήσει την τροφοδοσία του μυ με θρεπτικά συστατικά, τη διατήρηση του μεγέθους του και να προλάβει τη δημιουργία ινωδών συμφύσεων μέσα στις μυϊκές δεσμίδες. Συνιστάται ιδιαίτερα ο ερεθισμός με ρεύματα υψηλής τάσης στις περιπτώσεις εκείνες που η αισθητικότητα των ασθενών είναι σοβαρά μειωμένη, μια και η ασφάλειά τους διασφαλίζεται από τη στιγμή που οι κίνδυνοι θερμικού ή χημικού εγκαύματος είναι πρακτικά μηδαμικοί.

Οι ερεθιστές υψηλού δυναμικού μπορούν να χρησιμοποιηθούν, με πολύ καλά μάλιστα αποτελέσματα, στην επανεκπαίδευση μυών ή μυικών ομάδων, καθώς επίσης και στην εκμάθηση νέων δραστηριοτήτων, όπως για παράδειγμα απαιτείται στην εκπαίδευση ενός μυ μετά από τετονιομετάθεση.

Τελειώνοντας στο σημείο αυτό τη συνοπτική παρουσίαση του ηλεκτρικού ερεθισμού υψηλής τάσης, θα πρέπει να τονίσουμε, ότι είναι ένα σχετικά καινούργιο φυσικοθεραπευτικό μέσο, το οποίο πέρα από τις πλούσιες εφαρμογές του, παρέχει απόλυτη σχεδόν ασφάλεια για τον ασθενή, απαραίτητη προϋπόθεση για την επιτυχία κάθε θεραπευτικής πράξης. Όμως, χρειάζεται ακόμα να καταβληθεί σημαντική ερευνητική και κλινική προσπάθεια για τη δημιουργία ολοκληρωμένων ηλεκτροθεραπευτικών προ-

γραμμάτων, ώστε να αξιοποιηθούν οι πραγματικά σημαντικές δυνατότητες της νέας αυτής μεθόδου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Alon Gad. «High Voltage Galvanic Stimulation». Lecture in New York, 21 May 1981.
2. Alon Gad. «High Voltage Galvanic Stimulation». Tennessee: Chattanooga Co., 1981.
3. Arf A., Alon G. «High Voltage Pulsed Current: It's Depth of Penetration». *Arch. of Phys. Med. Reh.*, 1981.
4. Bishop B. «Pain: It's Physiology and Rationale for Management». *Physical Therapy*, 1980, 60:13-37.
5. Brazier M.A. «The Electrical Activity of the Nervous System». New York: The MacMillan Company, 1986.
6. Howson D.C. «Peripheral Neural Excitability». *Physical Therapy*, 1978, 58:1467, 1473.
7. Kresse H. «Handbook of Electromedicine». New York: John Wiley and Sons, 1985.
8. Long D., Hagtors N. «Electrical Stimulation in the Nervous System». *Pain*, 1975, 1:109-123.
9. Μπάκας Λ. «Φυσική Ιατρική και Αποκατάσταση – Ηλεκτροθεραπεία». Αθήνα, 1985.
10. Papathanasiou George. «Electrotherapeutic Currents». New York, 1985.
11. Wall P.D. «The Gate Control Theory of Pain Mechanisms. A Re-Examination and Re-statement». *Brain*, 1978, 101:1-18.
12. Wolf L.S. «Electrotherapy». New York: Churchill Livingstone, 1981.