

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΩΝ ΥΓΕΙΑΣ & ΠΡΟΝΟΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ:

«Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΟΠΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ»

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΠΟΛΥΖΩΓΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ

ΚΩΣΤΑΡΑΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΤΣΕΠΗΣ ΗΛΙΑΣ

ΑΙΓΙΟ, 2008

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΣΕΛ:

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ	
Ορισμός ισορροπίας.....	6
1.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την ισορροπία.....	9
1.2 Όργανα ελέγχου.....	11
1.3 Καταστάσεις που επηρεάζουν την ισορροπία.....	19
1.4 Μέτρηση της ισορροπίας.....	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΚΟΠΩΣΗ	
Φυσιολογία και είδη κόπωσης.....	27
2.1 Κεντρική κόπωση.....	27
2.2 Περιφερική κόπωση.....	32
2.3 Διαφοροποίηση της κόπωσης σε σχέση με το είδος των μυϊκών συσπάσεων.....	36
2.4 Ενεργειακές πηγές και κόπωση.....	37
2.5 Μέτρηση της μυϊκής κόπωσης.....	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΟΠΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ	
3.1 Η επίδραση της κόπωσης στον μηχανισμό πρόβλεψης του Κ.Ν.Σ.....	45
3.2 Χρόνος αποκατάστασης ισορροπιστικής ικανότητας έπειτα από κοπιαστικές δραστηριότητες.....	47
3.3 Επιδράσεις της κοπιαστικής αερόβιας άσκησης στην διατήρηση της ισορροπίας.....	50
3.4 Επιδράσεις της κοπιαστικής αναερόβιας άσκησης στην ικανότητα διατήρησης της ισορροπίας.....	55
3.5 Αντισταθμιστικές αντιδράσεις των μυών στην κόπωση για την διατήρηση του ελέγχου κατά την εκτέλεση πολυαρθρικών κινήσεων.....	59
3.6 Επιδράσεις της κόπωσης στις παραμέτρους του ορθοστατικού λικνίσματος σε σχέση με επιμέρους μυϊκές ομάδες.....	61
3.7 Ο ρόλος της όρασης στη ικανότητα διατήρησης της ισορροπίας ύστερα από κόπωση.....	67
3.8 Κόπωση και δυναμική ισορροπία.....	70
3.9 Ικανότητα διατήρησης της ισορροπίας σε συνθήκες κόπωσης με παρουσία αστάθειας της ποδοκνημικής άρθρωσης.....	74
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	76
ΑΡΘΡΟΓΡΑΦΙΑ.....	77
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	89

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΣΕΛ:

Εικόνα 1.1 : Πείραμα με “κινούμενο” δωμάτιο.....	12
Εικόνα 1.2 : Το λαβυρύνθιο σύστημα του έσω αυτιού.....	13
Εικόνα 1.3 : Ενεργοποίηση μυϊκής ατράκτου, μέσω διάταξης	15
Εικόνα 1.4 : Η συμβολή του ΚΝΣ στη μετάδοση της εντολής κίνησης.....	16
Εικόνα 1.5 : Επίδραση του ερεθίσματος δόνησης στο μυ.....	17
Εικόνα 1.6 : Test <i>UP & GO</i>	24
Εικόνα 1.7 : Smart Balance Master.....	25
Εικόνα 1.8 :Εξοπλισμός Pro Balance Master.....	26
Εικόνα 2.1 : Το κοτόπουλο αποτελεί κύρια πηγή πρωτεϊνών	38
Εικόνα 2.2 : Λήψη υγρού εμπλουτισμένου με ηλεκτρολύτες και υδατάνθρακες.....	39
Εικόνα 2.3 : Μέτρηση της κόπωσης με ισοκινητικό δυναμόμετρο.....	41
Εικόνα 2.4 : Συνδυασμός ηλεκτρικής διέγερσης και εθελούσιας σύσπασης.....	42
Εικόνα 3.1 : Αερόβια άσκηση - υπολογισμός VO ₂ max.....	51
Εικόνα 3.2 : Μέτρηση της ισορροπίας με πλατφόρμα δύναμης.....	63
Εικόνα 3.3 : Τέστ με άλμα για αξιολόγηση της δυναμικής ισορροπίας (αρχική θέση).....	72
Εικόνα 3.4 : Τέστ με άλμα για αξιολόγηση της δυναμικής ισορροπίας (τελική θέση).....	72
Εικόνα 3.5 : Μέτρηση δυναμικής ισορροπίας με το Star Excursion Balance Test.....	74

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσης εργασίας με τίτλο «Η επίδραση της κόπωσης στην ισορροπία» είναι, να μελετήσει ξεχωριστά τις έννοιες «ισορροπία» και «κόπωση», προκειμένου να τις συνδυάσει για την εξαγωγή συμπερασμάτων για την επίδρασή τους σε νεαρά, υγιή άτομα, χωρίς πρόσφατο τραυματισμό των κάτω άκρων.

Στο πρώτο κεφάλαιο δίνεται ο ορισμός της ισορροπίας. Εν συνεχεία αναφέρονται ορισμένοι παράγοντες, που επηρεάζουν την ισορροπία, με σημαντικότερους το μέγεθος της βάσης στήριξης, τη σχέση της γραμμής βαρύτητας με τη βάση στήριξης και το ύψος του κέντρου βάρους. Έπειτα γίνεται λόγος για τα όργανα ελέγχου της ισορροπίας, τα οποία είναι η όραση, η ακοή και η ιδιοδεκτικότητα. Ακολουθούν ορισμένες καταστάσεις που επηρεάζουν την ισορροπία, όπως η γήρανση, οι τραυματισμοί και διάφορες παθολογικές καταστάσεις (τύφλωση, κώφωση, ημιπληγία). Τέλος, υπάρχουν ορισμένοι μέθοδοι μέτρησης της ισορροπίας, όπως είναι το Romberg test και το «up and go» test.

Στο δεύτερο κεφάλαιο μελετάται η φυσιολογία της κόπωσης (κεντρική και περιφερική). Στην κεντρική εμπλέκεται ο εγκέφαλος και ο νωτιαίος μυελός, οι οποίοι επηρεάζονται από ορισμένες ουσίες (όπως η σεροτονίνη, η ντοπαμίνη, αλλά και η αμμωνία) αλλά και από την αύξηση της θερμοκρασίας. Η κεντρική κόπωση συμβαίνει στα τελευταία στάδια της άσκησης ή σε άσκηση με μεγάλη διάρκεια. Η περιφερική κόπωση, η οποία είναι η κυριότερη μορφή κόπωσης, σχετίζεται με την νευρομυϊκή σύναψη, το σαρκοπλασματικό δίκτυο και τη διάχυση γαλακτικού οξέος στο σαρκείλημα. Επίσης, γίνεται λόγος για τη διαφοροποίηση της κόπωσης σε σχέση με το είδος των μυϊκών συσπάσεων και την μέτρηση της μυϊκής κόπωσης.

Στο τρίτο κεφάλαιο μελετήσαμε τις επιδράσεις της κόπωσης στην ισορροπία, μέσω των αλλαγών στις παραμέτρους του ορθοστατικού λικνόσματος. Έγινε λόγος για τις επιδράσεις της κόπωσης στις παραμέτρους του ορθοστατικού λικνίσματος σε σχέση με τις επιμέρους μυϊκές ομάδες, τις αντισταθμιστικές μυϊκές αντιδράσεις που συμβαίνουν κατά την κόπωση, καθώς και για το ρόλο της όρασης στην ισορροπία μετά την κόπωση. Τέλος, έγινε αναφορά για το χρόνο της αποκατάστασης της ισορροπίας έπειτα από κόπωση.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ισορροπία και η κόπωση είναι δύο έννοιες, τις οποίες ακούμε και χρησιμοποιούμε αρκετές φορές στην καθημερινή μας ζωή. Η παρούσα εργασία θα αναφερθεί στην ισορροπία των ανθρώπων – καθώς υπάρχει και στα αντικείμενα-, στα όργανα που την ελέγχουν και τις καταστάσεις που την επηρεάζουν.

Η κόπωση είναι μια πολύ ευρεία έννοια, καθώς αναφέρεται γενικά ως μια διαταραχή, που παθαίνει ένα όργανο ή το σύνολο του οργανισμού μας, έπειτα από μια κοπιαστική ή πολύωρη εργασία. Εμείς εδώ θα ασχοληθούμε με τη φυσιολογία της κόπωσης και τη διαδικασία με την οποία εγκαθίσταται. Στη συνέχεια θα γίνει μια προσπάθεια προσέγγισης της επίδρασης που έχει η κόπωση στην ισορροπία σε υγιή νεαρά άτομα, χωρίς πρόσφατους τραυματισμούς των κάτω άκρων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ

Ορισμός ισορροπίας: Η ισορροπία αναφέρεται είτε ως η κατάσταση είτε ως η λειτουργία του νευρικού συστήματος, η οποία βασίζεται στην αισθητική προσαγωγό πληροφόρηση και η οποία συντονίζει και τοποθετεί τα επιμέρους τμήματα-μέλη του ανθρωπίνου σώματος μέσα στα όρια της βάσης στήριξης, αποτρέποντας έτσι την πτώση. (Guskiewicz, 1999)

Όλα τα αντικείμενα σε ηρεμία ισορροπούν όταν το άθροισμα όλων των γραμμικών δυνάμεων και όλων των στροφικών ροπών ισούται με το μηδέν. Κατά τους Johanssen και Manusson (1991) ισορροπία είναι η κατάσταση στάσης, όπου η συνισταμένη όλων των αποσταθεροποιητικών δυνάμεων είναι μηδέν.

Η ισορροπία ορίζεται επίσης ως η κατάσταση σωματικής ισορροπίας ή η ικανότητα διατήρησης του κέντρου βάρους μέσα στη βάση στήριξης, χωρίς πτώση (Naschner & McCollum, 1985). Ο Berg (1989) προσπάθησε με τη σειρά του, να ορίσει την ισορροπία με 3 όρους: α) η ικανότητα διατήρησης της θέσης, β) η ικανότητα εκούσιας κίνησης και γ) η ικανότητα αντίδρασης σε κάποια διαταραχή.

Ο Horak (1989) καθόρισε ως έλεγχο στάσης την ικανότητα διατήρησης της σωματικής ισορροπίας και του προσανατολισμού παρουσία βαρύτητας. Συνεπώς είναι απαραίτητο να έχουμε τον έλεγχο στάσης, για να έχουμε ισορροπία.

Όταν αναφερόμαστε στα αντικείμενα, η ισορροπία χωρίζεται σε: α) σταθερή, β) ασταθής και γ) ουδέτερη.

Σταθερή ισορρόπηση συμβαίνει όταν ένα αντικείμενο είναι τοποθετημένο με τέτοιο τρόπο, ώστε κάθε προσπάθεια διατάραξής του να απαιτεί ανύψωση του κέντρου βάρους του. Όσο περισσότερο πρέπει να ανυψωθεί το κέντρο βάρους για να ανατραπεί το αντικείμενο, τόσο πιο σταθερό είναι αυτό. Παραδείγματος χάριν, ένα τούβλο όρθιο στην πλευρά του είναι πιο σταθερό από ένα αντίστοιχο, όρθιο στην άκρη του. (Hamilton & Luttgens, 1982)

Ασταθής ισορρόπηση συμβαίνει όταν απαιτείται μόνο μια ελαφρά ώθηση, για να καταστραφεί το κέντρο βάρους ενός αντικειμένου. Στην περίπτωση αυτή πέφτει σ' ένα χαμηλότερο επίπεδο. Παραδείγματος χάριν, ένα μολύβι στη μύτη του ή ένας σχοινοβάτης είναι σε ασταθή ισορρόπηση, επειδή το κέντρο βάρους τους είναι σίγουρο ότι θα κατέβει χαμηλότερα, εάν χάσουν την ισορροπία τους. (Hamilton & Luttgens, 1982)

Τέλος, **ουδέτερη ισορρόπηση** εμφανίζεται, όταν το κέντρο βάρους του αντικειμένου ούτε ανυψώνεται, ούτε χαμηλώνει, όταν αυτό διαταράσσεται. Παραδείγματος χάριν, μια μπάλα πάνω σ' ένα τραπέζι.

Όταν αναφερόμαστε στους ανθρώπους, η ισορροπία μπορεί να διαχωριστεί σε στατική και δυναμική.

Ο όρος **στατική ισορροπία** είναι ανακριβής, επειδή δε λαμβάνει υπ' όψιν το φυσιολογικό στατικό λίκνισμα, το οποίο είναι εξετάσιμο κατά τη διάρκεια της ισορροπίας (Ekdanl et al, 1989). Το φυσιολογικό στατικό λίκνισμα ορίστηκε από τον Swift (1984), είναι συνεχείς διορθωτικές κινήσεις γύρω από το κέντρο βάρους του σώματος, με σκοπό τη διατήρηση του ελέγχου της στάσης στην όρθια θέση.

Πολλές μελέτες έχουν επηρεαστεί από την ηλικία του στατικού λικνίσματος και έχουν βρει ότι αυτό αυξάνεται με την ηλικία (Sheldon 1963; Whipple et al 1993). Επίσης οι γυναίκες έχουν καλύτερο στατικό λίκνισμα από τους άντρες. (Sinclair & Nayak, 1990).

Στην ουσία παρουσιάζεται μικρή ταλάντωση του κέντρου βάρους και δεν προβάλλεται αυτό σ' ένα ακριβές σημείο της βάσης στήριξης. (Ragnarsdottir, 1996). Άρα λοιπόν στατική ισορροπία στην πράξη είναι η ικανότητα του ατόμου να εκτελεί όσο το δυνατό μικρότερου εύρους ταλαντώσεις κατά την ήρεμη όρθια στάση (Goldie, 1989).

Έρευνα για τις στρατηγικές κινήσεις, που χρησιμοποιούνται για τη διατήρηση του κέντρου βάρους εντός της βάσης στήριξης, έγινε από τους Nashner & McCollum (1985), οι οποίοι βρήκαν τις 3 πιο συνηθισμένες: α) την στρατηγική της ποδοκνημικής (ΠΔΚ), β) την στρατηγική του ισχίου και γ) την στρατηγική του βηματισμού (Horak 1987; Jonansson and Magnusson 1991).

Η στρατηγική της ΠΔΚ φυσιολογικά χρησιμοποιείται για μικρές αναταράξεις του στατικού λικνίσματος. Περιλαμβάνουν μετατοπίσεις του κέντρου βάρους του σώματος, με περιστροφές γύρω από την ΠΔΚ άρθρωση, με ελάχιστες κινήσεις της άρθρωσης του ισχίου ή του γόνατος. Για μεγαλύτερες διαταραχές χρησιμοποιείται η στρατηγική του ισχίου, που περιλαμβάνει κάμψη και έκταση του ισχίου σε μετατοπίσεις του κέντρου βάρους του σώματος. Η στρατηγική κίνησης για τις μεγαλύτερες διαταράξεις είναι η στρατηγική βηματισμού. Στην πραγματικότητα στηρίζεται κάτω από το κέντρο βάρους του σώματος με ταχύτητα βήματος, άλματα ή περπάτημα στην κατεύθυνση της εξωτερικής πηγής της ταραχής. (Horak, 1987)

Ο όρος **δυναμική ισορροπία** έχει υποστεί κριτική γιατί είναι πολύ γενικός, καθώς καλύπτει ένα ευρύ φάσμα καταστάσεων (Berg, 1989). Στην άποψη του Berg είναι πιο χρήσιμο να περιγράψεις λειτουργικές καταστάσεις ισορροπίας, όπως η διατήρηση μιας θέσης, στάσης, εκούσιες διορθωτικές κινήσεις θέσεως και αντιδράσεις σε εξωτερική διαταραχή της θέσης.

Οι διαφορετικές απόψεις για το φαινόμενο της ισορροπίας είναι, στην ουσία, πολλές διαφορετικές κινητικές ικανότητες. Σύμφωνα με τη Ragnarsdottir (1996) η έννοια του στατικού ελέγχου χωρίζεται σε:

- α) στατικό έλεγχο των ακούσιων κινήσεων
- β) στατικό έλεγχο με σταθερή βάση
- γ) στατικό έλεγχο των εκούσιων κινήσεων
- δ) στατικό έλεγχο από εξωτερικές διαταραχές.

1.1 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ

Σύμφωνα με τις Hamilton & Luttgens (1982) οι τρεις πιο σημαντικοί παράγοντες, που επηρεάζουν τη σταθερότητα, είναι το μέγεθος της βάσης στήριξης, η σχέση της γραμμής βαρύτητας με τη βάση στήριξης και το ύψος του κέντρου βάρους.

Άλλοι παράγοντες, όπως η μάζα του σώματος, η τριβή, η τμηματική ευθυγράμμιση, φυσιολογικοί και ψυχολογικοί παράγοντες μπορούν να διαδραματίσουν κάποιο ρόλο στη σταθερότητα.

ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ

- Όσο πιο μεγάλη είναι η βάση στήριξης, τόσο πιο εύκολη είναι η ισορροπία
- Η βάση στήριξης περιλαμβάνει το μέρος του σώματος, που έρχεται σ' επαφή με την υποστηρικτική επιφάνεια και την ενδιάμεση περιοχή
- Το άτομο, που υποστηρίζεται με βακτηρίες, έχει μια βάση στήριξης, που αποτελείται από την περιοχή που οριοθετείται από τα πόδια και τις βακτηρίες

ΣΧΕΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΜΕ ΤΗ ΒΑΣΗ ΣΤΗΡΙΞΗΣ

Ένα αντικείμενο διατηρεί την ισορροπία του μόνο όσο η γραμμή βαρύτητάς του βρίσκεται εντός της βάσης στήριξης του.

Όταν η δύναμη, στην οποία αντιστέκεται το σώμα, είναι η βαρύτητα, τότε όσο πιο κοντά βρίσκεται η γραμμή της βαρύτητας στο κέντρο της βάσης στήριξης, τόσο μεγαλύτερη είναι και η σταθερότητα.

ΥΨΟΣ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΒΑΡΟΥΣ

Το χαμήλωμα του κέντρου βάρους θα αυξήσει τη σταθερότητα του σώματος, επειδή επιτρέπει μεγαλύτερη γωνιακή μετατόπιση του κέντρου βάρους εντός των ορίων της βάσης στήριξης.

ΜΑΖΑ ΣΩΜΑΤΟΣ

Είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την ισορροπία, μόνο όταν υπάρχει κίνηση ή εφαρμογή εξωτερικής δύναμης. Όσο αυξάνεται η μάζα, τόσο μεγαλύτερη είναι η σταθερότητα.

ΤΡΙΒΗ

Ασκεί μεγαλύτερη επιρροή, όταν το σώμα κινείται ή δέχεται τη δράση μιας εξωτερικής δύναμης. Η ανεπαρκής τριβή καθιστά δύσκολη την ισορροπηση.

ΤΜΗΜΑΤΙΚΗ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗ

Όταν τα τμήματα είναι ευθυγραμμισμένα σε μία μόνο κατακόρυφη γραμμή, δεν δίνει μόνο η στάση τη σωστή εντύπωση, αλλά επιβαρύνονται πολύ λιγότερο οι μύες και οι αρθρώσεις.

ΟΠΤΙΚΟΙ, ΨΥΧΟΛΟΓΙΚΟΙ ΚΑΙ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Είναι δύσκολο να ερμηνευτούν, αλλά είναι περισσότερο οικείοι σε όλους μας. Παραδείγματος χάριν, τα κρυολογήματα και άλλα προβλήματα, που μπορούν να επηρεάσουν το έσω αυτί, διαταράσσουν την ισορροπία μας.

1.2 ΟΡΓΑΝΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

Η ισορροπία προκύπτει από μια πολύπλοκη αλληλεπίδραση μεταξύ του αισθητικού και του μυοσκελετικού συστήματος, η οποία ενσωματώνεται και τροποποιείται εντός του κεντρικού νευρικού συστήματος (ΚΝΣ), ως αντίδραση στη μεταβολή των εσωτερικών και εξωτερικών συνθηκών.

Το αισθητικό σύστημα, που ορίζει την ισορροπία, αποτελείται από το αιθουσαίο, το οπτικό και το σωματ αισθητικό (ιδιοδεκτικότητα) σύστημα. Αλλά κανένα από τα παραπάνω συστήματα δε ρυθμίζει απ' ευθείας τη μετακίνηση του κέντρου βάρους (Horak et al, 1989).

Οι διαφορετικοί ρόλοι του κάθε συστήματος και των σχετικών ερεθισμάτων είναι ακόμα υπό διερεύνηση και αμφισβήτηση. Αλλά φαίνεται ότι συντονίζονται βάσει της εκτελούμενης δραστηριότητας, ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Όταν διαταράσσεται η υποστηρικτική επιφάνεια, οι υγιείς ενήλικες βασίζονται κυρίως στη σωματ αισθητική πληροφόρηση, κάτω από φυσιολογικές συνθήκες υποδοχής ερεθισμάτων από όλα τα συστήματα. (Nashner & Berthoz, 1978).

Ένας ακόμη “ρυθμιστής” της ισορροπίας είναι η παρεγκεφαλίδα. Αυτή έχει σημαντικό ρόλο στον συγχρονισμό και τη διαδοχική ακολουθία της μυϊκής δραστηριότητας, κατά τη διάρκεια της κίνησης (Eccles 1977; Climan et al, 1981).

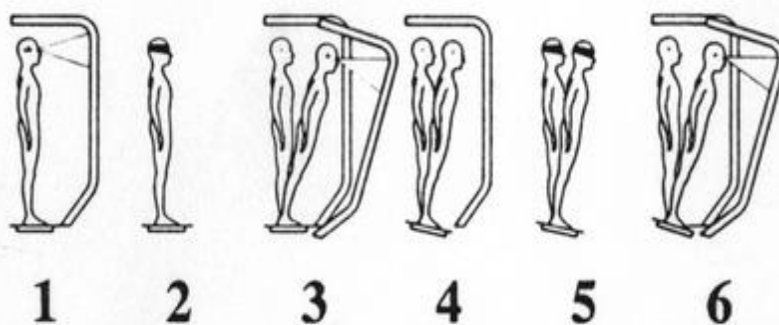
Για τη διατήρηση της ισορροπίας ο μεγάλος αριθμός των αισθητικών συστημάτων συμβάλλει τόσο στην επαλήθευση των εισερχομένων ερεθισμάτων, όσο και στην αντιστάθμιση, όταν ένα από τα συστήματα δυσλειτουργεί (Winter et al, 1990).

ΟΠΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Η ευαισθησία μας στην οπτική πληροφόρηση φαίνεται να είναι ιδιαίτερα σημαντική για την επιδεξιότητα της βάδισης και την ισορρόπηση του σώματος, αφού καθορίζει λεπτομερώς τη σχέση μεταξύ του ατόμου και των ιδιοτήτων του περιβάλλοντος (Owen, 1985).

Τα οπτικά ερεθίσματα αποδίδουν τη θέση των σχετικών αντικειμένων στο περιβάλλον, την απόσταση του σώματος από αυτά και αν είναι ακίνητα ή κινούνται. Η οπτική πληροφορία μας βοηθάει να κρίνουμε πότε θα φτάσει σε εμάς ένα κινούμενο αντικείμενο ή πότε θα προσγειωθούμε στο έδαφος μετά από ένα άλμα. Είμαστε σε θέση, δηλαδή, να προβλέψουμε το χρόνο μέχρι την επαφή, με μεγάλη ακρίβεια. (Dietz & Noth, 1978).

Η οπτική πληροφόρηση βοηθά στον προσανατολισμό σε κατακόρυφο επίπεδο (De wit, 1972). Στην όρθια θέση η οπτική πληροφόρηση επηρεάζει το λίκνισμα. Τα πειράματα με «κινούμενα» δωμάτια έχουν δείξει ότι, τα άτομα λικνίζονται χωρίς να χρειάζεται, όταν οι τοίχοι του δωματίου κινούνται προς ή μακριά από αυτά (Gibson, 1979).



Εικόνα 1.1 : Πείραμα με “κινούμενο” δωμάτιο

(<http://www.csmfoundation.org/SOT.jpg>)

Ένα πείραμα με κίνηση τοίχων μακριά από τα άτομα μετάδωσε την πληροφορία από την οπτική διάταξη, όπως θα συνέβαινε αν τα άτομα λικνίζονταν προς τα πίσω. Αυτή η «ψευδαίσθηση» δικής τους κίνησης έδειξε μεγάλη εξάρτηση από οπτικά παρά από ιδιοδεκτικά ερεθίσματα (Lee & Aronson, 1974).

Τέλος, απότομη προσέγγιση αντικειμένου ή τοποθέτησή του πολύ κοντά και μπροστά από το άτομο δημιουργεί αίσθημα «πίεσης».

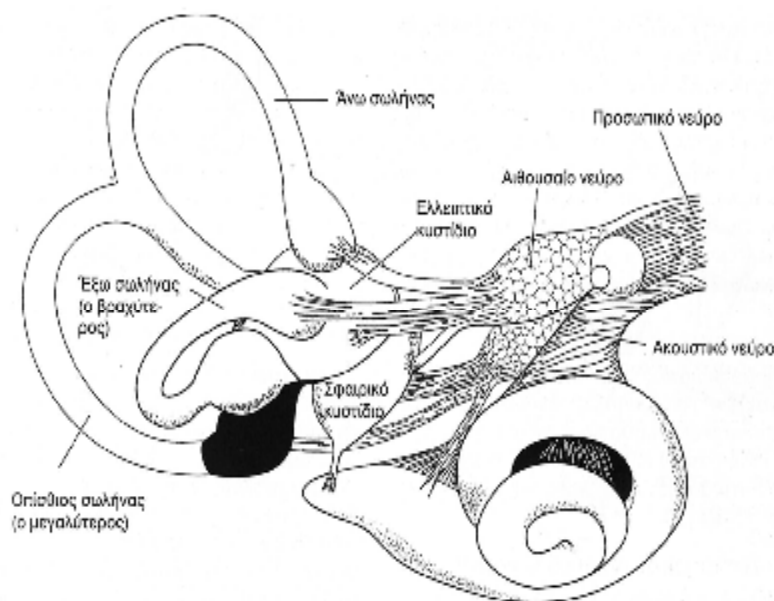
Όσο πιο στενή η βάση στήριξης και χαμηλό το επίπεδο επιδεξιότητας του ατόμου, τόσο περισσότερο σημαντική φαίνεται να είναι η όραση για την ισορροπία, η οποία υποστηρίζει την αλληλεπίδραση μεταξύ της βάσης στήριξης, της διαθεσιμότητας οπτικών ερεθισμάτων και του επιπέδου επιδεξιότητας (Slobounov & Newell, 1994).

ΑΙΘΟΥΣΑΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Το αιθουσαίο σύστημα παρέχει πληροφορίες για τη θέση της κεφαλής σε σχέση με τη βαρύτητα, όπως και για την κίνηση μέσω της γραμμικής και γωνιακής επιτάχυνσης της κεφαλής (Carr & Shepherd, 1998).

Ο οπίσθιος ή στατικός λαβύρινθος (που ρυθμίζει την ισορροπία του σώματος τόσο κατά τη στάση, όσο και κατά την κίνηση) αποτελείται από τον κοχλία, τους τρεις ημικύκλιους σωλήνες, το ελλειπτικό και το σφαιρικό κυστίδιο (εικόνα 1.2). Ο κοχλίας έχει σχέση με την ακοή, αλλά ο υπόλοιπος λαβύρινθος έχει σχέση με την ισορροπία (Hamilton & Luttgens, 1982).

Τα κυστίδια ερεθίζονται από τη βαρύτητα και ρυθμίζουν έτσι την όρθια στάση του σώματος, ενώ οι ημικύκλιοι σωλήνες από τις κινήσεις της κεφαλής (Τομαράς, 2001).



Εικόνα 1.2 : Το λαβυρίνθιο σύστημα του έσω αυτιού

(Τροποποιημένο από Gowitske & Milner, 1982 Scientific Bases of Human Movement)

Κάθε ένας από τους σωλήνες περιέχει έναν υμενώδη σωλήνα, όπως και τα οστεϊκά κοιλώματα, που αντιστοιχούν στα κυστίδια, περιέχουν αντίστοιχα τους υμενώδεις ασκούς. Ο συνολικός υμενώδης λαβύρινθος είναι γεμάτος μ' ένα υγρό, την ενδόλεμφο, και διαθέτει τριχωτά κύτταρα, τα οποία είναι ευαίσθητα στη μετακίνηση του υγρού, καθώς κινείται η κεφαλή (Hamilton & Luttgens, 1982).

Πέρα από τα τριχωτά κύτταρα, τα οποία εκτείνονται σ' όλο το λαβύρινθο, υπάρχει μια πηκτοειδής ουσία, στην οποία βρίσκονται ενσωματωμένοι οι ωτόλιθοι (μικροί κρύσταλλοι από ανθρακικό ασβέστιο), οι οποίοι είναι ευαίσθητοι στη γραμμική επιτάχυνση της κεφαλής (Hamilton & Luttgens, 1982).

Οι ημικύκλιοι σωλήνες είναι σε τρία διαφορετικά μεταξύ τους επίπεδα και κάθετα ο ένας στον άλλον. Όταν στρίβει η κεφαλή κινούνται και οι σωλήνες μαζί της, αλλά στην αρχή το υγρό που έχουν τείνει να παραμείνει στατικό, λόγω της αδράνειας. Όταν σταματήσει η κεφαλή σταματούν και οι σωλήνες, αλλά εξ αιτίας της αδράνειας πάλι το υγρό δεν παύει να κινείται αμέσως. (Hamilton & Luttgens, 1982).

Η σχετική αυτή κινητικότητα παράγει κίνηση των τριχωτών κυττάρων και πυροδοτεί ώσεις προς το κρανιακό νεύρο. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει στους σωλήνες να εντοπίζουν τυχόν αλλαγές στη γωνιακή ταχύτητα της κεφαλής (Hamilton & Luttgens, 1982).

Το αιθουσαίο σύστημα δεν αναφέρεται συχνά στις συζητήσεις σχετικά με τον έλεγχο στάσης. Ωστόσο είναι πιθανό ένας παράγοντας, που επηρεάζει την ισορροπία κατά τη διάρκεια της αθλητικής απόδοσης (Irrgang et al, 1994).

Το αιθουσαίο σύστημα είναι ένας σημαντικός παράγοντας του ελέγχου της ισορροπίας. Οι πληροφορίες, που συσσωρεύονται εκεί, βοηθούν στη διατήρηση της ισορροπίας του άνω κορμού ενάντια στη βαρύτητα και στον καθορισμό της γραμμικής και γωνιακής επιτάχυνσης (Crutchfield & M.Barnes, 1993).

ΙΔΙΟΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

Ο Sherrigton (1906) πρώτος περιέγραψε τον όρο *ιδιοδεκτικότητα*, όταν σημείωσε την παρουσία υποδοχέων μέσα στη δομή της άρθρωσης. Ο ίδιος μεταγενέστερα (1947) έδωσε ένα πιο λεπτομερή ορισμό, τονίζοντας ότι *«ιδιοδεκτικότητα είναι η γνώση της θέσης, της κίνησης, της αλλαγής στην ισορροπία και της μηχανικής κατακόρυφου, που προκαλεί πιέσεις και τάσεις στις αρθρώσεις»*.

Ένας πιο ακριβής ορισμός από τους Tippet και Voight (1994) δίνει να κατανοηθεί, ότι οι υποδοχείς ερεθίζονται ή παραμορφώνονται από βιομηχανικές δυνάμεις, που συνοδεύουν φαινόμενα διάτασης, συμπίεσης και αλλαγής στην πίεση στα μαλακά μόρια της άρθρωσης (Voight & Tippet, 1994).

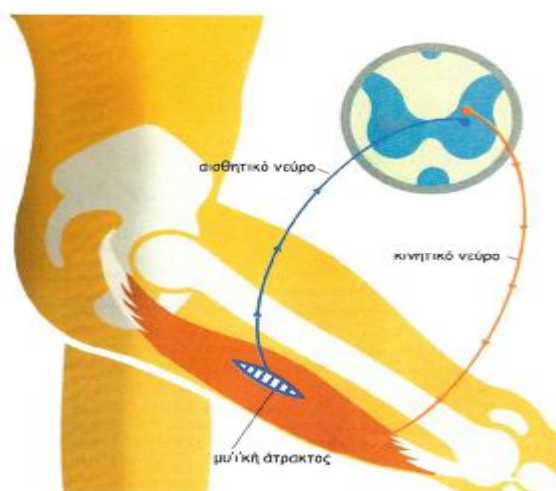
Η ιδιοδεκτικότητα, λοιπόν, μπορεί να οριστεί ως η αθροιστική εισαγωγή πληροφοριών στο ΚΝΣ, οι οποίες προέρχονται από τους μηχανοϋποδοχείς, που βρίσκονται στον αρθρικό

θύλακα, στους συνδέσμους, στους τένοντες, στους μύες και στο δέρμα (Wilkerson & Nitz, 1994).

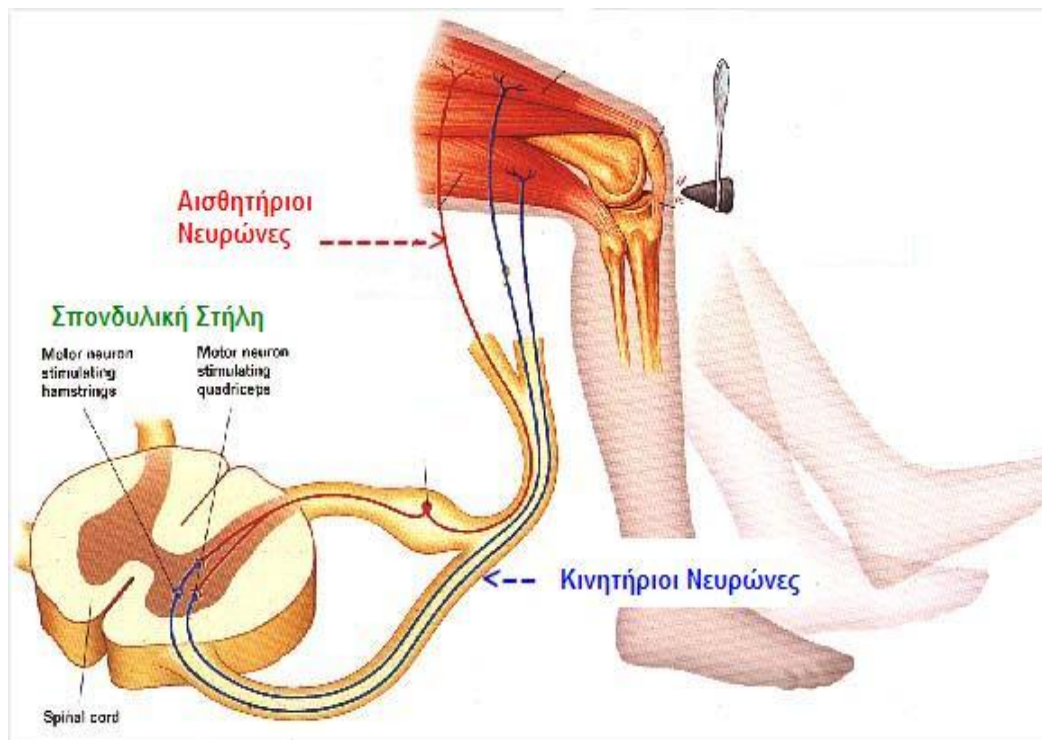
Ένας τραυματισμός, σε κάποιον από τους προαναφερθέντες ιστούς, έχει σαν αποτέλεσμα την αλλαγή της νευροφυσιολογικής λειτουργίας της άρθρωσης, η οποία οδηγεί σε ελλείμματα της ιδιοδεκτικής ικανότητας και του νευρομυϊκού ελέγχου (Roberts et al, 2004).

ΜΥΙΚΕΣ ΑΤΡΑΚΤΟΙ

Οι μυϊκές άτρακτοι είναι διασκορπισμένες μέσα σ' όλο το μυ. Κυρίως, όμως, εντοπίζονται στη γαστέρα του, ανάμεσα στις μυϊκές ίνες και παράλληλα προς αυτές (Vander et al, 1990). Εμφανίζονται συχνότερα στους μύες, που εκτελούν περισσότερο επιδέξιες κινήσεις, απ' ότι σε αυτούς, που ενεργούν για τη διατήρηση της όρθιας στάσης. Όταν διαταθεί η άτρακτος (εικόνα 1.3), ένα αισθητικό νεύρο, που βρίσκεται στο κέντρο της, στέλνει ώσεις προς το ΚΝΣ, το οποίο με τη σειρά του ενεργοποιεί τους κινητικούς νευρώνες, που νευρώνουν το μυ, προκαλώντας έτσι τη συστολή του (Vander et al, 1990).



Εικόνα 1.3 : Ενεργοποίηση μυϊκής ατράκτου, μέσω διάτασης
(Τροποποιημένο από Πουλμέντης, 2001)



Εικόνα 1.4 : Η συμβολή του ΚΝΣ στη μετάδοση της εντολής κίνησης

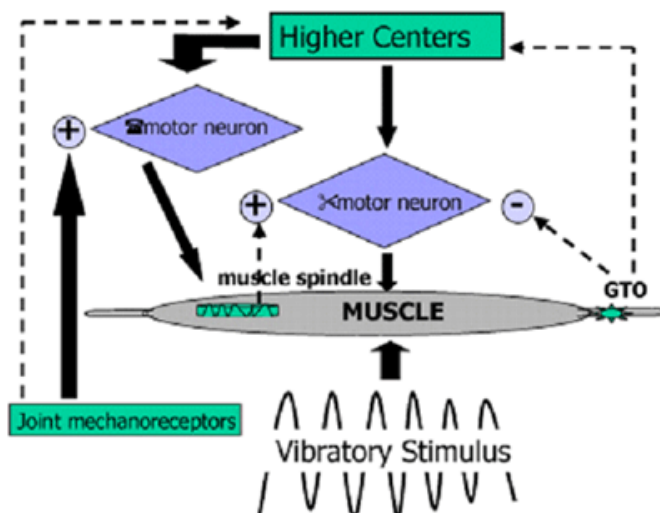
(<http://ghs.gresham.k12.or.us/science/ps/sci/ibbio/Anatomy/nervous/reflexarc.jpg>)

TENONTIO ΟΡΓΑΝΟ «Golgi»

Τα τενόντια όργανα του Golgi βρίσκονται στους τένοντες, κοντά στο σημείο μετάπτωσης στον αντίστοιχο μυ και ενεργοποιούνται κατά τη σύσπασή του. Αποτελούνται από μια μάζα νευρικών απολήξεων, που περικλείονται σε μια κάψα από συνδετικό ιστό, η οποία είναι εμβυθισμένη στον τένοντα του μυ (Hamilton & Luttgens, 1982).

Σε αντίθεση με την μυϊκή άτρακτο, όταν διατείνεται (το τενόντιο όργανο) στέλνει σήματα προς το ΚΝΣ και προκαλεί τη χαλάρωση, παρά τη συστολή του μυ (Vander et al, 1990) (εικόνα 1.5).

Τέλος, είναι πολύ λιγότερο ευαίσθητα στη διάταση σε σχέση με τις μυϊκές ατράκτους και απαιτείται εντονότερη διάταση, για να ενεργοποιηθούν (Vander et al, 1990).



Εικόνα 1.5 : Επίδραση του ερεθίσματος δόνησης στο μυ

(<http://www.studioone.gr/images/articles/higherCenters.gif>)

ΥΠΟΔΟΧΕΣ ΔΕΡΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΡΘΡΩΣΕΩΝ

Υπάρχουν δύο σημαντικοί υποδοχείς στις αρθρώσεις και το δέρμα, τα σωμάτια Pacini και οι απολήξεις Ruffini.

- Τα σωμάτια Pacini

Εντοπίζονται κάτω από το δέρμα, συγκεντρωμένα σε περιοχές γύρω από τους αρθρικούς θύλακες, συνδέσμους και τενόντια έλυτρα. Ενεργοποιούνται από ραγδαίες αλλαγές της γωνίας της άρθρωσης και από πίεση, η οποία συμπιέζει και παραμορφώνει την κάψα, για πολύ σύντομη, όμως, χρονική περίοδο (Hamilton & Luttgens, 1982).

- Απολήξεις Ruffini

Εντοπίζονται στις εν τω βάθει στιβάδες του δέρματος και είναι διασκορπισμένες ανάμεσα στις κολλαγόνες ίνες των αρθρικών θυλάκων. Ενεργοποιούνται από μηχανικές παραμορφώσεις και είναι σημαντικές για τη σηματοδότηση διαρκών καταστάσεων της πίεσης. Επίσης, διεγείρονται έντονα από απότομες κινήσεις της άρθρωσης, γεγονός που τις καθιστά σημαντικές για την αίσθηση της θέσης της άρθρωσης και για τις αλλαγές της γωνίας της άρθρωσης (Hamilton & Luttgens, 1982).

Αν και οι δερματικοί υποδοχείς είναι κατά βάση έξω-υποδοχείς, αυτοί που δέχονται ερεθίσματα αφής (σωμάτια Meissner), πίεσης (σωμάτια Pacini) και πόνου (ελεύθερες νευρικές απολήξεις) λειτουργούν ως ιδιοδεκτικοί υποδοχείς (Hamilton & Luttgens, 1982).

Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΕΓΚΕΦΑΛΙΔΑΣ

Η παρεγκεφαλίδα βρίσκεται πίσω από τη γέφυρα και τον προμήκη. Αποτελείται από τον σκώληκα στη μέση και εκατέρωθεν τα ημισφαίρια της παρεγκεφαλίδας. Η παρεγκεφαλίδα λειτουργικά διαιρείται σε: α) αρχαιοπαρεγκεφαλίδα, β) παλαιοπαρεγκεφαλίδα και γ) νεοπαρεγκεφαλίδα. Αυτές συνδέονται αντίστοιχα με τους αιθουσαίους πυρήνες της ισορροπίας, με το νωτιαίο μυελό και με τα ημισφαίρια του εγκεφάλου (Τομαράς, 2001).

Με τις συνδέσεις αυτές η παρεγκεφαλίδα αποτελεί νευρικό όργανο, με το οποίο ρυθμίζεται αντανακλαστικά η ισορροπία του σώματος, τόσο στην κίνηση, όσο και στην ακινησία (Τομαράς, 2001).

Η παρεγκεφαλίδα ενεργοποιείται κατά την απουσία κάθε κινητικής δραστηριότητας, όταν τα άτομα εκτελούν γνωσιακές και λεκτικές δραστηριότητες, όπως η νοητική απεικόνιση (Ryding et al, 1993). Για τη διατήρηση της ισορροπίας δέχεται ερεθίσματα από τους μύες, τους τένοντες και τις αρθρώσεις από την αίθουσα και τους ημικύκλιους σωλήνες του έσω ώτος (Τομαράς, 2001).

Βλάβες της αρχαιοπαρεγκεφαλίδας δημιουργούν αυξημένο στατικό λίκνισμα με ταλαντώσεις του κορμού και της κεφαλής (Carr & Shepherd, 1998).

1.3 ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ

Η ισορροπία συχνά μπορεί να επηρεαστεί από διάφορες καταστάσεις, όπως είναι η γήρανση, οι τραυματισμοί, διάφορες παθολογικές καταστάσεις και η κόπωση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, να διαταράσσεται εύκολα η ισορροπία και η διατήρηση μιας συγκεκριμένης στάσης να γίνεται με μεγάλη δυσκολία.

ΓΗΡΑΝΣΗ

Με την αύξηση της ηλικίας αυξάνει και η πιθανότητα ανάπτυξης συγκεκριμένων παθολογιών στον ηλικιωμένο άνθρωπο, που οδηγούν στην επιτάχυνση της εκφύλισης στο νευρικό και μυοσκελετικό σύστημα. (Horak et al, 1989). Κατά τον έλεγχο μιας μεγάλης ομάδας ατόμων (1.187), άνω των 65 ετών, εντοπίστηκαν μόλις 342 χωρίς μυοσκελετική και νευρική βλάβη (Gabell & Nayak, 1984).

Ένας σχετικά μη ενεργητικός τρόπος ζωής μπορεί να καταλήξει σε μεταβολές αχρησίας στο νευρομυϊκό σύστημα, όπως είναι η μυϊκή αδυναμία και ο μειωμένος χρόνος απόκρισης σε κάποιο ερέθισμα.

Το στατικό λίκνισμα –μικρές κινήσεις της μάζας του σώματος εντός της βάσης στήριξης, όταν είμαστε όρθιοι και ακίνητοι- έχει βρεθεί, ότι αυξάνεται με την ηλικία (Hayes et al, 1985; Teasdale et al, 1991; and Simoneau et al, 1992).

Εξ άλλου, το μέγεθος του λικνίσματος από μόνο του δεν είναι καλός δείκτης πρόβλεψης της πιθανότητας πτώσης (Fernie et al, 1982).

Πάντως, και τα ηλικιωμένα άτομα είναι σε θέση, να ελαττώσουν το στατικό λίκνισμα με την εξάσκηση (Holiday and Fernie, 1979). Αντίθετα, η αύξηση του στατικού λικνίσματος έχει αναφερθεί και σε μεσήλικες με προβλήματα της οσφυϊκής μοίρας (Byl and Sinnott, 1991).

Ο συνδυασμός μειωμένης αισθητικότητας, αδυναμίας των μυών του κάτω άκρου και αύξησης του χρόνου αντίδρασης φαίνεται να είναι σημαντικοί παράγοντες για τη στατική αστάθεια στους ηλικιωμένους (Lord et al, 1991). Τέλος, οι ασκήσεις ενδυνάμωσης του κάτω άκρου έχει βρεθεί, ότι αυξάνουν την δύναμη, βελτιώνουν την ισορροπία και μειώνουν τις πτώσεις σε ηλικιωμένους (Lord & Castell, 1994; Sherrington & Lord, 1997).

ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΟΙ

Οι τραυματισμοί είναι επίσης ένας σημαντικός λόγος, ο οποίος προκαλεί προβλήματα στην ισορροπία. Ένας τραυματισμός στις περισσότερες περιπτώσεις έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ελλείμματος στην ιδιοδεκτική ικανότητα, γεγονός που επηρεάζει το νευρομυϊκό έλεγχο και οδηγεί σε λειτουργική αστάθεια στην άρθρωση (Roberts et al, 2004).

Η ελάττωση του νευρομυϊκού ελέγχου μετά από έναν τραυματισμό λειτουργικά έχει οριστεί ως η αύξηση του χρονικού διαστήματος της αντίδρασης ερεθισμού του μυ, όταν η άρθρωση υποστεί μια ξαφνική, μα αναμενόμενη φόρτιση ή αλλαγή θέσης. Επιπροσθέτως, έρευνες, που έγιναν σε τραυματισμούς τόσο στην άρθρωση του γόνατος, όσο και στην ΠΔΚ, έδειξαν, ότι το διάστημα ερεθισμού-αντίδρασης ήταν αυξανόμενο (Lephart et al, 1997 ; Cook et al, 1999).

Σε κάθε περίπτωση δεν είναι δυνατό, να προσδιορίσουμε πόσο και γιατί ο τραυματισμός του κάτω άκρου επηρεάζει την απόδοση στα στατικά και δυναμικά τεστ ελέγχου της ισορροπίας. Ωστόσο φαίνεται, ότι ο τραυματισμός επιδρά αρνητικά στην απόδοση. Αυτό, ίσως, σχετίζεται με αλλαγή στην είσοδο σωματο-αισθητικών ερεθισμάτων, η οποία με τη σειρά της αλλάζει τον νευρομυϊκό έλεγχο. Επιπλέον, η μειωμένη απόδοση σ' αυτά τα τεστ μπορεί να σχετίζεται με άλλους παράγοντες, όπως η ανησυχία και ο φόβος για περαιτέρω τραυματισμό (Irrgang et al, 1994).

Πολλές μελέτες έχουν αξιολογήσει τις επιδράσεις τραυματισμού του κάτω άκρου στην ισορροπία, κατά τη διάρκεια της στάσης στο ένα πόδι. Συνήθως, τα χαρακτηριστικά της ισορροπίας του τραυματισμένου μέλους συγκρίνονται με εκείνα του φυσιολογικού μέλους (Troop et al, 1985; Faculjak et al, 1993).

Εξ άλλου, η σταθερότητα της στάσης μειώνεται σε άτομα με λειτουργική αστάθεια ΠΔΚ (Troop et al, 1985).

Οι Pintsaar et al (1996) μελέτησαν τον έλεγχο της στάσης σε τρεις ομάδες ατόμων:

- Σε άτομα χωρίς προηγούμενο τραυματισμό στην ΠΔΚ
- Σε άτομα με αστάθεια στην ΠΔΚ, οι οποίοι εντάχθηκαν σε προπονητικό πρόγραμμα 8 εβδομάδων
- Σε άτομα με αστάθεια στην ΠΔΚ, χωρίς λειτουργική αστάθεια (δηλαδή μελετήθηκαν με ή χωρίς παπούτσια, με επίδεσμο και με παπούτσια)

Τα αποτελέσματα έδειξαν μειωμένο στατικό έλεγχο. Η μείωση αυτή αποκαταστάθηκε μετά από προπόνηση 8 εβδομάδων στην ΠΔΚ. Η χρήση παπουτσιού και επίδεσμου δεν έχει

επιπλέον όφελος από τη χρήση του παπουτσιού μόνο. Η εξασθένιση της λειτουργικότητας της ΠΔΚ σχετιζόταν με τη συναρμογή, καθώς τα άτομα άλλαξαν τη στρατηγική της ΠΔΚ προς τη στρατηγική του ισχίου, για διορθώσεις της στάσης.

Οι Ross και Guskiewicz (2004) μελέτησαν τις διαφορές στην στατική και δυναμική σταθερότητα, μεταξύ ατόμων με αστάθεια στην ΠΔΚ άρθρωση (που είχαν τουλάχιστον 2 διαστρέμματα στο παρελθόν) και με σταθερότητα στην ΠΔΚ (χωρίς ιστορικό διαστρέμματος). Η μελέτη έδειξε, ότι τα άτομα με αστάθεια στην ΠΔΚ χρειάζονται σαφώς περισσότερο χρόνο για σταθεροποίηση, μετά από προσγείωση από άλμα στο ένα πόδι.

Μετά από τραυματισμό στην ΠΔΚ, ο οποίος συμβαίνει στα αγωνίσματα, η ΠΔΚ μπορεί να χάσει μερική από την ικανότητά της να εκτελεί μια κίνηση (Garn & Newton, 1988).

Οι Fu και Hui-Chan (2005) βρήκαν, ότι το στατικό λίκνισμα σε μπασκετμπολίστες, που είχαν ιστορικό διαστρέμματος, είναι αυξημένο σε σχέση με εκείνους, που δεν είχαν ιστορικό. Ο Kidgell et al (2007) διαπίστωσε, ότι προπόνηση ισορροπίας 6 εβδομάδων με μίνι τραμπολίνο, σε αθλητές με αστάθεια στην ΠΔΚ, βελτίωσε σημαντικά το στατικό τους λίκνισμα. Οι ποδοσφαιριστές, από την άλλη, με φτωχό στατικό λίκνισμα έχει βρεθεί, ότι έχουν υψηλό κίνδυνο για υποτροπή και βλάβη της ΠΔΚ. Μια μελέτη σε άτομα με αστάθεια (Gauffin et al, 1988) έδειξε βελτιωμένο στατικό λίκνισμα, με προπόνηση της ΠΔΚ για 6 εβδομάδες. Μετά από προπόνηση, πάντως, οι βελτιώσεις στο στατικό λίκνισμα εντοπίζονται και στο μη προπονημένο μέλος. Αυτό υποδηλώνει, ότι οι προσαρμογές με την προπόνηση ισορροπίας συμβαίνουν περισσότερο κεντρικά, παρά περιφερειακά. Η περίδεση της ΠΔΚ δεν ενισχύει σημαντικά το στατικό λίκνισμα (Tropp et al, 1984).

Οι Okuda et al (2005) μέτρησαν το στατικό λίκνισμα σε στάση στο ένα πόδι, με τα μάτια τόσο ανοικτά, όσο και κλειστά, σε άτομα, που είχαν ρήξη πρόσθιου χιαστού, χωρίς να έχουν χειρουργηθεί. Βρήκε, ότι το ποσοστό του στατικού λικνίσματος ήταν σημαντικά αυξημένο στο τραυματισμένο πόδι, με τα μάτια κλειστά. Επίσης, η όραση φαίνεται να είναι καθοριστική στο να αντισταθμίσει την μειωμένη λειτουργία του τραυματισμένου πρόσθιου χιαστού στην ισορροπία. Επίσης, έχει αποδειχθεί, ότι η αντίδραση του μακρύ περνιαίου μυ είναι βραχύτερη σε τραυματισμό στην ΠΔΚ, απ' ότι σε μη τραυματισμό (Konradsen & Ravn, 1991). Οι Mizuta et al (1992) εντόπισαν σημαντικές διαφορές στο στατικό λίκνισμα, όταν μέτρησε το κέντρο της πίεσης και την απόσταση του λικνίσματος ανάμεσα σε 11 λειτουργικά σταθερά και 15 λειτουργικά ασταθή άτομα, με έλλειμμα στο γόνατο από τραυματισμό στον πρόσθιο χιαστό σύνδεσμο.

Ακόμα, έρευνα έδειξε αυξημένο στατικό λίκνισμα σε άτομα με λειτουργικά ασταθή γόνατα, όταν στέκονται με αυτά σε πλήρη έκταση και κεκαμένα στις 20° (Mizuta et al, 1992).

ΠΑΘΟΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

Η ισορροπία ενός ανθρώπου μπορεί να επηρεαστεί από ορισμένες παθολογικές καταστάσεις, όπως η **τύφλωση** και η **κώφωση**.

Η τύφλωση προκαλεί δυσκολίες στη ισορροπία, καθώς εκλείπουν τελείως τα οπτικά ερεθίσματα, που είναι σημαντικά. Άλλωστε, η όραση αποτελεί όργανο ελέγχου της ισορροπίας. Η κώφωση προκαλεί δυσλειτουργία στο αιθουσαίο σύστημα, γεγονός που μειώνει την ικανότητα ισορροπίας. Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία, από κώφωση υπολογίζεται πως πάσχει το 10% των ανθρώπων, γεγονός που αλλοιώνει τις συνήθειες της καθημερινής ζωής. Επίσης, κώφωση παρουσιάζει 1 στους 4 ανθρώπους, που έχουν περάσει τα 60 χρόνια ζωής (Εγκυκλοπαίδεια 'ΥΓΕΙΑ').

Άλλες παθολογικές καταστάσεις, που επηρεάζουν την ισορροπία είναι η νόσος Πάρκινσον, η ημιπληγία από αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο (ΑΕΕ), η σκλήρυνση κατά πλάκας, οι κρανιοεγκεφαλικές κακώσεις και οι κακώσεις νωτιαίου μυελού. Αυτές οι παθολογικές καταστάσεις προκαλούν προβλήματα στην ιδιοδεκτικότητα, αλλά και διάχυτα αισθητικοκινητικά προβλήματα. Για παράδειγμα, είναι κλινικά προφανές, ότι τα άτομα με νόσο Πάρκινσον χάνουν την ισορροπία τους πιο εύκολα και έχουν αυξημένη συχνότητα πτώσεων (Dick et al, 1986; Schieppati & Nardone, 1991).

Μια μελέτη σε 8 άτομα με νόσο Πάρκινσον (Horak et al, 1992) προτείνει ότι το στατικό λίκνισμα εντοπίζεται σε μία παθολογικά μικρή περιοχή στην ομάδα των ασθενών, σε σχέση με νεαρά και υγιή ηλικιωμένα άτομα.

Πάντως, τα άτομα που πάσχουν από τη νόσο μπορούν να βελτιώσουν τον έλεγχο της ισορροπίας, αν βασιστούν περισσότερο στη συνειδητή προσπάθεια, με τη χρήση οπτικής πληροφόρησης και άλλων εξωτερικών προτροπών (Waterston et al, 1993).

1.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ

Για τις μεθόδους μέτρησης της ισορροπίας, αρχικά πρέπει να γίνει ένας διαχωρισμός, καθώς η αξιολόγηση της ισορροπίας χωρίζεται σε *κλινική* και *εργαστηριακή*.

Στην κλινική αξιολόγηση χρησιμοποιούνται ορισμένα ειδικά τεστ, όπως:

- Romberg test

Με τον ασθενή σε όρθια θέση ζητάμε, να σταθεί με τα μάτια κλειστά και ανοικτά για 30``, έχοντας τα δύο πόδια σε επαφή με το έδαφος και εφαιπόμενα το ένα στο άλλο και τα χέρια κολλημένα πλάι στα πλευρά. Φυσιολογικά, ο ασθενής πρέπει να μείνει ακίνητος σ' αυτή τη θέση, ενώ η τάση για ταλάντωση ή η πτώση προς μια πλευρά σημαίνει πιθανόν κάποια παθολογική διαταραχή (Fregly et al, 1973; Jansen et al, 1982).

- Tandem – Romberg test (δοκιμασία θέσης βηματισμού)

Ο ασθενής από όρθια θέση προσπαθεί, να μετακινήσει το ένα πόδι πιο μπροστά από το άλλο, έχοντας τα μάτια εναλλάξ κλειστά και ανοικτά. Το τεστ εκτελείται για 30`` (Fregly et al, 1973).

- Single-leg stance test (δοκιμασία μονοποδικής στήριξης)

Ο ασθενής από όρθια θέση προσπαθεί, να σταθεί στο ένα πόδι, έχοντας τα μάτια εναλλάξ κλειστά και ανοικτά. (Bohannon et al, 1984 ; Tropp et al, 1984).

- Το τεστ της «Στάσης του Πελαργού»

Ο ασθενής σε όρθια θέση στέκεται με το ένα πόδι. Παράλληλα τοποθετεί το ελεύθερο πόδι στο πάνω στο πόδι ισορροπίας, έτσι ώστε η πτέρνα του ελεύθερου ποδιού να είναι πάνω στο γόνατο του άλλου, και σταυρώνει τα χέρια στη μέση. Τώρα πρέπει να σηκωθεί και να σταθεί στα δάκτυλα του ποδιού ισορροπίας, για όσο περισσότερο χρόνο μπορεί (Bohannon et al, 1984).

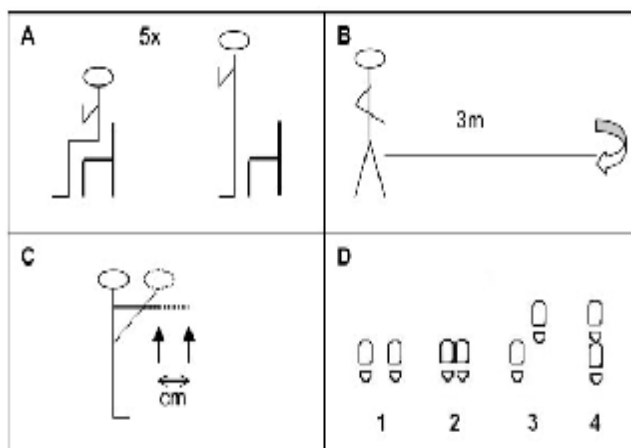
- Τεστ λειτουργικής προσέγγισης (functional reach test)

Από όρθια θέση ο ασθενής προσπαθεί, να κάνει βήμα και να φτάσει όσο πιο μακριά μπορεί. Χρησιμοποιείται για την κλινική εκτίμηση διαταραχών της ισορροπίας σε ηλικιωμένους (Robinson, 1999).

- Τεστ «Σήκω και Φύγε» (up and go)

Ο ασθενής πρέπει, να εγερθεί από μια καρέκλα, να βαδίσει τρία (3) μέτρα, να κάνει μεταβολή και να επιστρέψει, για να καθίσει. Η εκτέλεση της δραστηριότητας βαθμολογείται ως εξής:

1. Φυσιολογική
2. Πολύ λίγο παθολογική
3. Ελαφρώς παθολογική
4. Μετρίως παθολογική
5. Έντονα παθολογική



Εικόνα 1.6 : Test *UP & GO*

(<http://www.biomedcentral.com/content/figures/1471-2318-7-15-2.jpg>)

Η δοκιμασία αυτή αναφέρεται ως αξιόπιστη μεταξύ αξιολογητών και η εγκυρότητά της υποστηρίζεται από τις υψηλές συσχετίσεις με εργαστηριακούς ελέγχους του στατικού λικνίσματος και παραμέτρων της βάρδισης, όπως είναι το μήκος διασκελισμού (Podsiadlo & Richardson, 1991).

- Τεστ «Άστρου» (star exclusion)

Ζητάμε από τον ασθενή, να σταθεί στο ένα πόδι, ενώ ταυτόχρονα με το άλλο πρέπει να αγγίξει προκαθορισμένα σημεία, σε 4 διαφορετικές κατευθύνσεις. Τα αποτελέσματα αξιολογούνται σύμφωνα με την απόσταση, που καταφέρνει να φτάσει το κάθε πόδι, αθροίζοντας τα αποτελέσματα και των 4 κατευθύνσεων (Kinrey, 1998).

Τέλος, η κλίμακα Berg (Berg et al, 1989 & 1992) αναφέρεται ως αξιόπιστη και έγκυρη. Πάντως είναι μακροσκελής και απαιτεί αρκετό χρόνο, για να συμπληρωθεί.

Σε κάθε περίπτωση, οι πιο σύντομες δοκιμασίες ισορροπίας, που αναφέρθηκαν παραπάνω, μπορούν να παρέχουν επαρκή πληροφόρηση.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ

Ορισμένοι τρόποι για τη μέτρηση της στατικής ισορροπίας είναι:

1. Chattex Balance System
2. Pro Balance Master
3. Smart Balance Master



4. Εικόνα 1.7 : Smart Balance Master

(<http://www.lakeeriemed.com/lem-images/PROADT.jpg>)

Η δυναμική ισορροπία μετρείται με:

1. Chattex Balance System
2. Equi test
3. Pro Balance Master
4. Smart Balance Master



Εικόνα 1.8 Εξοπλισμός Pro Balance Master

(<http://www.norampatientcare.com/images/bmprowaccs.jpg>)

Συνήθως οι συσκευές αυτές αποτελούνται από πλατφόρμες δυνάμεων με ειδικούς αισθητήρες, που καταγράφουν τις μεταβολές της προβολής του κέντρου βάρους, όπως αυτή εκφράζεται από τις μεταβολές του κέντρου πίεσης στα πέλματα ή στις δυνάμεις αντίδρασης του εδάφους. Οι μεταβολές αυτές αντικατοπτρίζουν την ταλάντωση του κέντρου βάρους σε σχέση με διάφορους άξονες (προσθιοπίσθιο, μετωπιαίο) (Nashner, 1993).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΚΟΠΩΣΗΣ

Όπως αναφέραμε, τα είδη κόπωσης εξ άποψης φυσιολογίας είναι δύο, η κεντρική και η περιφερική. Στον κεντρικό μηχανισμό κόπωσης εμπλέκονται ο *εγκέφαλος*, ο *νωτιαίος μυελός* και το *περιφερικό νεύρο*, ενώ στο περιφερικό μηχανισμό κόπωσης εμπλέκονται τα στοιχεία μετά τη νευρομυϊκή σύναψη, δηλαδή το *σαρκοπλασματικό δίκτυο*, το *σαρκείλημμα*, τα *εγκάρσια σωληνάρια*, η *απελευθέρωση του ασβεστίου* και ο *μηχανισμός ολίσθησης των εγκάρσιων γεφυρών του μυός*.

2.1 ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΚΟΠΩΣΗ :

Η κεντρική κόπωση, που είναι η μείωση στη δύναμη ως αποτέλεσμα μειωμένου κινητικού ελέγχου (McLester, 1997) έχει γίνει το επίκεντρο πολλών ερευνών και συζητήσεων. Συγκεκριμένα, ο Merton (1954) βρήκε ότι καθώς η κόπωση ξεκινούσε, η ηλεκτρική διέγερση του νεύρου δεν μπορούσε να αποκαταστήσει την ικανότητα ενός ατόμου να παράγει μυϊκή τάση. Έτσι, συμπέρανε πως η εντόπιση της κόπωσης δεν ήταν το κεντρικό νευρικό σύστημα (ΚΝΣ), τουλάχιστον σε καλά κινητικά άτομα.

Ο Vollestad et al (1988), συμφώνησε με την άποψη αυτή και βρήκε πως η μέγιστη εθελούσια σύσπαση μειωνόταν γραμματικά με μια διέγερση των 50Hz, που σήμαινε ότι εμπλέκονταν περιφερικοί παράγοντες.

Παρόλα αυτά, σε μια εργασία των Ikaï & Steihaus (1961) είχε βρεθεί ότι φωνάζοντας το άτομο, μπορεί να αυξηθεί αυτού που θεωρούταν ως μέγιστη εθελούσια συσπαστική δύναμη.

Επιπρόσθετα σε αυτό, οι Asmussen & Marin (1978) παρατήρησαν μια αποκατάσταση της τάσης του μυός υπό εξέταση, απλά επιτρέποντας στους εθελοντές να ανοίξουν τα μέχρι τότε κλειστά μάτια τους, στο σημείο της κόπωσης. Ακόμα, έρευνα των Bigland – Rochie et al (1978), έδειξε πως κατά τη διάρκεια συσπάσεων του τετρακέφαλου, η μείωση της δύναμης κατά 30%, μπορούσε σχεδόν να ξεπεραστεί μέσα από επιπλέον προσπάθειες συγκέντρωσης από το άτομο. Αυτές οι τρεις έρευνες (Asmussen & Marin, 1978; Bigland – Richie et al, 1978; Ikaï & Steinhaus, 1961) φανέρωσαν μερική τουλάχιστον εμπλοκή του ΚΝΣ στη διαδικασία της κόπωσης.

Το συμπέρασμα που μπορεί να βγει από αυτές τις μελέτες είναι πως το ΚΝΣ αποτελεί έναν παράγοντα κόπωσης που η συνεισφορά του όμως εξαρτάται από την ατομική κινητικότητα, την περίπτωση ή ακόμα και από τον τύπο των μυϊκών ινών που εμπλέκονται.

Η κεντρική κόπωση σε κυτταρικό επίπεδο προκαλείται – επηρεάζεται κατά κύριο λόγο από τη σύνθεση και το μεταβολισμό των κεντρικών μονοαμινών που είναι η **σεροτονίνη**, η **ντοπαμίνη** και η **νοραδρεναλίνη**.

Ο Newsholme et al (1985) υπέθεσε πως κατά τη διάρκεια της παρατεταμένης άσκησης, η σεροτονινεργική δράση του εγκεφάλου αυξάνεται και προκαλεί λήθαργο και απώλεια κινητικού ελέγχου, με αποτέλεσμα την μείωση της αποκατάστασης της κινητικής μονάδας.

Το σεροτονινεργικό σύστημα έχει χαρακτηριστεί ως ένας σημαντικός ρυθμιστής της διάθεσης, της συναισθηματικής κατάστασης, του ύπνου και της όρεξης για φαγητό, γι' αυτό εμπλέκεται στον έλεγχο πολλών συμπεριφοριακών και φυσιολογικών λειτουργιών (Cooper et al, 2003). Η απελευθέρωση της σεροτονίνης επηρεάζεται από τη δραστηριότητα και άλλων νευροδιαβιβαστικών συστημάτων όπως η ντοπαμίνη, το GABA καθώς και η διαθεσιμότητα του εγκεφάλου σε γλυκόζη (Bequet et al, 2002). Η αλληλεπίδραση σεροτονίνης και ντοπαμίνης παίζει καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της κόπωσης, αφού η υψηλή αναλογία της σεροτονίνης προς τη ντοπαμίνη, σχετίζεται με αίσθημα κόπωσης από το άτομο και μειωμένη κινητικότητα (Davis & Bailey, 1997).

Όσον αφορά την επίδραση της ντοπαμίνης στην απόδοση της άσκησης, αυτή είναι σημαντική αν σκεφτούμε ότι η ντοπαμίνη παίζει σημαντικό ρόλο στην κινητικότητα, τη μνήμη και τη συγκέντρωση.

Η δράση της ντοπαμίνης επεκτείνεται και στον έλεγχο της εθελούσιας κίνησης, καθώς και στις αλλαγές θέσεων από το άτομο (Freed & Yamamoto, 1985), ενώ υπάρχουν επαρκή στοιχεία ότι η αμφεταμίνη, που είναι ουσία υποστηρικτική της ντοπαμίνης, μπορεί να προάγει την ικανότητα εκτέλεσης άσκησης (Borg et al, 1972; Gerald, 1978; Chandler & Blair, 1980). Μια ακόμη σημαντική δράση της ντοπαμίνης στη διαμόρφωση της κεντρικής κόπωσης, είναι πως υποστηρίζει τον έλεγχο της θερμοκρασίας του σώματος (Hasegawa et al, 2000). Αυτό είναι κάτι πολύ σημαντικό, όσον αφορά την εγκατάσταση της κόπωσης, αφού η υπερθερμία του σώματος προκαλεί κόπωση άμεσα (Nybo & Nielsen, 2001). Περισσότερες πληροφορίες σε σχέση με την επίδραση της υπερθερμίας στην κεντρική κόπωση, θα δοθούν στη συνέχεια.

Η νοραδρεναλίνη έχει παρόμοια δράση με αυτή της ντοπαμίνης, αφού και οι δύο εμπλέκονται στην αφύπνιση, την κινητικότητα, στον έλεγχο της κινητικής συμπεριφοράς, στη μνήμη, στην αφύπνιση και στη συγκέντρωση (Cooper et al, 1994; Nestler et al, 2001). Ακόμα, ουσία υποστηρικτικής (που προάγει τη δράση) και των δύο (bupropion), είχε ως αποτέλεσμα τη διατήρηση περισσότερης δύναμης για περισσότερο χρόνο σε άσκηση υπό συνθήκες υπερθερμίας (Watson et al, 2005).

Άλλοι νευροδιαβιβαστές που μπορούν να δημιουργήσουν ή να εμπλακούν στην κεντρική κόπωση είναι η γλουταμάση, η ακετυλοχολίνη, η αδενοσίνη και το σύστημα GABA, όμως δεν υπάρχουν δεδομένα που έχουν εκδοθεί, που να καταλήγουν σε επίσημα συμπεράσματα όσον αφορά τη σημαντικότητά τους (Abdelmalki et al, 1997; Conlay et al, 1992; Davis et al, 2003; Guezennec et al, 1998).

Η **αμμωνία** είναι μια ουσία που σε μεγάλη συγκέντρωση προκαλεί εγκεφαλική διαταραχή η οποία επηρεάζει την κεντρική κόπωση (Banister & Cameron, 1990; Davis & Bailey, 1997). Τα επίπεδα αμμωνίας ανεβαίνουν κατά την παρατεταμένη άσκηση σε πολύ μεγάλο βαθμό (Eriksson et al, 1985; Snow et al, 2000). Υπό συνθήκες άσκησης μεγίστης έντασης αλλά με μικρή διάρκεια, η αποβολή της αμμωνίας από τον εγκέφαλο γίνεται με επιτυχία, όμως σε άσκηση με μεγάλη διάρκεια, η συνεχής πρόσληψη αμμωνίας (από τον εγκέφαλο) εξαντλείει την ικανότητα του εγκεφάλου προς απομάκρυνσή της (Dalsgaard et al, 2004). Η υπεραμμωνιαμία έχει μεγάλη επίδραση στην εγκεφαλική ροή του αίματος, στον μεταβολισμό της ενέργειας, στη συναπτική μετάδοση και στη ρύθμιση ποικίλων νευροδιαβιβαστικών συστημάτων (Felipo & Butterworth, 2002).

Τα τελευταία χρόνια έχει μελετηθεί ο ρόλος της κεντρικής **αδενοσίνης** σε συνδυασμό με την αλληλεπίδρασή της με την καφεΐνη. Η αδενοσίνη αναστέλλει την απελευθέρωση πολλών διεγερτικών νευροδιαβιβαστών, συμπεριλαμβανομένου της ντοπαμίνης και της νοραδρεναλίνης.

Έρευνα του Davis et al (2003) έδειξε πως η έγχυση καφεΐνης στον εγκέφαλο τρωκτικών, αύξησε σημαντικά την απόδοση στην άσκησή τους, όμως η έγχυση καφεΐνης σε συνδυασμό με ουσία υποστηρικτικής της αδενοσίνης επέφερε αντίθετα αποτελέσματα, με μείωση της απόδοσης άσκησης. Όσον αφορά τη δράση της **καφεΐνης** στην κεντρική κόπωση, αυτή είναι αξιοσημείωτη, αφού η καφεΐνη αναστέλλει τη δράση των κεντρικών υποδοχέων της αδενοσίνης (Graham, 2001; Paluska, 2003; Keisler, 2006).

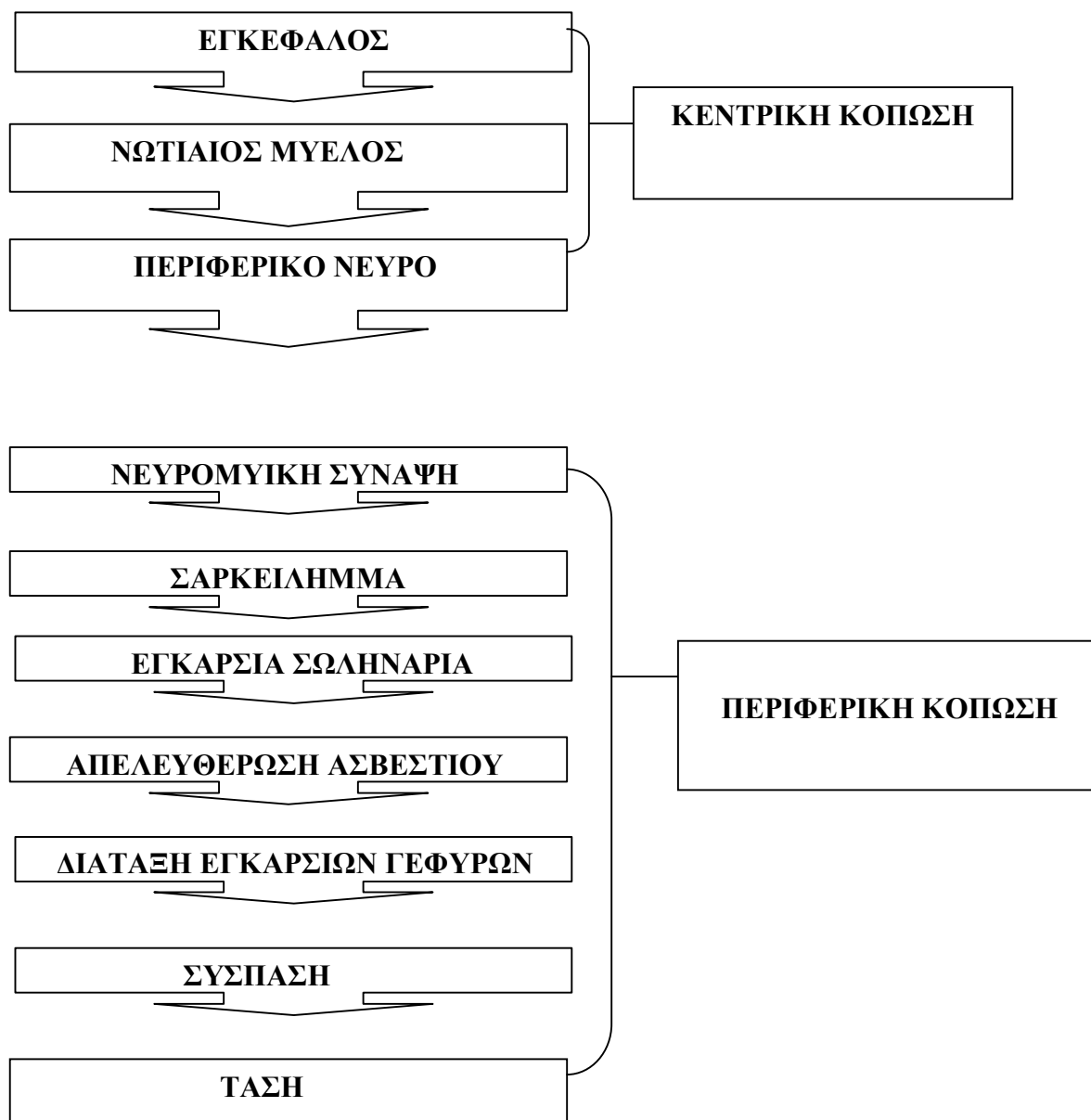
Την κεντρική κόπωση φαίνεται να επηρεάζει και η **υπερθερμία** του σώματος που προκαλείται από άνοδο της θερμοκρασία του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο γίνεται η άσκηση. Συγκεκριμένα, η υπερθερμία του σώματος επηρεάζει αρνητικά την ικανότητα εκτέλεσης άσκησης μεγάλης διάρκειας, δηλαδή όταν η άσκηση γίνεται σε υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος, τότε η κόπωση επέρχεται μέσα σε πολύ λιγότερο χρόνο (Galloway & Maughan, 1997). Τα αντίθετα αποτελέσματα στην απόδοση της άσκησης φαίνεται να επιφέρει η μείωση της θερμοκρασία του περιβάλλοντος χώρου (Parkin et al, 1999).

Αν και τα αποτελέσματα της αύξησης της θερμοκρασίας στην άσκηση είναι κατανοητά, οι μηχανισμοί που κρύβονται πίσω από τη βλαβερή δράση της θερμοκρασίας, δεν είναι ξεκάθαροι. Έχουν γίνει υποθέσεις πως η κόπωση σε θερμό περιβάλλον κατά την άσκηση μεγάλης διάρκειας, οφείλεται στη διατήρηση μιας κρίσιμης κεντρικής θερμοκρασίας που αποτελεί ένα «θερμικό όριο» στην απόδοση της άσκησης (Nielsen et al, 1993). Αυτό το όριο δρα προστατευτικά για τον οργανισμό γιατί ουσιαστικά αποτρέπει την καταστροφή ιστών, περιορίζοντας την επιπλέον αύξηση της θερμοκρασίας.

Πρόσφατες έρευνες ωστόσο, έδειξαν πως αυτή η μείωση στην απόδοση δεν συμβαίνει λόγω αυτού του θερμικού ορίου, αλλά ως μέρος της κεντρικής ρύθμισης της αποκατάστασης των σκελετικών μυών, η οποία ελέγχει τον ρυθμό αποθήκευσης της θερμότητας, προστατεύοντας έτσι από τη θερμορυθμιστική αποδιοργάνωση που συμβαίνει όταν κάποιος ασκείται με υψηλή θερμοκρασία.

Συνοψίζοντας σχετικά με την κεντρική κόπωση, μπορούμε να πούμε ότι αποτελεί έναν καθοριστικό παράγοντα εμφάνισης κόπωσης, όμως αυτό συμβαίνει στα τελευταία στάδια της άσκησης ή σε άσκηση με μεγάλη διάρκεια. Αυτό το δεδομένο, υποστηρίζεται σημαντικά και από έρευνα του Liu et al (2007) που έδειξε πως τα σήματα που εκπέμπει ο εγκέφαλος κατά τη διάρκεια μιας κοπιαστικής δραστηριότητας, αλλάζουν τοποθεσία μέσα στον εγκέφαλο. Το κέντρο της δραστηριοποίησης του εγκεφάλου αλλάζει, όταν οι νευρώνες του προηγούμενου κέντρου αρχίζουν να εξαντλούνται και αυτό συμβαίνει γιατί το εγκέφαλος λειτουργεί προστατευτικά – προνοητικά, αποφεύγοντας να αρχίσει να κουράζεται. Χρησιμοποιεί διαφορετικά κινητικά κέντρα και «παράλληλους διαδρόμους», έτσι ώστε να υποστηρίξει τη λειτουργία του. Έτσι, η κεντρική κόπωση αργεί σχετικά να εγκατασταθεί.

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΚΟΠΩΣΗΣ



Σχήμα: Συνοπτική Διαδρομή Κόπωσης.

2.2 ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΗ ΚΟΠΩΣΗ :

Η περιφερική κόπωση, σύμφωνα με τις περισσότερες έρευνες, είναι πιθανόν η κυριότερη μορφή κόπωσης ή πιο συγκεκριμένα, οι αλλαγές περιφερικά δηλαδή στο μυϊκό σύστημα, είναι ο κύριος παράγοντας εμφάνισης της κόπωσης.

Ένας από τους παράγοντες εμφάνισης της περιφερικής κόπωσης κατά τους Stephens & Taylor (1972), είναι η **νευρομυϊκή σύναψη**. Αυτοί απέδωσαν την αρχική φάση της κόπωσης σε αποτυχία της νευρομυϊκής σύναψης, ενώ έχει παρατηρηθεί επίσης υψηλή συσχέτιση μεταξύ τους εύρους ηλεκτρομυογραφήματος και δύναμης. Αυτό το εύρημα οδήγησε στην υπόθεση πως η πηγή της κόπωσης είναι η αποτυχία διέγερσης. (Hultman & Sjöholm, 1983)

Κατά τους Bigland & Richie (1986), τα περιφερικά αντανακλαστικά εμποδίζουν τις νευρικές ώσεις προστατεύοντας έτσι από την κόπωση, θέτοντας ένα μικρότερο και πλεονεκτικότερο ρυθμό δραστηριοποίησης.

Η εμπλοκή της νευρομυϊκής σύναψης στην κόπωση είναι σημαντική μόνο σε περιπτώσεις με μεγάλη διάρκεια άσκησης κατά τον Dorlochter et al (1991). Αυτό συμβαίνει γιατί ο διεγερτικός παλμός που μεταδίδεται διαμέσου της συναπτικής σχισμής στην τερματική πλάκα μειώνεται σε ένταση σε αυξημένες περιόδους δραστηριοποίησης. Μια άλλη εξήγηση είναι ότι μπορεί ορισμένα είδη ακετυλοχολινηστεράσης να υδρολύουν την ακετυλοχολίνη ενώ αυτή βρίσκεται στο όριο των μετασυναπτικών υποδοχέων και έτσι να μειώνουν το δυναμικό της τερματικής πλάκας (Deschenes et al, 1994).

Οι αντιθέσεις στις απόψεις αυτές ίσως οφείλονται στη διαφορετική μεθοδολογία, όμως πρέπει να λαμβάνονται όλες υπόψη γιατί μπορεί να ταιριάζουν σε διαφορετικές καταστάσεις.

Γενικά η αποτυχία της νευρομυϊκής σύναψης μπορεί να οφείλεται σε :

α) μειωμένη σύνθεση ή απελευθέρωση ακετυλοχολίνης,

β) υπερ – ή υποέκκριση ακετυλοχολινηστεράσης

ή γ) μειωμένη διεγερσιμότητα της τερματικής κινητικής πλάκας (Powers et al, 1994).

Η εμφάνιση της κόπωσης ευνοείται και από δυσλειτουργία του σαρκειλήμματος. Αυτό συμβαίνει λόγω αλλαγών στην πυκνότητα συγκέντρωσης των ιόντων ανάμεσα στα κύτταρα, κυρίως κατά την άσκηση μέγιστης έντασης. (McKenna et al, 1997) Συγκεκριμένα, γίνεται εκροή καλίου (K^{++}) από τα κύτταρα, κάτι που έχει ως αποτέλεσμα εκπόλωση της μυϊκής μεμβράνης και μειωμένη διεγερσιμότητα της (Sjøgaard et al, 1985). Ακόμα, συμβαίνει εισροή νατρίου (Na^{++}) και χλωρίου (Cl^{-}) στα κύτταρα. (McKenna et al, 1997) Η μέγιστη επίδραση παρατηρήθηκε λίγο πριν την εξάντληση. Πολλοί ερευνητές σχετίζουν τις ιδιότητες

του σαρκειλήμματος άμεσα με το εύρος του ηλεκτρομυογραφήματος, όμως δεν είναι σαφές αν οι μετρήσεις του ηλεκτρομυογραφήματος είναι σαφής ένδειξη κόπωσης. Η δυσλειτουργία του σαρκοπλασματικού δικτύου αποτελεί ακόμα μία από τις αιτίες εμφάνισης κόπωσης, κυρίως κατά την άσκηση μεγάλης διάρκειας. (McLester, 1997) Κατά τη διάρκεια της άσκησης, το σαρκοπλασματικό δίκτυο προσλαμβάνει ATP (τριφωσφορική αδενοσίνη) και ιόντα ασβεστίου (Ca^{++}). Ο ρυθμός συσσώρευσης ασβεστίου μέσα στο σαρκοπλασματικό δίκτυο, σχετίζεται άμεσα με τον αριθμό ενεργών μορίων της πρωτεΐνης ATPάσης.

Συγκεκριμένα, μια μείωση στη συσσώρευση ασβεστίου έχει ως αποτέλεσμα μείωση της δραστηριοποίησης της ATPάσης, όμως συμβαίνει και το αντίστροφο δηλαδή μείωση της δραστηριοποίησης της ATPάσης έχει ως αποτέλεσμα μείωση του ρυθμού πρόσληψης ασβεστίου (Byrd et al, 1989).

Έχει βρεθεί πως η μείωση των επιπέδων ασβεστίου, προκαλεί μια διακοπή στο σύστημα διέγερση – σύσπαση σε άσκηση μεγάλης διάρκειας, ενώ μια μείωση μυϊκής τάσης μπορεί εν μέρει να ξεπεραστεί με διευκόλυνση της απελευθέρωσης ασβεστίου (Eberstein & Shadow, 1963).

Αν λάβουμε υπόψη μας το ρόλο του ασβεστίου και τη συσχέτισή του με την πρωτεΐνη ATPάση, συμπεραίνουμε πως η δυσλειτουργία του σαρκοπλασματικού δικτύου προκαλεί κόπωση σε άσκηση με μεγάλη διάρκεια. Διαταραχές στα επίπεδα ασβεστίου μπορούν να συμβούν και από το δυναμικό δράσης του σαρκειλήμματος, από απελευθέρωση ιόντων ασβεστίου από το σαρκοπλασματικό δίκτυο ή επιστροφή ιόντων ασβεστίου πίσω στο σαρκοπλασματικό δίκτυο.

Τα υποπροϊόντα της υδρόλυσης της ATP, θεωρούνται μείζων παράγοντας κόπωσης σε όλα τα επίπεδα άσκησης. Αυτά είναι η **διφωσφορική αδενοσίνη (ADP)** και οι **ελεύθερες φωσφορικές ρίζες (Pi)**. Η ADP σε μεγάλη συγκέντρωση, πρακτικά μπορεί να επιδράσει όταν τα επίπεδα της ATP είναι χαμηλά, κάτι που θα απαιτούσε δραστηριοποίηση μεγάλης διάρκειας (Kawai, 1986). Ο τύπος των μυϊκών ιών που εμπλέκονται στην άσκηση πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη εδώ, διότι έχει βρεθεί πως στις ίνες ταχείας συστολής υπάρχει μεγαλύτερη συσχέτιση ATP – ADP από ότι στις βραδείας συστολής. Αυτή η συσχέτιση προσφέρει στις ίνες ταχείας συστολής γρήγορη επιτάχυνση παραγωγής ενέργειας και τις βοηθά στην αποφυγή της επιβράδυνσης της ανάπαυσης που προκαλείται από την υψηλή συγκέντρωση ADP (Edstrom et al, 1982). Όσον αφορά την επίδραση των ελεύθερων φωσφορικών ριζών (Pi), θεωρείται κύριος ανασταλτικός παράγοντας της μυϊκής απόδοσης οποιασδήποτε διάρκειας. Έχει παρουσιαστεί, πως η ενδοκυτταρική συγκέντρωση Pi αυξάνεται ραγδαία όχι μόνο στους σκελετικούς μύες κατά τη διάρκεια της κόπωσης, αλλά

και στον υποτοξικό ή ισχαιμικό καρδιακό μυ. Οι Cooke & Pate (1985) βρήκαν ότι υπάρχει μεγάλη μείωση στη μυϊκή τάση κατά την παρουσία συγκέντρωσης P_i , ενώ οι Godt & Nosek (1989), όχι μόνο βρήκαν πως το P_i μειώνει τη μέγιστη παραγωγή δύναμης αλλά και ότι έχει μια επίδραση στο ασβέστιο. Συγκεκριμένα, το P_i μειώνει πολύ αποτελεσματικά την ευαισθησία των σκελετικών και καρδιακών μυϊκών ινών στο ασβέστιο.

Τα αποτελέσματά τους έδειξαν πως η συγκέντρωση ασβεστίου που απαιτούνταν για υπομέγιστη δραστηριοποίηση, αυξήθηκε σημαντικά τόσο στις σκελετικές, όσο και στις καρδιακές μυϊκές ίνες. Επιπλέον, έχει διαπιστωθεί ότι το P_i δεσμεύει τη μυοσίνη και έτσι περιορίζει την παραγόμενη δύναμη (Cooke & Pate, 1985).

Μια άλλη παράμετρος κόπωσης, είναι και η διάχυση **γαλακτικού οξέος** στο σαρκεύλημμα που σε συνδυασμό με τα **ιόντα υδρογόνου (H^+)** αποτελούν κύριους περιοριστικούς παράγοντες για την μυϊκή απόδοση (Bangsbo et al, 1992). Η απελευθέρωση ιόντων υδρογόνου είναι ταχύτερη από την εκροή γαλακτικού οξέος τόσο κατά την άσκηση, όσο και κατά την αποθεραπεία. Επίσης, η διάχυση του γαλακτικού οξέος χαρακτηρίζεται από έναν μηχανισμό κατά τον οποίο τα ιόντα υδρογόνου βοηθούν τη μεταφορά του (Watt et al, 1988; Juel, 1991). Τα ιόντα υδρογόνου αυξάνονται ακόμα και κατά τη διάρκεια άσκησης υψηλής έντασης και επηρεάζουν τα **επίπεδα του pH**. Το pH των μυϊκών ινών αποτελεί έναν κρίσιμο παράγοντα στη διαδικασία της κόπωσης αφού σύμφωνα με τον Orchardson (1978), η μείωση των τιμών του pH, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της διεγερσιμότητας της τελικής κινητικής πλάκας. Ακόμα, σε μειωμένες τιμές pH, η απελευθέρωση ασβεστίου από το σαρκοπλασματικό δίκτυο μειώνεται όπως υποστήριξε ο McLaren et al (1989), ενώ απαιτείται και περισσότερο ασβέστιο για την ίδια μυϊκή δραστηριοποίηση (Fabiato, 1978; Robertson et al, 1976).

Πολύ σημαντικό ρόλο στη διαδικασία της περιφερικής κόπωσης παίζει και η **αφυδάτωση** του οργανισμού που συμβαίνει κατά την παρατεταμένη άσκηση σε θερμό περιβάλλον. Κατά την αφυδάτωση, μειώνεται η ροή του αίματος στους μύες και κατά συνέπεια η πρόσληψη οξυγόνου από αυτούς, οπότε εμποδίζεται η απόδοση της άσκησης σε ένταση. Ακόμα, η αφυδάτωση αυξάνει την καύση υδατανθράκων και την παραγωγή γαλακτικού οξέος. Παρόλα αυτά, ο κυριότερος παράγοντας εμφάνισης άμεσης κόπωσης κατά την αφυδάτωση είναι η υπερθερμία του σώματος, που ο ρόλος της επεκτείνεται και στο ΚΝΣ με τρόπο που έχει περιγραφεί σε προηγούμενη ενότητα (Alonzo et al, 1999).

Τέλος, την περιφερική κόπωση φαίνεται να επηρεάζει και η χορήγηση μικρών δόσεων **καφεΐνης** (1 – 3 κύπελα) μισή ώρα πριν από την άσκηση αφού έχει βρεθεί πως η καφεΐνη σε αυτές τις δόσεις μπορεί να μειώσει τον ρυθμό των χτύπων της καρδιάς σε υπομέγιστη

άσκηση. Παρόμοια αποτελέσματα όμως, δεν έχουν παρατηρηθεί κατά την ανάπαυση ή κατά την άσκηση μέγιστης έντασης (McClaran et al, 2007).

2.3 ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΚΟΠΩΣΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΕΙΔΟΣ ΤΩΝ ΜΥΪΚΩΝ ΣΥΣΠΑΣΕΩΝ :

Έχει διαπιστωθεί πως οι μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις στις συσπαστικές ικανότητες των μυών συμβαίνουν κατά τη διάρκεια μειομετρικών συσπάσεων. Η πιθανότερη εξήγηση γι' αυτό το φαινόμενο είναι πως το ενδοκυτταρικό ασβέστιο που ελέγχει το σύστημα διέγερση – σύσπαση επηρεάζεται σε μεγαλύτερο βαθμό κατά τις μειομετρικές συσπάσεις, παρά κατά τις πλειομετρικές (Wiley et al, 2000). Οι μέγιστης έντασης εθελούσιες πλειομετρικές συσπάσεις, επιδεικνύουν μεγαλύτερη αντίσταση στην κόπωση από τις αντίστοιχες μειομετρικές (Hortobagñi et al, 1996). Αυτό κατά κύριο λόγο συμβαίνει γιατί οι δεσμοί ακτίνης – μυοσίνης διασπώνται μηχανικά κατά τις πλειομετρικές συσπάσεις και για αυτό απαιτείται λιγότερη υδρόλυση ATP γι' αυτές τις συσπάσεις (Morgan & Allen, 2007).

Μια άλλη εξήγηση για τη διαφοροποίηση μεταξύ μειομετρικών και πλειομετρικών συσπάσεων σε θέματα κόπωσης, έδωσε ο Enoka et al (1996), που πρότείνει πως οι πλειομετρικές συσπάσεις απαιτούν μοναδική – διαφορετική δραστηριοποίηση και στρατηγικές ελέγχου από το νευρικό σύστημα σε σύγκριση με άλλους συσπαστικούς τύπους.

Όσον αφορά την ισομετρική σύσπαση, έχει βρεθεί πως η μέγιστη εθελούσια ισομετρική σύσπαση μειώνεται σε ένταση μετά από μειομετρική άσκηση περισσότερο από ότι μετά από πλειομετρική άσκηση (Babaut et al, 2005).

Η εγκατάσταση της μυϊκής κόπωσης σε σχέση με τον κύκλο διάτασης – σμίκρυνσης, όπως τον περιέγραψε ο Komi (1979) και πολλοί άλλοι ερευνητές στη συνέχεια, διαφέρει αρκετά από την εγκατάσταση της κόπωσης σε άλλες μυϊκές συσπάσεις, αφού ο τρόπος με τον οποίο επιβαρύνεται το νευρομυϊκό σύστημα είναι περίπλοκος και χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση για ασφαλή συμπεράσματα. Ενδεικτικά αναφέρεται πως κατά τη διάρκεια τέτοιου είδους άσκησης, συμβαίνει μια απότομη μείωση απόδοσης, ύστερα μια γρήγορη αποκατάσταση μέσα σε 1–2 ώρες που ακολουθείται από μια δεύτερη μείωση που «κορυφώνεται» τη δεύτερη μέρα μετά την άσκηση (Nicol et al, 2006).

2.4 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΚΑΙ ΚΟΠΩΣΗ :

Οι κύριες ενεργειακές πηγές του οργανισμού είναι οι **υδατάνθρακες**, τα **λίπη** και οι **πρωτεΐνες**. Οι τρεις αυτές ουσίες μεταβολίζονται με διαφορετικό ρυθμό η καθεμία, ανάλογα με το είδος και την ένταση της μυϊκής δραστηριοποίησης. Κατά την άσκηση ήπιας έντασης, υπερισχύει η λιπόλυση για την προμήθεια ενέργειας (περίπου μέχρι το 35% της VO_2max), ενώ κατά την άσκηση αυξημένης έντασης (πάνω από 35% της VO_2max) η λιπόλυση μειώνεται προοδευτικά και τη θέση της παίρνει ο υδατανθρακικός μεταβολισμός έτσι ώστε στη μέγιστη ένταση άσκησης, να χρησιμοποιούνται αποκλειστικά μυϊκό γλυκογόνο και γλυκόζη αίματος (Κλεισούρας, Τόμος I, 2004).

Έχει βρεθεί πως μια δίαιτα με προοδευτικά αυξανόμενη λήψη υδατανθράκων ή ακόμα και η λήψη υδατανθράκων άμεσα πριν από άσκηση παρατεταμένης διάρκειας, έχουν αποτέλεσμα την βελτίωση τη αντοχής, λόγω της καλύτερης αποθήκευσης γλυκογόνου (Aoi et al, 2006).

Σημαντική λεπτομέρεια ως προς τη λήψη υδατανθράκων, είναι πως θα πρέπει να καταναλώνονται υδατάνθρακες που ευνοούν τη λιποδιάλυση (φρουκτόζη) και αυτό γιατί οι συνηθισμένοι υδατάνθρακες, όπως η γλυκόζη και σουκρόζη, αυξάνουν την αποικοδόμηση του λίπους. Αυτό εμποδίζει την παραγωγή ενέργειας από τον μεταβολισμό των λιπών, αφού επιταχύνεται η γλυκόλυση και έτσι αυξάνεται η κατανάλωση σε γλυκογόνο και μειώνεται το pH του μυός, με αποτέλεσμα την παραγωγή γαλακτικού οξέος (Mitsuzono et al, 1995).

Όσον αφορά την δράση των **πρωτεϊνών**, αυτές είναι απαραίτητες για την υποστήριξη της μυϊκής δύναμης αφού οι μύες αποτελούνται από πρωτεΐνες (όπως η ακτίνη και η μυοσίνη) και νερό (Aoi et al, 2006). Συγκεκριμένα, κατά την πρωτεϊνόλυση παράγονται αμινοξέα, μερικά από τα οποία μετατρέπονται σε γλυκόζη και λίπη, ενώ παράλληλα βοηθούν στην αποικοδόμηση των μυϊκών ινών (Κλεισούρας, 2004).

Μεγάλη σημασία έχει το χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο γίνεται η κατανάλωση των πρωτεϊνών, αφού η λήψη ενός γεύματος αμέσως μετά την άσκηση (κυρίως άσκηση με αντίσταση) έχει ως αποτέλεσμα αύξηση της μυϊκής μάζας, πολύ περισσότερο από τη λήψη γεύματος μετά από ώρες (Esmarck et al, 2001). Οι πρωτεΐνες αλληλεπιδρούν με τους υδατάνθρακες τόσο κατά την παρατεταμένη άσκηση μέτριας έντασης, όσο και κατά την άσκηση με αντίσταση μεγάλης έντασης.

Έχει βρεθεί πως η αργινίνη, που είναι ένα αμινοξύ, σε συνδυασμό με τη λήψη υδατανθράκων, επιβραδύνει την μείωση του γλυκογόνου κατά την άσκηση αντοχής (Palmer et al, 1975).



Εικόνα 2.1 : Το κοτόπουλο αποτελεί κύρια πηγή πρωτεϊνών

(http://www.pianz.org.nz/Food_Nutrition/nutrition.php)

Επίσης, έρευνα του Borsheim et al (2004), έδειξε πως η λήψη υδατανθράκων σε συνδυασμό με πρωτεΐνη αυξάνει την πρωτεϊνοσύνθεση και ενοοεί τον καταβολισμό των πρωτεϊνών.

Το **νερό**, αν και δεν είναι ενεργειακή πηγή, παίζει μεγάλο ρόλο κατά την άσκηση, αφού εμπλέκεται στην κυκλοφορική λειτουργία, στις χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν κατά την άσκηση, στον μεταβολισμό της ενέργειας, στην απομάκρυνση άχρηστων υποπροϊόντων και στη διατήρηση της θερμοκρασία του σώματος (Aoi et al, 2006). Παρόλα αυτά, σε άσκηση με μεγάλη διάρκεια (πάνω από 90 λεπτά) η λήψη νερού δεν επαρκεί και θα πρέπει να λαμβάνεται νερό εμπλουτισμένο με ηλεκτρολύτες και υδατάνθρακες για καλύτερη απόδοση (Latzka et al, 1999).



Εικόνα 2.2 : Λήψη υγρού εμπλουτισμένου με ηλεκτρολύτες και υδατάνθρακες
(<http://www.thefinalsprint.com/tag/salt/>)

Τέλος, οι βιταμίνες και τα μεταλλικά στοιχεία είναι ουσίες που έχουν μεγάλη εμπλοκή στη διαδικασία της κόπωσης αφού επηρεάζουν πολλές πτυχές του μεταβολισμού και της μυϊκής λειτουργίας, όμως δεν είναι καθαρά ενεργειακές πηγές.

2.5 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΥΪΚΗΣ ΚΟΠΩΣΗΣ :

Η μέτρηση της μυϊκής κόπωσης είναι μια αρκετά δύσκολη διαδικασία γιατί υπάρχουν πάρα πολλοί ηλεκτροφυσιολογικοί και βιοχημικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη συσπαστική ικανότητα ενός μυ. Κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης δραστηριότητα ωστόσο, ένας από αυτούς είναι ο κυρίως υπεύθυνος για τη μείωση της δύναμης.

Οι κυριότερες μέθοδοι μέσω των οποίων γίνεται ποσοτικοποίηση της μυϊκής κόπωσης είναι **ηλεκτρομυογράφημα** (Henry, 1998), το **μηχανομυογράφημα** (Thacker et al, 2005), τα **τεστ με τη μέθοδο της ηλεκτρικής διέγερσης** (Mc Donnell, 1987), τα **τεστ με εθελούσια σύσπαση του μύος** ή των μυών που πρόκειται να μετρηθεί η κόπωση (Thorstensson & Karlsson, 1976), **τεστ με τη χρήση του ισοκινητικού δυναμόμετρου** (Barnes, 1981) και **συνδυασμοί των μεθόδων αυτών** (Bigland – Richie et al, 1986).

Το ηλεκτρομυογράφημα μετράει το μυοηλεκτρικό γεγονός που σχετίζεται με τη μυϊκή σύσπαση. Στο ηλεκτρομυογράφημα χρησιμοποιούνται ηλεκτρόδια για να ανιχνευθεί και να καταγραφεί το εκπολωτικό κύμα (παλμός) και η επερχόμενη επαναπόλωση που συμβαίνει ως μέρος του μυϊκού δυναμικού δράσης. Τα πιο συνηθισμένα καλώδια που χρησιμοποιούνται είναι τα επιφανειακά και τα εν τω βάθει, τύπου λεπτού σύρματος. Συνήθως τα επιφανειακά καλώδια χρησιμοποιούνται για αβαθείς μύες και τείνουν να καταγράψουν μυϊκή δραστηριοποίηση και άλλων μυών από το επιθυμητό, ενώ αντίθετα, τα ηλεκτρόδια τύπου σύρματος χρησιμοποιούνται για την καταγραφή εν τω βάθει μυών και τοποθετούνται ενδομυϊκά μέσω ενός αυλού. Μεγάλη προσοχή χρειάζεται στη σωστή τοποθέτηση των ηλεκτροδίων (οποιοδήποτε τύπου), για να μην λαμβάνονται λάθος πληροφορίες.

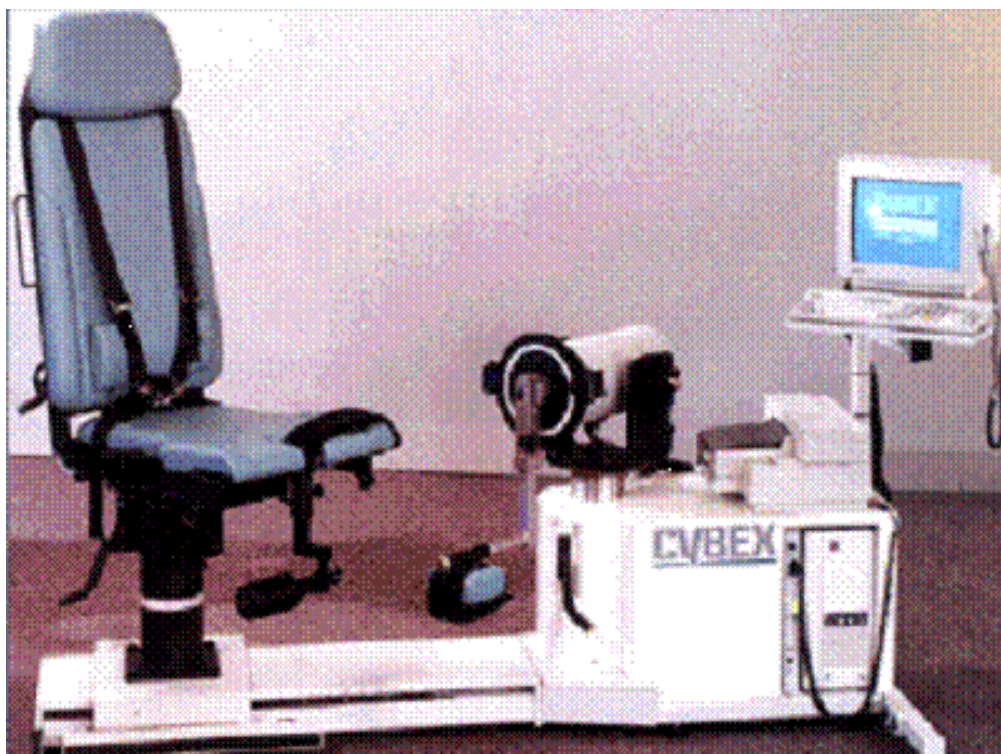
Το μηχανογράφημα είναι μια μη-επεμβατική τεχνική που χρησιμεύει στην μέτρηση του επιπέδου της ταχύτητας σύσπασης και των αλλαγών του, σε υποδερματικούς ολόκληρους μυς ή τμήματα αυτών. Συγκεκριμένα, ένας μυϊκός διεγέρτης τύπου TENS μεταδίδει ένα μέγιστο διαδερμικό νευρομυϊκό – διεγερτικό παλμό, στο μυϊκό τμήμα που ελέγχεται. Η επακόλουθη μετατόπιση μυϊκής κοιλίας (ατράκτου) μετριέται ως μετατόπιση του επικείμενου δέρματος από τον αισθητήρα λέιζερ. Η διέγερση του διερευνόμενου τμήματος, παράγει μια παραβολική κυματομορφή η οποία αντιπροσωπεύει την μετατόπιση της μυϊκής κοιλίας. Αυτή η κυματομορφή αποτελείται από δύο φάσεις : μία κατά την οποία ο μυς συστέλλεται με TENS και μία μετά τη φάση της χαλάρωσης.

Όσον αφορά τα τεστ εθελούσιας σύσπασης, η ποσοτικοποίηση της κόπωσης γίνεται μετρώντας τη ροπή στρέψης στην αρχή και προς το τέλος της άσκησης και βγαίνει ένας

μέσος όρος που χρησιμεύει ως δείκτης κόπωσης. Τα τεστ αυτά διαμορφώνονται από τον εκάστοτε ερευνητή.

Τα τεστ με τη χρήση του ισοκινητικού δυναμόμετρου, χρησιμοποιήθηκαν και χρησιμοποιούνται ακόμα ευρέως. Τα άτομα που εξετάζονται, εκτελούν μυϊκές συσπάσεις καθορισμένες από τον ερευνητή και τα αποτελέσματα καταγράφονται συνήθως με τη χρήση ηλεκτρομυογραφήματος.

Οι Burdett & Van Swearington (1987) χαρακτήρισαν τις μετρήσεις του ισοκινητικού δυναμόμετρου ως αρκετά καλές και αξιόπιστες όσον αφορά υγιή άτομα.

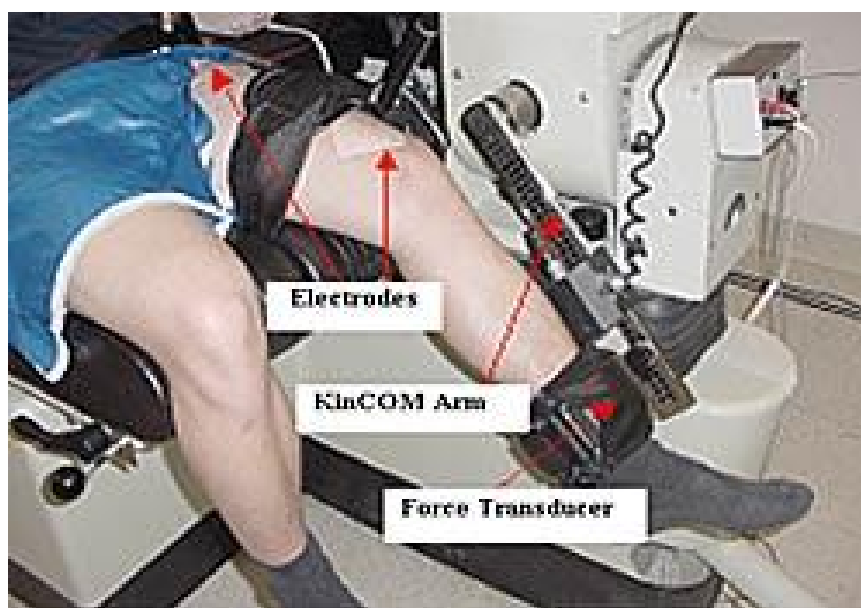


Εικόνα 2.3 : Μέτρηση της κόπωσης με ισοκινητικό δυναμόμετρο

(<http://www2.hud.ac.uk/hhs/chsup/equipment.php>)

Τέλος, ο συνδυασμός των μεθόδων μπορεί να αποτελέσει άλλο ένα μέτρο κόπωσης. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα συνδυασμού μεθόδων μέτρησης κόπωσης είναι η έρευνα των Bigland-Richie et al (1986) όπου συνδυάστηκαν εθελούσια και ηλεκτρικής φύσης κόπωση, για να μετρηθεί το μέγεθος κόπωσης που προερχόταν από συνεχείς υπομέγιστες εθελούσιες συσπάσεις μυών με διαφορετικούς τύπους μυϊκών ινών. Τα άτομα που εξετάστηκαν, έπρεπε να διατηρήσουν ένα συγκεκριμένο επίπεδο δύναμης για 6 δευτερόλεπτα (sec) (π.χ. 50% της μέγιστης εθελούσιας σύσπασης) και να χαλαρώσουν για 4sec. Τα άτομα συνέχιζαν αυτόν τον κύκλο των 10sec έως ότου να μην μπορούν να επιτύχουν το επιθυμητό επίπεδο δύναμης. Περιοδικά, κατά την διάρκεια του τεστ, τα άτομα εκτελούσαν μια μέγιστη εθελούσια σύσπαση και 8 παλμοί των 50Hz μεταδίδονταν στον χαλαρό μυ.

Οι αντιδράσεις σε αυτές τι δύο μεταβολές είχαν υψηλή συσχέτιση – ομοιότητα, κάτι που έδειχνε πως τα ηλεκτρικά και τα εθελούσια συσπαστικά στοιχεία μετρούσαν τα ίδια φυσιολογικά φαινόμενα.



Εικόνα 2.4 : Συνδυασμός ηλεκτρικής διέγερσης και εθελούσιας σύσπασης

(<http://www.ni.com/images/csma/us/bioperumal.jpg>)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΟΠΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ

Οι τρόποι με τους οποίους επιδρά η μυϊκή κόπωση στην ικανότητα ενός ατόμου να διατηρεί την ισορροπία του κατά την όρθια στάση, έχει γίνει αντικείμενο πολλών ερευνών. Οι παράμετροι που επηρεάζουν την ισορροπία ποικίλουν και αλλάζουν με την ηλικία. Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει ανασκόπηση των επιδράσεων της κόπωσης στην ισορροπία κυρίως σε νεαρά άτομα, που δεν πάσχουν από κάποια ασθένεια και δεν έχουν ιστορικό με πρόσφατο τραυματισμό των κάτω άκρων.

Σημαντικές παράμετροι στον καθορισμό του βαθμού με τον οποίο επιδρά η κόπωση στην ισορροπία από τους ερευνητές, φαίνεται να είναι ο τρόπος με τον οποίο ο εκάστοτε ερευνητής προκαλεί κόπωση στους εθελοντές, ο αριθμός των άκρων των εξεταζόμενων ατόμων τα οποία υποβάλλονται σε κόπωση και το αν επιτρέπεται στα άτομα να χρησιμοποιούν την όρασή τους κατά τη διάρκεια της εξέτασης. Ο ρόλος των παραμέτρων αυτών έχει διερευνηθεί μέσα από πλήθος ερευνών, μερικές από τις οποίες θα περιγραφούν στη συνέχεια.

Η επίδραση της μυϊκής κόπωσης στην ισορροπία γενικότερα, είναι ένα πολύ σημαντικό θέμα αν σκεφτούμε πως η ισορροπία αποτελεί μια κύρια λειτουργία του ανθρώπινου σώματος. Η καλή ισορροπία είναι απαραίτητη, ειδικά σε άτομα που αθλούνται προς αποφυγή τραυματισμών, σε ηλικιωμένα άτομα τα οποία παρουσιάζουν μειωμένη ισορροπία και σε άτομα που πάσχουν από ασθένειες που την επηρεάζουν. (π.χ. νόσος του Parkinson, αγγειακά εγκεφαλικά επεισόδια κ.τ.λ.)

Η μέτρηση της κόπωσης και η αξιολόγηση της ισορροπίας, αποτελούν τα βασικά στοιχεία για κάθε προσπάθεια συσχέτισης της κόπωσης με την ισορροπία. Μέσα από τις περισσότερες έρευνες που έχουν γίνει πάνω στο θέμα, γενικά φαίνεται πως η κόπωση επιδρά αρνητικά στην ικανότητα ενός ατόμου να διατηρεί την ισορροπία του.

Γενικά υπάρχουν πολλοί μηχανισμοί που σχετίζονται με την κόπωση και εμπλέκονται σε διαφορετικά επίπεδα του νευρικού συστήματος, επηρεάζοντας τη ρύθμιση των δυνάμεων που απαιτούνται για τη διατήρηση της ισορροπίας. Στο περιφερικό επίπεδο, προ- και μετασυναπτικοί μηχανισμοί εμπλέκονται δυναμικά προκαλώντας είτε αποτυχία μετάδοσης του νευρικού σήματος, είτε ανικανότητα του μυός να ανταποκριθεί στη νευρική διέγερση. (Bigland-Ritchie & Woods, 1984)

Σε κεντρικό επίπεδο, η κόπωση μπορεί να προκαλέσει αποτυχία διέγερσης των κινητικών νευρώνων λόγω αλλαγών στο νευρικό σύστημα (τμηματική, αισθητηριακή ανατροφοδότηση). (Bigland-Ritchie, 1986 ; Gandevia et al, 1995)

Στη συνέχεια του κεφαλαίου αυτού, θα παρουσιαστούν οι επιδράσεις της κόπωσης στην ισορροπία, με διάφορες μεθόδους εξέτασης-αξιολόγησης της ισορροπίας σε συνδυασμό με διαφορετικούς τρόπους πρόκλησης κόπωσης.

3.1. Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΟΠΩΣΗΣ ΣΤΟΝ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΟΥ ΚΝΣ

Το ΚΝΣ έχει τη δυνατότητα να αναγνωρίζει κινήσεις, να προβλέπει τυχόν επικείμενες διαταραχές και να τις προλαμβάνει επιστρατεύοντας *προληπτικές μυικές δραστηριοποιήσεις*. Αυτές οι μυικές δραστηριοποιήσεις κατά κάποιο τρόπο μετριάζουν τις επιπτώσεις των επικείμενων αυτών διαταραχών. (Shumway-Cook & Woollacott, 1995; Morasso et al, 1999; Morasso & Sanguineti, 2002; Loram et al, 2005)

Για παράδειγμα, όταν κάποιος βρίσκεται όρθιος μέσα σε ένα λεωφορείο εν κινήσει, τότε συμβαίνουν αλλαγές στη μυική δραστηριοποίηση των κάτω άκρων του έτσι ώστε να μην πέσει, όταν η ταχύτητα του οχήματος μεταβληθεί.

Όσον αφορά τον στατικό έλεγχο, ο Gatev et al (1999) παρατήρησε κορυφώσεις της μυοηλεκτρικής δραστηριότητας του γαστροκνημίου ελάχιστα πριν τις προσθιοπίσθιες μετατοπίσεις του κέντρου πίεσης (ΚΠ) του πέλματος. Επιπλέον, ο Loram et al (2005) έδειξε πως οι προσθιοπίσθιες κινήσεις του σώματος δεν είναι απόλυτα σύμφωνες με τις μεταβολές του μήκους των μυών των κάτω άκρων, θεωρώντας έτσι τον μηχανισμό πρόβλεψης μέρος του μηχανισμού ελέγχου του στατικού λικνίσματος. Μέσα από αυτές τις έρευνες φαίνεται πως ο μηχανισμός πρόβλεψης σχετίζεται με τον έλεγχο του στατικού λικνίσματος.

Η σχέση της μυικής κόπωσης του κάτω άκρου με τον μηχανισμό πρόβλεψης, καθώς και η επίδραση του μηχανισμού πρόβλεψης στον στατικό έλεγχο, έχουν μελετηθεί πρόσφατα και από τον Mello et al (2007). Στην έρευνα που έκανε ο Mello, προκλήθηκε κόπωση του γαστροκνημίου στα άτομα που συμμετείχαν. Συγκεκριμένα, τα άτομα στέκονταν όρθια με πελματιαία κάμψη της ποδοκνημικής, μέχρι να μην μπορούν να διατηρήσουν τη στάση αυτή, ως αποτέλεσμα της κόπωσης του γαστροκνημίου. Η κόπωση του γαστροκνημίου, είχε ως αποτέλεσμα μια μεγάλη αύξηση του λανθάνοντος χρόνου μεταξύ της μυοηλεκτρικής δραστηριότητας του γαστροκνημίου (ηλεκτρομυογράφημα), και τις προσθιοπίσθιες μεταβολές του κέντρου πίεσης (μέτρηση σταθερότητας). Αυτό σημαίνει πως η κόπωση επιδρά στον μηχανισμό πρόβλεψης και μέσω αυτού, στον στατικό έλεγχο.

Τα ευρήματα αυτά μπορούν να γίνουν πιο κατανοητά, αν λάβουμε υπόψη πως ένας πιθανός λόγος για αυτή την αύξηση του λανθάνοντος χρόνου, είναι πως κατά την κόπωση υπάρχει ανάγκη για πιο έντονη νευρική διέγερση και για περισσότερο χρόνο, για να επιτευχθεί η απαραίτητη μυική σύσπαση. Έτσι, η δράση των μυών, όσον αφορά τη μετατόπιση του κέντρου πίεσης, γίνεται καθυστερημένα με αποτέλεσμα το στατικό λίκνισμα να αυξάνεται

όπως φαίνεται από την αλλαγή ταχύτητας και εύρους του κέντρου πίεσης. (McArdle et al, 2001)

Η επίδραση της κόπωσης στον μηχανισμό πρόβλεψης δεν αφορά μόνο τα κάτω άκρα και επιβεβαιώνεται και από άλλες έρευνες, όπως αυτή των Allison & Henry (2002) όπου μετά την κόπωση παρατηρήθηκε αύξηση του λανθάνοντος χρόνου μεταξύ της δραστηριοποίησης των μυών του κορμού και της κάμψης του ώμου. (προληπτικά δραστηριοποιήθηκαν οι μύες του κορμού)

Ακόμα, σε έρευνα του Vuillerme et al (2002) παρατηρήθηκε αυξημένος λανθάνων χρόνος μεταξύ της μυοηλεκτρικής δραστηριότητας του ημιτενοντώδη και στο ξεκίνημα της ανύψωσης του βραχίονα.

Συνοψίζοντας σχετικά με την επίδραση της μυικής κόπωσης στον μηχανισμό πρόβλεψης και το ορθοστατικό λίκνισμα, αυτό που έχει ιδιαίτερη σημασία είναι το γεγονός πως η κόπωση αυξάνει το στατικό λίκνισμα μέσω του μηχανισμού πρόβλεψης, άρα και μέσα από ένα τεράστιο πλήθος δραστηριοτήτων. Παρόλο τον μεγάλο αριθμό ερευνών που έχουν γίνει σχετικά, ακόμα χρειάζεται αρκετή διερεύνηση του θέματος ώστε να βγουν ασφαλή συμπεράσματα.

3.2 ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΣΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΕΠΕΙΤΑ ΑΠΟ ΚΟΠΙΑΣΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

Ο χρόνος που απαιτείται για να ανακτηθεί η ισορροπία μετά από την εκτέλεση άσκησης ή κάποιας κοπιαστικής δραστηριότητας, μεταβάλλεται ανάλογα με την ένταση και τη διάρκεια της δραστηριοποίησης. Η μέτρηση του χρονικού διαστήματος αυτού, έχει γίνει αντικείμενο ερευνών και ο υπολογισμός του συνήθως απαιτεί αξιολόγηση της ισορροπίας πριν και μετά την εκτέλεση της άσκησης.

Μια από τις έρευνες που έχουν γίνει σχετικά με το θέμα, είναι από τον Nardone et al (1998). Σε αυτή την έρευνα, η ισορροπία των εθελοντών μετρήθηκε με το να στέκονται με τα πόδια ενωμένα, χωρίς παπούτσια, πάνω σε μια πλατφόρμα δύναμης και να κοιτούν έναν στόχο που βρισκόταν μπροστά τους σε απόσταση 50cm. Το έκαναν για 5 φορές. Η δοκιμασία επαναλήφθηκε και με τα μάτια κλειστά, για άλλες 5 φορές. Η όλη διαδικασία είχε διάρκεια 10 λεπτά.

Στη συνέχεια οι εθελοντές περπάτησαν σε ένα διάδρομο με ανηφορική κλίση για 25 λεπτά, έτσι ώστε να αισθανθούν κουρασμένοι. Η κόπωσή τους μετρήθηκε με την κλίμακα Borg, όπου τα άτομα έπρεπε να βαθμολογήσουν το πόσο κουρασμένοι αισθάνονταν από το 0 έως το 10. (όπου 10 σήμαινε εντελώς εξαντλημένος) Τα περισσότερα άτομα έδωσαν βαθμό από 5 έως 7, δηλαδή πολύ έως πάρα πολύ κουρασμένοι. Όλα τα άτομα ανέφεραν ότι αισθάνονταν ζαλισμένοι μετά την άσκηση για 2-3 λεπτά, πιθανότατα εξαιτίας του υπεραερισμού.

Στη συνέχεια, εκτέλεσαν ξανά την δοκιμασία ισορροπίας που είχαν εκτελέσει πριν την άσκηση τρεις φορές 8, 28 και 68 λεπτά μετά την άσκηση. Την πρώτη φορά, οι διαφοροποιήσεις στη σταθερότητα ήταν πολύ υψηλές κατά την πρώτη εκτέλεση της δοκιμασίας, ενώ κατά τις επόμενες τέσσερις οι τιμές απόκλισης μειώθηκαν, όμως ήταν υψηλότερες από τις τιμές πριν την κόπωση. Τα ίδια αποτελέσματα σημειώθηκαν και με τα μάτια κλειστά, με υψηλότερες όμως τιμές απόκλισης. Στις επόμενες δυο φορές που εκτελέστηκε η δοκιμασία, (28 και 68 λεπτά μετά την άσκηση) η ισορροπία είχε επανέλθει στα προ άσκησης επίπεδα.

Το συμπέρασμα από αυτή την έρευνα ήταν πως η άσκηση είχε αποσταθεροποιητική επίδραση στα άτομα που συμμετείχαν, με τη μέγιστη επίδραση να εμφανίζεται άμεσα και να ακολουθείται από ένα μειωμένο πλατό. Η επίδραση της άσκησης ήταν παροδική και είχε διάρκεια 10-15 λεπτά. Ακόμα, μια επιπλέον παρατήρηση ήταν πως η άσκηση δεν επηρέασε σε μεγάλο βαθμό την ισορροπία και τα αποτελέσματα είχαν μικρή διάρκεια. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε τρεις λόγους: α) τα 2-3 πρώτα λεπτά μετά την άσκηση, όπου παρατηρήθηκε

ζάλη στα άτομα, δεν υπολογίστηκαν οι αποκλίσεις στην ισορροπία που ίσως να ήταν μεγαλύτερες, β) η μυική ενεργοποίηση στο τρέξιμο κατά ένα μεγάλο μέρος γίνεται πλειομετρικά, όμως οι πλειομετρικές συστολές παρουσιάζουν αντοχή στην κόπωση και γ) η άσκηση που εκτελέστηκε δεν απαιτούσε μέγιστη μυική ενεργοποίηση και ο εγκέφαλος είχε την ευκαιρία να μεταβάλλει την ενεργοποίηση των εμπλεκόμενων μυών.

Παρόμοια έρευνα διενεργήθηκε και από τον Susco et al (2004), όπου η ισορροπία μετρήθηκε με το σύστημα BESS (Balance Error Scoring System), που σημαίνει Σύστημα Καταγραφής Σφαλμάτων Ισορροπίας. Η διαφορά της έρευνας αυτής σε σχέση με προηγούμενες αντίστοιχες, ήταν πως έγινε προσπάθεια να βρεθεί το ακριβές χρονικό σημείο στο οποίο η ισορροπία είχε πλήρως ανακτηθεί. Σε προηγούμενες αναφορές είχε καθοριστεί πως η ισορροπία αποκαθίσταται μέσα σε 20 λεπτά μετά τη δραστηριοποίηση, όμως δεν είχαν γίνει μετρήσεις για το τι ακριβώς συνέβαινε από τα 13 έως τα 20 λεπτά. Σχετικά με τη διαδικασία της έρευνας, η κόπωση προκλήθηκε με το πρόγραμμα του Wilkins et al (2004) το οποίο περιλάμβανε 7 μέρη ασκήσεων: 1) 5 λεπτά μεταβαλλόμενο τρέξιμο σύμφωνα με τον ατομικό ρυθμό του ατόμου, 2) 3 λεπτά γρήγορο τρέξιμο (σπρίντ) κατά το μήκος ενός γηπέδου μπάσκετ πάνω-κάτω, 3) 2 λεπτά push-ups, 4) 2 λεπτά κοιλιακών, 5) 3 λεπτά ανέβασμα σκαλοπατιών με ύψος 30,5cm, 6) άλλα 3 λεπτά γρήγορου τρεξίματος, 7) 2 λεπτά συνεχόμενου τρεξίματος με το μέγιστο ρυθμό.

Ο τρόπος που προκλήθηκε η κόπωση στα άτομα, επιλέχθηκε με κριτήριο το να προκαλεί και τα δυο είδη κόπωσης δηλαδή τόσο περιφερική, όσο και κεντρική, πράγμα που δε συνέβαινε στην έρευνα που αναφέραμε προηγουμένως.(Nardone et al, 1998)

Για τη μέτρηση του υποκειμενικού αισθήματος κόπωσης, χρησιμοποιήθηκε η δεκαπενταβάθμια κλίμακα του Borg, όπου τα άτομα βαθμολογούσαν από το 0 έως το 15 το υποκειμενικό αίσθημα κόπωσης. Ο βαθμός 15 αντιστοιχούσε στην εξάντληση και σε ένα ποσοστό 75%-90% της μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου.

Η ισορροπία δοκιμάστηκε με τρεις τρόπους, προοδευτικά αυξανόμενης δυσκολίας για το νευρομυικό σύστημα. Συγκεκριμένα, κατά σειρά δυσκολίας, αυτοί ήταν: όρθια στάση με τα πόδια ενωμένα, στήριξη στο μη επικρατές πόδι (με το επικρατές σε κάμψη ισχίου 30 μοιρών και γόνατος 90 μοιρών), στήριξη στο μη επικρατές πόδι με το επικρατές μπροστά να ακουμπά το έδαφος μόνο με τη μύτη. Οι εθελοντές έπρεπε να διατηρούν τα χέρια τους στις λαγόνιες ακρολοφίες και να έχουν τα μάτια τους κλειστά. Η δοκιμασία εκτελέστηκε πριν και μετά την πρόκληση της κόπωσης, σε στέρεα επιφάνεια και σε επιφάνεια μειωμένης πυκνότητας. Πρώτα τα άτομα ισορρόπησαν στη στέρεα επιφάνεια και στη συνέχεια στην επιφάνεια μειωμένης πυκνότητας, για προοδευτική επιβάρυνση του νευρομυικού

συστήματος. Οι ερευνητές στέκονταν μπροστά από τα άτομα σε μια απόσταση 3.05 μέτρων και παρατηρούσαν τα 'σφάλματα ισορροπίας'. Ως σφάλματα ισορροπίας ορίστηκαν: το άνοιγμα των ματιών, η απομάκρυνση των χεριών από τις λαγόνιες ακρολοφίες, το βάδισμα, το παραπάτημα, το πέσιμο, η κάμψη ή η απαγωγή ισχίου πάνω από 30 μοίρες, η άρση του σκέλους ή η άρση της μύτης του έμπροσθεν σκέλους και η παραμονή εκτός θέσεως για πάνω από 5 δευτερόλεπτα.

Τα αποτελέσματα έδειξαν πως κατά τη μονοποδική στήριξη στην επιφάνεια μειωμένης πυκνότητας σημειώθηκαν τα περισσότερα σφάλματα συγκριτικά με όλες τις άλλες θέσεις. Συγκεκριμένα, η σειρά των θέσεων από αυτή με τα περισσότερα σε αυτή με τα λιγότερα σφάλματα ήταν: μονοποδική στήριξη σε επιφάνεια μειωμένης πυκνότητας > μονοποδική στήριξη σε στέρεα επιφάνεια = στήριξη με το ένα πόδι έμπροσθεν σε επιφάνεια μειωμένης πυκνότητας > στήριξη με το ένα πόδι έμπροσθεν σε στέρεα επιφάνεια > διποδική στήριξη σε επιφάνεια μειωμένης πυκνότητας = διποδική στήριξη σε στέρεα επιφάνεια.

Ο χρόνος είχε επιδράσεις σε όλες τις θέσεις, εκτός από τη διποδική στήριξη σε επιφάνεια με μειωμένη πυκνότητα και σε στέρεα επιφάνεια, δηλαδή η ικανότητα ισορρόπησης δεν διαταράχθηκε από την κόπωση σε αυτές τις θέσεις. Ακόμα, διαπιστώθηκε πως τα ελλείμματα στην ισορροπία είχαν μια διάρκεια 15 λεπτών μετά την κόπωση, όμως από τα 15 λεπτά και μετά άρχιζαν να φθίνουν και τελικά να εξαλείφονται με τη συμπλήρωση περίπου 20 λεπτών.

Ένα γενικό συμπέρασμα που μπορεί να βγει από αυτές τις έρευνες, είναι πως μετά από έντονη άσκηση που συνοδεύεται από έντονη κόπωση, ο χρόνος που απαιτείται για να ανακτηθεί πλήρως η ικανότητα καλής ισορρόπησης είναι περίπου 20 λεπτά. Αυτό ισχύει μόνο για υγιή, νεαρά άτομα, που αθλούνται τουλάχιστον 4 φορές την εβδομάδα πάνω από 30 λεπτά τη φορά και δεν έχουν ιστορικό με τραυματισμό των κάτω άκρων τους τελευταίους 6 μήνες.

Ο χρόνος που απαιτείται για πλήρη ανάκτηση της ισορροπίας, μπορεί να μεταβληθεί ανάλογα με το είδος, την ένταση και τη διάρκεια της άσκησης. Θα πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερα υπόψη από τους ειδικούς που καθορίζουν τη στιγμή που ο αθλούμενος θα επιστρέψει στην αγωνιστική δραστηριότητα, αφού το ενδεχόμενο τραυματισμού λόγω της μειωμένης ισορροπίας, είναι υπαρκτό.

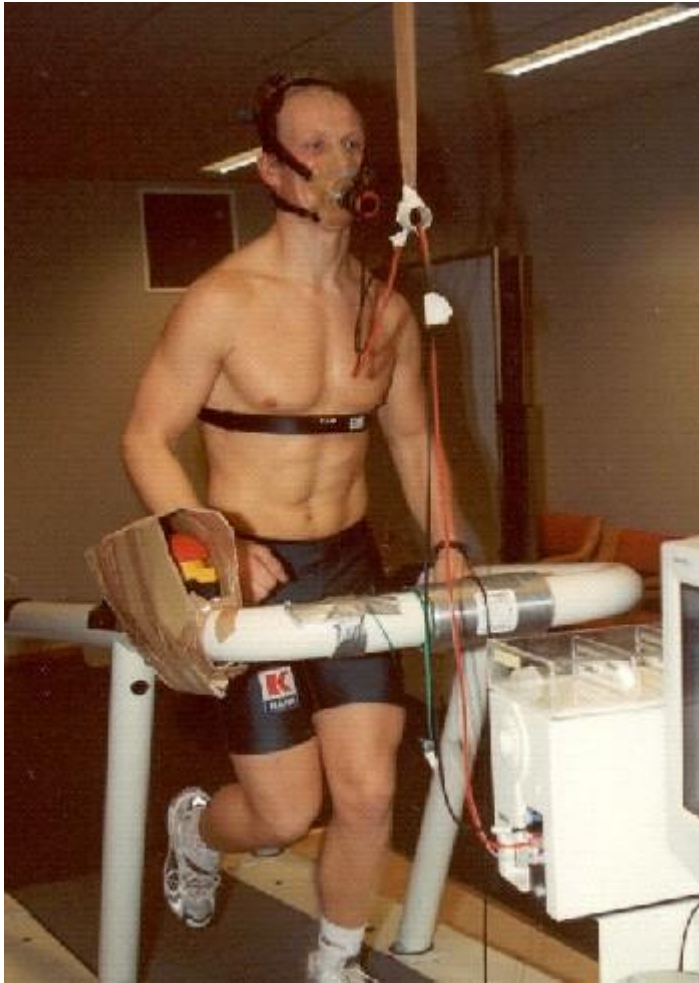
3.3 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΟΠΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΕΡΟΒΙΑΣ ΑΣΚΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ

Η επίδραση της άσκησης, που δεν επιφέρει κόπωση, στον μηχανισμό ελέγχου της ισορροπίας, έχει κριθεί ως πολύ μικρή ή αμελητέα. Αυτό τουλάχιστον έχει διαπιστωθεί στις περισσότερες περιπτώσεις ατόμων των οποίων δοκιμάστηκε η ισορροπία, ύστερα από εκτέλεση άσκησης που χαρακτηρίστηκε από τα ίδια τα άτομα ως καθόλου κουραστική. (Nardone et al, 1997)

Για αυτό το λόγο, σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει αναφορά μόνο για τις επιδράσεις της αερόβιας άσκησης στην ισορροπία. Πρώτα όμως θα πρέπει να αναφερθεί, πως αερόβια άσκηση θεωρείται η άσκηση κατά την οποία η κατανάλωση σε οξυγόνο είναι ίση με το 50-60% της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (VO₂MAX) (Knuttgen & Saltin, 1972), το σημείο δηλαδή που υπερβαίνεται το αναερόβιο κατώφλι.

Επίσης, η καρδιακή συχνότητα σε μια τέτοιου είδους άσκηση, αντιστοιχεί περίπου στο 60% περίπου της μέγιστης καρδιακής συχνότητας τη στιγμή που ξεπερνιέται το αναερόβιο κατώφλι. (American College of Sports Medicine, 1995).

Η κόπωση που δημιουργείται από τέτοιου είδους άσκηση και οι επιδράσεις της στην ισορροπία, μελετήθηκαν από τον Nardone et al (1997).



Εικόνα 3.1 : Αερόβια άσκηση - υπολογισμός VO₂max

(<http://home.hia.no/~stephens/vo2max.htm>)

Στην έρευνα που διενεργήθηκε, η ισορροπία των εθελοντών μετρήθηκε σε μια πλατφόρμα δύναμης. Τα άτομα στέκονταν πάνω στην πλατφόρμα με τα πόδια ενωμένα και με τα χέρια κολλημένα στο σώμα, προσπαθώντας να μείνουν όσο πιο ακίνητα μπορούσαν. Η διαδικασία επαναλήφθηκε για 10 φορές, 5 με τα μάτια κλειστά και 5 με τα μάτια ανοικτά, κοιτάζοντας έναν στόχο σε απόσταση περίπου 50 εκατοστά στο ύψος των ματιών. Κάθε επανάληψη είχε διάρκεια 51 δευτερόλεπτα και η όλη διαδικασία 10 λεπτά. Η κόπωση προκλήθηκε με δύο τρόπους: α) βάδιση σε διάδρομο με προοδευτικά αυξανόμενη ταχύτητα, κλίση και διάρκεια, β) άσκηση σε κυκλοεργόμετρο.

Κατά την άσκηση σε διάδρομο, τα άτομα αρχικά περπάτησαν για 2 λεπτά με ταχύτητα 3 χιλιόμετρα την ώρα, για ζέσταμα. Στη συνέχεια περπάτησαν για 3 λεπτά με ταχύτητα 3 χιλιόμετρα την ώρα και με ανηφορική κλίση του διαδρόμου 7%. Ακολούθως, χωρίς να προηγηθεί παύση, συνέχισαν με ταχύτητα 4 χιλιόμετρα την ώρα για 3 λεπτά και κλίση 14%. Τέλος, τα επόμενα 20 λεπτά περπάτησαν με ταχύτητα 5.5 χιλιόμετρα την ώρα και κλίση 14%, όμως σε 4 ενότητες των 5 λεπτών. Μετά την διαδικασία κόπωσης, εκτέλεσαν ξανά τη δοκιμασία ισορροπίας.

Η άσκηση με το κυκλοεργόμετρο περιλάμβανε αρχικά 1 λεπτό άσκησης με απόδοση έργου 0 W για ζέσταμα, στη συνέχεια το έργο αυξήθηκε στα 35 W για 3 λεπτά και τελικά το έργο αυξανόταν προοδευτικά, σύμφωνα με το πρωτόκολλο του διαδρόμου. Η διαδικασία είχε διάρκεια 25 λεπτά και ο ρυθμός ήταν 60 πεταλιές το λεπτό. Τα άτομα μετά την άσκηση επίσης υποβλήθηκαν στο τεστ ισορροπίας.

Τα αποτελέσματα της μέτρησης της ισορροπίας έδειξαν γενικά πως όταν η άσκηση υπερβαίνει το αναερόβιο κατώφλι, έχει μια παροδική αρνητική επίδραση στην ισορροπία. Όταν η πρόσληψη οξυγόνου δεν υπερβαίνει το αναερόβιο κατώφλι, οι επιπτώσεις της άσκησης στην ισορροπία είναι πολύ μικρές έως αμελητέες. Συγκεκριμένα, όσον αφορά την άσκηση στο διάδρομο, η περιοχή λικνίσματος διαμορφώθηκε στο 192% της τιμής πριν την κόπωση και η διαδρομή λικνίσματος στο 132%. Οι τιμές αυτές παρουσιάστηκαν για το δείγμα με κλειστά μάτια και αποτέλεσαν τις μεγαλύτερες αποκλίσεις στην ισορροπία. Το δείγμα που εκτέλεσε την δοκιμασία ισορροπίας με τα μάτια ανοικτά, παρουσίασε μειωμένες τιμές απόκλισης (153% για την περιοχή λικνίσματος, 118% για τη διαδρομή λικνίσματος) σε σχέση με το δείγμα με κλειστά μάτια, κάτι που σημαίνει πως η ισορροπία διαταράχθηκε λιγότερο.

Η άσκηση στο κυκλοεργόμετρο επέφερε αξιοσημείωτες διαφορές μόνο στη διαδρομή λικνίσματος και μόνο στο δείγμα που είχε τα μάτια ανοικτά κατά τη δοκιμασία της

ισορροπίας. Ουσιαστικά η άσκηση στο κυκλοεργόμετρο δεν επηρέασε σε μεγάλο βαθμό την ισορροπία.

Επιπλέον, οι αλλαγές στην περιοχή λικνίσματος συνοδεύτηκαν με μια αύξηση της συχνότητας λικνίσματος. Η συχνότητα λικνίσματος αποτελεί δείκτη σταθερότητας για το κέντρο της μάζας του σώματος μετά την κόπωση και όσο μεγαλύτερη είναι αυτή, τόσο μικρότερη είναι η σταθερότητα.

Ένα αξιόλογο εύρημα σε σχέση με τη συχνότητα λικνίσματος, αποτέλεσε το γεγονός ότι μετά τη διαδικασία κόπωσης, η συχνότητα λικνίσματος αυξήθηκε περισσότερο στο δείγμα που είχε τα μάτια ανοικτά κατά τη δοκιμασία ισορροπίας. Αυτό το παράξενο αποτέλεσμα πιθανότατα προέκυψε ως μια στρατηγική αντίδρασης στις επιπτώσεις της κόπωσης και ουσιαστικά ήταν μια ταχύτατη, συνεχώς μεταβαλλόμενη ακολουθία από κατάλληλες συσπάσεις των μυών των ποδιών και του πέλματος, που ενεργοποιήθηκε από τα οπτικά ερεθίσματα.

Παρόμοια έρευνα με την παραπάνω, έγινε πιο πρόσφατα από τους Burdet & Rougier (2004) και τα αποτελέσματα στα οποία κατέληξαν, δεν διέφεραν σημαντικά από αυτά που προαναφέρθηκαν. Η σημαντικότερη διαφορά μεταξύ των ερευνών, είχε να κάνει με το πρωτόκολλο κόπωσης. Κατά την πιο πρόσφατη έρευνα, τα άτομα που εξετάστηκαν εκτέλεσαν ένα άκρος απαιτητικό πρωτόκολλο (τρίαθλο) που εμπειρείχε κολύμβηση για 3.8 χιλιόμετρα, ποδηλασία για 180 χιλιόμετρα και τέλος τρέξιμο για περίπου 42 χιλιόμετρα. Χαρακτηριστικό στοιχείο για τη δυσκολία εκτέλεσης του πρωτοκόλλου ήταν, ότι μόνο 11 άτομα από τα 28 που συμμετείχαν κατάφεραν να ολοκληρώσουν τη διαδικασία.

Όσον αφορά την ισορροπία, τα άτομα έπρεπε να παραμείνουν όσο πιο ακίνητα μπορούσαν με τα πόδια σε ελαφρά απαγωγή, τα χέρια στο πλάι και τις πτέρνες να απέχουν μεταξύ τους 3 εκατοστά. Η δοκιμασία εκτελέστηκε για 5 φορές, με τα μάτια κλειστά. Οι αποκλίσεις μεταξύ του κέντρου πίεσης των ποδιών και του κέντρου βαρύτητας του σώματος, μετρήθηκαν σε σχέση με τον προσθιοπίσθιο και τον μεσοπλάγιο άξονα με τη βοήθεια μιας πλατφόρμας δύναμης. Τα κύρια αποτελέσματα που βγήκαν ήταν: α) η στατική αστάθεια που παρατηρείται ύστερα από μεγάλη κόπωση, οφείλεται στις μυϊκές διαταραχές και την ανικανότητα του συστήματος να ελέγξει τη θέση του κέντρου βαρύτητας και β) η στατική αστάθεια συμβαίνει σε μεγαλύτερο βαθμό στις κινήσεις του κέντρου βαρύτητας ως προς τον μεσοπλάγιο άξονα. Αυτό πιθανότατα συμβαίνει, γιατί τα άτομα που είναι εντελώς εξαντλημένα θέλουν να ελέγχουν καλύτερα τις μετατοπίσεις του κέντρου της βαρύτητας ως προς τον μεσοπλάγιο άξονα, έτσι ώστε να μπορέσουν να κάνουν ένα βήμα πριν μια επικείμενη πτώση.

Συνοψίζοντας, το κύριο συμπέρασμα που προέκυψε από τις μετρήσεις των ερευνών, ήταν πως η έντονη αερόβια άσκηση επιδρά αρνητικά στην ικανότητα διατήρησης της ισορροπίας από νεαρά, υγιή άτομα. Παρόλα αυτά, η επίδραση αυτή δεν φαίνεται να αποτελεί τροχοπέδη για εκτέλεση δραστηριοτήτων και τα αποτελέσματά της είναι σύντομα.

Η άκρως εξαντλητική αερόβια άσκηση ωστόσο, φαίνεται να έχει έντονα αρνητικά αποτελέσματα στην ικανότητα διατήρησης της ισορροπίας κατά την όρθια στάση. Ακόμα και πολύ γυμνασμένα άτομα κινδυνεύουν άμεσα με πτώση, αφού οι αντισταθμιστικοί μηχανισμοί (όπως η αύξηση της σκληρότητας των μυών) δεν επαρκούν για τον έλεγχο της ισορροπίας.(Burdet & Rugier, 2004) Οι μυς αδυνατούν να ανταπεξέλθουν στο φορτίο που πρέπει να ελέγξουν, και ο συντονισμός των κινήσεων μειώνεται σε μεγάλο βαθμό.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως για πλήρη προστασία από τυχόν τραυματισμούς, το επίπεδο της πρόσληψης οξυγόνου κατά την άσκηση είναι προτιμότερο να μην ξεπερνά το 60% της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου. Με λίγα λόγια, η αερόβια άσκηση παρουσιάζει ένα βαθμό επικινδυνότητας σε σχέση με άλλου είδους ασκήσεις, λόγω της μειωμένης σταθερότητας και δύναμης που επιφέρει.

3.4 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΟΠΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΑΣΚΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ.

Όπως αναφέραμε σε προηγούμενο κεφάλαιο, σύμφωνα με τις περισσότερες έρευνες μιας μέσης έντασης και διάρκειας αερόβια άσκηση, έχει ως αποτέλεσμα μια σχετικά μικρή αρνητική επίδραση στην ικανότητα διατήρησης της ισορροπίας. Ωστόσο, αυτή η επίδραση είναι σημαντική διότι αυξάνεται ο κίνδυνος τραυματισμού των κάτω άκρων. Επίσης είναι μια παροδική επίδραση, αφού διαρκεί μέχρι 20 λεπτά ανάλογα με το είδος και την ένταση της άσκησης.

Στο κεφάλαιο αυτό, θα γίνει προσπάθεια να παρουσιαστούν οι επιπτώσεις της εξαντλητικής αναερόβιας άσκησης στην ικανότητα διατήρησης της ισορροπίας. Οι απόψεις εδώ δε συμπίπτουν πλήρως, όμως η επικρατούσα άποψη γενικά είναι πως η έντονη αναερόβια άσκηση έχει κάποια επίδραση στην ισορροπία.

Σε αυτό το σημείο, πρέπει να ξεκαθαριστεί πως ο αναερόβιος μηχανισμός παραγωγής ενέργειας υπερισχύει σε αγωνιστικές προσπάθειες που διαρκούν έως 1 λεπτό. Σε προσπάθειες που υπερβαίνουν το 1 λεπτό, ο αναερόβιος μηχανισμός σταδιακά αντικαθιστάται από τον αερόβιο. Σε προσπάθειες που διαρκούν πάνω από 30 λεπτά, επικρατεί ο αερόβιος μηχανισμός. (Κλεισούρας, 2004) Γενικά, τα αποτελέσματα των ερευνών που έχουν γίνει σχετικά με το θέμα, εκτός από ελάχιστες εξαιρέσεις, συνάδουν μεταξύ τους.

Σε έρευνα του Vuillermé et al (2001), 10 άνδρες (ηλικίας 22-24 ετών) υποβλήθηκαν σε κόπωση των μυών της γαστροκνημίας. Συγκεκριμένα τους ζητήθηκε να σταθούν στις μύτες των ποδιών τους για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, μέχρι να μην μπορούν δηλαδή να διατηρήσουν τη στάση αυτή. Η κόπωση προήλθε με λίγα λόγια, από την ισομετρική σύσπαση των μυών της γαστροκνημίας.

Για την αξιολόγηση της ισορροπίας, τα άτομα έπρεπε να σταθούν με το προτιμώμενο πόδι όσο πιο ακίνητα μπορούσαν πάνω σε μια πλατφόρμα δύναμης. Η πλατφόρμα μετρούσε τις μετατοπίσεις του κέντρου πίεσης του ποδιού. Ακόμα έπρεπε να κρατήσουν ευθεία το σώμα τους, με τα χέρια να κρέμονται χαλαρά στο πλάι και να ακουμπούν το έσω σφυρό του 'εξεταζόμενου' ποδιού με την άκρη της περιφερικής φάλαγγας του μεγάλου δακτύλου του ουδέτερου ποδιού. Η ισορροπία ως είθισται, μετρήθηκε πριν και αμέσως μετά την κόπωση. Η μετρήσεις έγιναν με τα μάτια ανοιχτά και με τα μάτια κλειστά. Περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τις διαδικασίες που ακολουθήθηκαν δε θα αναφερθούν εδώ, διότι εκτός των άλλων σκοπός της έρευνας ήταν να διερευνηθεί ο ρόλος της όρασης στον στατικό έλεγχο ύστερα από κόπωση των κάτω άκρων.

Σχετικά με την επίδραση της όρασης στην ισορροπία ύστερα από κόπωση των μυών των κάτω άκρων, θα γίνει λόγος σε επόμενο κεφάλαιο.

Ο Vuillerme et al λοιπόν διαπίστωσε πως η ταχύτητα μετατόπισης του κέντρου πίεσης του ποδιού ήταν σαφώς μεγαλύτερη μετά την κόπωση των μυών της γαστροκνημίας. Η στατική ισορροπία μειώθηκε, ως αποτέλεσμα της κόπωσης που προήλθε από αναερόβια εξαντλητική άσκηση.

Παρόμοια έρευνα έγινε και από τον Corbeil et al (2003), όπου επίσης διερευνήθηκαν οι επιδράσεις της κόπωσης των μυών της γαστροκνημίας στην ικανότητα διατήρησης της όρθιας στάσης. Οι κύριες διαφορές ανάμεσα στις δυο έρευνες ήταν, πως στην πιο πρόσφατη η ισορροπία αξιολογήθηκε στην διποδική όρθια στάση και πως η κόπωση προκλήθηκε με επαναλαμβανόμενες πελματιαίες κάμπεις της ποδοκνημικής των εθελοντών. Στην έρευνα αυτή, συμμετείχαν 11 υγιείς άνδρες ηλικίας 27-34 ετών από τους οποίους ζητήθηκε να σηκώνουν ένα φορτίο με πελματιαίες κάμπεις της ποδοκνημικής. Συγκεκριμένα, τα άτομα κάθονταν σε μια συσκευή με καθορισμένη γωνία της ποδοκνημικής. Το φορτίο εφαρμόστηκε στην περιφερική άκρη του μηρού των εθελοντών και αντιστοιχούσε στο 75% του μέγιστου φορτίου που μπορούσαν να σηκώσουν για μία φορά. Αυτό το φορτίο ήταν μεταβλητό, δηλαδή μειωνόταν όσο αυξάνονταν οι επαναλήψεις, με τεχνική ανεστραμμένης πυραμίδας. Τα άτομα έπρεπε να εκτελέσουν 100 επαναλήψεις.

Η ισορροπία μετρήθηκε με τα άτομα να στέκονται με τα πόδια ενωμένα και τα χέρια ελεύθερα στο πλάι, πάνω σε μια πλατφόρμα δύναμης. Η διαδικασία αυτή έγινε για 10 φορές με τα μάτια ανοιχτά και προσηλωμένα σε ένα στόχο σε απόσταση 4 μέτρων και 10 φορές με τα μάτια κλειστά. Η κάθε επανάληψη διαρκούσε 60 δευτερόλεπτα και ανάμεσα στις επαναλήψεις γίνονταν παύσεις διάρκειας 30 δευτερολέπτων. Ανάμεσα στην εκτέλεση της διαδικασίας με διαφορετική οπτική κατάσταση, προηγήθηκε διάλειμμα 5 λεπτών. Η μέτρηση της κατάστασης ισορροπίας επαναλήφθηκε και μετά από την κόπωση.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων έδειξαν πως η κόπωση δεν επηρέασε την ταλάντωση του κέντρου της πίεσης των ποδιών, όμως είχε κάποια επίδραση στην ταχύτητα του λικνίσματος. Παρατηρήθηκε αύξηση του εύρους και της ταχύτητας του ορθοστατικού λικνίσματος, τόσο στις κινήσεις στον προσθιοπίσθιο άξονα, όσο και για τις κινήσεις που γίνονται μεσοπλάγια. Αυτό σημαίνει πως η κόπωση, που προήλθε από αναερόβια κατά κύριο λόγο άσκηση, επέφερε αλλαγές στον τρόπο ελέγχου της ισορροπίας. Οι αλλαγές αυτές υποδηλώνουν πως η κόπωση κατά κάποιον τρόπο δυσκολεύει τη λειτουργία του συστήματος ελέγχου της όρθιας στάσης, αυξάνοντας τη συχνότητα των δράσεων που χρειάζονται για τη σωστή ρύθμισή της.

Μια ακόμα έρευνα που θα μπορούσε να δείξει κάποια στοιχεία πάνω στο θέμα του κεφαλαίου αυτού, έγινε και από τον Ledin et al (2004). Αυτή η έρευνα εμπειρείχε περίπλοκα στοιχεία μεθοδολογίας, τα οποία θα περιγραφούν όσο το δυνατόν πιο συνοπτικά και κατανοητά. Στην έρευνα πήραν μέρος 11 υγιή άτομα (6 γυναίκες, 5 άνδρες), ηλικίας 29-35 ετών. Από τα άτομα ζητήθηκε να μείνουν ακίνητα πάνω σε μια πλατφόρμα δύναμης, με τα χέρια σταυρωμένα στο στήθος και τις πτέρνες να απέχουν μεταξύ τους 3 εκατοστά. Επίσης, έπρεπε να σχηματίζεται γωνία 30 μοιρών ανάμεσα στις πτέρνες και τα πέλματα να ανοίγουν μπροστά. Η διαδικασία αυτή έγινε με τα μάτια ανοιχτά, κοιτάζοντας ένα σημείο 1.5 μέτρο μπροστά και με τα μάτια κλειστά.

Η κόπωση προκλήθηκε με επαναλαμβανόμενες άρσεις του σώματος με πελματιαίες κάμπεις τις ποδοκνημικής, μέχρι τα άτομα να μην μπορούν να κάνουν ούτε μια επανάληψη. Για να εξακριβωθεί πως έχει επιτευχθεί πλήρης εξάντληση, ο εξεταστής προσπαθούσε να εμψυχώσει τα άτομα έτσι ώστε να αγγίξουν τα όριά τους.

Οι αλλαγές στα επιμέρους στοιχεία της ισορροπίας, μετρήθηκαν σε συνδυασμό και με διαταραχές που εφαρμόστηκαν στους μυς της γαστροκνημίας. Συγκεκριμένα, οι διαταραχές προκλήθηκαν με τη χρήση συσκευών παραγωγής δονήσεων, οι οποίες εφαρμόστηκαν στα πόδια των εθελοντών. Αυτές οι συσκευές προκαλούσαν διαταραχές (δονήσεις) κυρίως στην προσθιοπίσθια κατεύθυνση του στατικού λικνίσματος. Ακόμα, μετρήθηκαν και οι επιπτώσεις που θα είχε στις παραμέτρους της ισορροπίας και η συγκράτηση φορτίου ίσου με το 20% του σωματικού βάρους.

Συνοπτικά, τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν πως κατά την στάση χωρίς διαταραχές, το στατικό λίκνισμα στον προσθιοπίσθιο άξονα αυξήθηκε ύστερα από συγκράτηση φορτίου αλλά και ύστερα από την κόπωση των μυών. Το ίδιο συνέβη και για το λίκνισμα στις ετερόπλευρες κινήσεις. Όταν εφαρμόζονταν δονήσεις στους μύες της γαστροκνημίας, τα αποτελέσματα παρουσιάζονταν διαφορετικά. Οι αποκλίσεις του στατικού λικνίσματος αυξήθηκαν περισσότερο κατά τη συγκράτηση φορτίου, παρά μετά από την μυική κόπωση και στους δυο άξονες κίνησης του στατικού λικνίσματος. Αυτό το φαινόμενο πολύ πιθανόν οφείλεται στο γεγονός πως η κόπωση μειώνει την ευαισθησία των μυών στις διαταραχές και την ικανότητά τους να παράγουν αντιδράσεις στις διαταραχές της ισορροπίας. Επίσης, οφείλεται στο ότι το επιπλέον βάρος προκαλεί μείωση στη δύναμη και έτσι αυξάνει το μεταβολικό κόστος κατά τη διατήρηση της ισορροπίας, επιταχύνοντας έτσι την εμφάνιση κόπωσης.

Τα αποτελέσματα των παραπάνω αλλά και πολλών άλλων σχετικών ερευνών, διαφέρουν σημαντικά από εκείνα των Adlerton & Moritz (1996). Οι ερευνητές αυτοί, προκάλεσαν

κόπωση των μυών της γαστροκνημίας σε άτομα ζητώντας τους να κάνουν άρσεις του σώματος, με πελματιαίες κάμψεις της ποδοκνημικής του ενός ποδιού. Τα άτομα που συμμετείχαν στην έρευνα, έκαναν τις άρσεις με ρυθμό 80 το λεπτό μέχρι να μην μπορούν να συνεχίσουν.

Η ισορροπία μετρήθηκε με τη βοήθεια πλατφόρμας δύναμης, με τα άτομα να στέκονται όσο το δυνατόν πιο ακίνητα με το πόδι που επρόκειτο να εξεταστεί. Το άλλο πόδι, έπρεπε να βρίσκεται σε κάμψη ισχίου 90 μοιρών και το γόνατο χαλαρό. Τα χέρια χαλαρά στο πλάι. Σε απόσταση 65 εκατοστών, στον απέναντι τοίχο, υπήρχε στόχος τον οποίο έπρεπε να κοιτούν.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων μετά την κόπωση έδειξαν, πως η κόπωση δεν είχε ως επίπτωση την αύξηση του στατικού λικνίσματος. Αυτή η παρατήρηση δεν επιβεβαιώνεται από πιο σύγχρονες έρευνες. Η εξήγηση που δόθηκε ήταν πως ενεργοποιήθηκαν αντισταθμιστικοί μηχανισμοί, όπως η αυξημένη δραστηριότητα των αντανακλαστικών της μυικής ατράκτου και η αύξηση της σκληρότητας των μυών λόγω της κόπωσης. Για τους αντισταθμιστικούς μηχανισμούς που επιστρατεύονται κατά την κόπωση, έχει γίνει αναφορά σε προηγούμενη ενότητα.

Ωστόσο, ένα σημαντικό εύρημα αυτής της έρευνας ήταν πως, η ταχύτητα μετατόπισης του κέντρου πίεσης του ποδιού που δεν είχε υποβληθεί σε κόπωση, μειωνόταν με την πάροδο του χρόνου. Αυτό πρακτικά σημαίνει, πως μια διαδικασία εκμάθησης είχε αρχίσει για το ουδέτερο άκρο. Κάτι ανάλογο δεν παρατηρήθηκε και για το εξεταζόμενο μετά από κόπωση σκέλος, πιθανότατα λόγω της παρεμβολής των αντισταθμιστικών μηχανισμών στην διαδικασία εκμάθησης.

Συνοψίζοντας, μέσα από πλήθος ερευνών (πολλές από τις οποίες δεν έχουν αναφερθεί εδώ, λόγω των προεκτάσεών τους σε παραμέτρους μη συναφείς με το θέμα), έχει διαπιστωθεί πως η κόπωση που συμβαίνει με αναερόβια κατά κύριο λόγο άσκηση, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ισορροπίας (όπως αυτή εκφράζεται μέσω της ταχύτητας του στατικού λικνίσματος, τις κινήσεις του κέντρου βάρους και του κέντρου πίεσης των ποδιών.)

3.5 ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΤΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΜΥΩΝ ΣΤΗΝ ΚΟΠΩΣΗ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΠΟΛΥΑΡΘΡΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ.

Το νευρομυϊκό σύστημα, χαρακτηρίζεται από την ικανότητά του να προσαρμόζεται σε διαφορετικές καταστάσεις. Η κόπωση είναι μια από αυτές τις καταστάσεις, όμως και η ίδια ως φαινόμενο αποτελεί μια προσαρμογή.

Η επαναδιοργάνωση της κίνησης μετά από κόπωση αποτελεί μια σημαντική προτεραιότητα για το νευρομυϊκό σύστημα, αφού κατά την κόπωση η ακρίβεια των κινήσεων μειώνεται. (Forestier & Nougier, 1998)

Το νευρομυϊκό σύστημα για να αντισταθεί στις επιδράσεις της κόπωσης, επιστρατεύει στρατηγικές αντιστάθμισης. Αυτές οι στρατηγικές περιγράφηκαν από τον Bonnard et al (1994) και αναφέρονταν στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μυών που δρουν σε μια άρθρωση (ΠΑΚ), είτε σε μυς που αλληλεπιδρούν σε πολυαρθρικό επίπεδο. Ο Bonnard παρατήρησε, πως πριν την επαφή του ποδιού στο έδαφος κατά την προσγείωση από άλμα (μετά από επαναλαμβανόμενα άλματα που προκαλούσαν κόπωση), συνέβαινε πρόωμη δραστηριοποίηση κάποιων μυών της ποδοκνημικής για να αυξηθεί το μυοτατικό αντανακλαστικό. Αυτή η δραστηριοποίηση γινόταν επίσης και για να αντισταθμιστεί η μείωση της σκληρότητας των μυών, που συνέβαινε ως αποτέλεσμα της κόπωσης. Όσον αφορά τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ μυών που δρουν σε πολυαρθρικό επίπεδο, ο Bonnard παρατήρησε πως οι μεγαλύτερες αντισταθμιστικές αντιδράσεις στις επιπτώσεις της κόπωσης, επιτυγχάνονταν από τους εκτείνοντες μύες του γόνατος.

Παρόμοιες παρατηρήσεις με αυτές που αναφέρθηκαν παραπάνω, έγιναν και για τα άνω άκρα. Οι Forestier & Nougier (1998) διαπίστωσαν πως κατά την κόπωση σε παίκτες μπίιζμπολ που έκαναν ρίψεις της μπάλας, το άνω άκρο συμπεριφέρθηκε διαφορετικά σε σχέση με πριν την κόπωση. Πριν την κόπωση, οι μέγιστες ταχύτητες των κινήσεων και ο χρόνος που χρειαζόταν για να επιτευχθούν αυτές, ήταν μικρότερες στις κεντρικότερες αρθρώσεις του χεριού (ώμος, αγκώνας) και μεγαλύτερες στις περιφερικότερες (καρπός, άκρα χείρα). Αυτό έπαψε να ισχύει μετά την κόπωση και οι ταχύτητες μεταξύ κεντρικών και περιφερικών αρθρώσεων, έτειναν να συμπίπτουν. Το χέρι συμπεριφέρθηκε ως ένα άκαμπτο σύνολο μετά την κόπωση και η ακρίβεια των ρίψεων μειώθηκε.

Τα αποτελέσματα αυτά ταιριάζουν με αυτά της έρευνας του Bonnard et al (1998) σε μεγάλο βαθμό και το συμπέρασμα που μπορεί να ειπωθεί είναι, πως η ακαμψία που

συμβαίνει ύστερα από κόπωση φαίνεται πως απλοποιεί την εκτέλεση και τον έλεγχο της κίνησης τόσο σε μονοαρθρικό, όσο και σε πολυαρθρικό επίπεδο.

Ακόμα, σε σχέση με την ικανότητα διατήρησης της ισορροπίας (που είναι μια ικανότητα ελέγχου της θέσης σε πολυαρθρικό επίπεδο), παρατηρήθηκε πως μετά από κόπωση των μυών της γαστροκνημίας το στατικό λίκνισμα δεν μεταβλήθηκε. (Adlerton & Moritz, 1996) Αυτή η παρατήρηση σύμφωνα με τους παραπάνω ερευνητές, οδηγεί στο συμπέρασμα πως μετά από κόπωση ενεργοποιούνται αντισταθμιστικοί μηχανισμοί, όπως τα αντανακλαστικά και η αύξηση της σκληρότητας των μυών, για να διατηρηθεί η ισορροπία.

Όσον αφορά την διαδικασία που ακολουθήθηκε, η κόπωση στην παραπάνω έρευνα προκλήθηκε με επαναλαμβανόμενες άρσεις του σώματος, με πελματιαίες κάμψεις της ποδοκνημικής του δεξιού ποδιού. Η επαναφορά του σώματος στην αρχική θέση γινόταν παθητικά (τα άτομα άφηναν την πτέρνα να 'πέσει' στο έδαφος) έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος της πλειομετρικής σύσπασης. Ένα πλαστικό με πολύ μικρή πυκνότητα τοποθετήθηκε κάτω από την πτέρνα, ώστε να μην προκαλείται πόνος κατά το 'χτύπημα' της πτέρνας.

Η ισορροπία των ποδιών κατά τη μονοποδική στήριξη μετρήθηκε ξεχωριστά με τη χρήση μιας πλατφόρμας δύναμης, πριν και μετά την κόπωση. Ακόμα, τα άτομα μετά την κόπωση περιέγραψαν την ένταση της καταπόνησης με την κλίμακα του Borg (RPE), η οποία έχει περιγραφεί σε προηγούμενη ενότητα, και το επίπεδο του αντιλαμβανόμενου πόνου επίσης κατηγοριοποιήθηκε με τη σχετική δεκαβάθμια κλίμακα του Borg.

3.6 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΟΠΩΣΗΣ ΣΤΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ ΤΟΥ ΟΡΘΟΣΤΑΤΙΚΟΥ ΛΙΚΝΙΣΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΜΥΙΚΕΣ ΟΜΑΔΕΣ

Η συσχέτιση της κόπωσης με την ισορροπία είναι ένα περίπλοκο ζήτημα, ιδιαίτερα αν κάποιος λάβει υπόψη πως κάθε μυική ομάδα παίζει κάποιο ξεχωριστό ρόλο στην όλη διαδικασία. Αρχικά θα πρέπει να αναφερθεί, πως όταν η ισορροπία διαταραχθεί κατά την ήρεμη όρθια στάση, το σώμα σαν σύνολο ακολουθεί κάποιες στρατηγικές ‘απλουστευσης’ της ισορρόπησης. Αυτές οι στρατηγικές αφορούν αντιδράσεις σε επιμέρους αρθρώσεις και έχουν μελετηθεί εκτενώς.

Έχουν γίνει δυο υποθέσεις-μοντέλα σχετικά με τον τρόπο που συμπεριφέρεται το σώμα κατά τον έλεγχο της όρθιας στάσης. Η μια υπόθεση θέλει το σώμα να συμπεριφέρεται ως ένα ‘ανεστραμμένο πέδιλο’, δηλαδή ο έλεγχος της στάσης να πραγματοποιείται αποκλειστικά από τις κινήσεις της ποδοκνημικής άρθρωσης, με τις άλλες αρθρώσεις (γόνατο, ισχίο, οσφυϊκή μοίρα ΣΣ) να παραμένουν άκαμπτες. (Gage, Winter, Frank, & Adkin, 2004)

Η άλλη άποψη σχετικά με τη συμπεριφορά του σώματος είναι αυτή του ‘διπλού ανεστραμμένου πέδιλου’, όπου ο έλεγχος της στάσης γίνεται κυρίως από τους καμπτήρες και τους εκτεινόντες του ισχίου. Το σώμα, κατά το μοντέλο αυτό, αποτελείται από το ανώτερο τμήμα που περιλαμβάνει το κεφάλι, τα χέρια και τον κορμό και από το κατώτερο που περιλαμβάνει το υπόλοιπο σώμα. Ο διαχωρισμός των δυο αυτών τμημάτων γίνεται στην άρθρωση του ισχίου. (Winter, 2005)

Ο έλεγχος της ήρεμης όρθιας στάσης δεν επιτελείται μόνο βάσει μιας στρατηγικής και σημαντικό ρόλο παίζει το ποιοι μυς έχουν εξαντληθεί. Ο τρόπος που αλληλεπιδρούν οι δυο στρατηγικές δεν είναι σαφής, γενικά όμως φαίνεται πως ο τρόπος με τον οποίο γίνεται ο έλεγχος της ισορροπίας αλλάζει, ανάλογα με τις δυνάμεις που πρέπει να αντισταθμιστούν κάθε φορά.

Οι κυριότεροι μυς για τον έλεγχο της όρθιας στάσης είναι οι μυς της γαστροκνημίας, αφού εμπλέκονται σε πολύ μεγάλο βαθμό στην όλη διαδικασία. (Panzer et al, 1995) Οι πελματιαίοι καμπτήρες της ποδοκνημικής αποτελούν μια από τις ομάδες μυών, που φαίνεται πως επηρεάζουν το στατικό λίκνισμα. Σε έρευνα του Corbeil et al (2003), η κόπωση αυτών των μυών με ισοκινητικό τρόπο είχε ως αποτέλεσμα μια αύξηση της ταχύτητας του στατικού λικνίσματος και στις δυο κατευθύνσεις του (προσθιοπίσθια, ετερόπλευρες) κατά τη διποδική όρθια στάση. Η αύξηση αυτή συνοδεύτηκε και από αύξηση της συχνότητας του λικνίσματος. Παρόλα αυτά, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφοροποιήσεις στις μετατοπίσεις του

κέντρου πίεσης των ποδιών, κάτι που σημαίνει πως η επίδραση της κόπωσης περιορίστηκε στην κινητική απόδοση και δεν επηρέασε το αισθητικό σύστημα. Με λίγα λόγια διαπιστώθηκε, πως η κόπωση των πελματιαίων καμπήρων κατά τη διποδική όρθια στάση δεν στάθηκε εμπόδιο στη διατήρηση της σταθερότητας του κέντρου πίεσης, η οποία υποστηρίχθηκε από το αισθητικοκινητικό σύστημα. Αυτό οδηγεί στην υπόθεση πως άλλοι μύς παίζουν μεγαλύτερο ρόλο στη σταθερότητα του κέντρου πίεσης.

Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής συμφωνούν με την στρατηγική της σκληρότητας των μυών (αύξηση της δραστηριοποίησης των ανταγωνιστών μυών) για την αποτροπή των αποκλίσεων και φαίνεται να επαληθεύονται από έρευνα της Peterka (2000), όπου χρησιμοποιήθηκε ένα 'ανεστραμμένο μοντέλο'. Η αύξηση της σκληρότητας ενός ανταγωνιστή επέφερε παρόμοια αποτελέσματα στο στατικό λίκνισμα με αυτά της έρευνας του Corbeil.

Γενικά ισχύει πως κατά τη διποδική όρθια στάση, οι πελματιαίοι και ραχιαίοι καμπήρες βοηθούν ιδιαίτερα στη μείωση των προσθιοπίσθιων κινήσεων του κέντρου πίεσης, ενώ οι απαγωγοί και προσαγωγοί του ισχίου ελαχιστοποιούν τις ετερόπλευρες κινήσεις.

Όσον αφορά την ισορροπία κατά τη μονοποδική όρθια στάση, ο Lundin et al (1993) βρήκε πως η κόπωση των πελματιαίων και ραχιαίων καμπήρων της ποδοκνημικής προκάλεσε σημαντική αύξηση του στατικού λικνίσματος στις ετερόπλευρες κινήσεις του και μια μικρή αύξηση στις προσθιοπίσθιες. Οι Adlerton & Moritz (1996) ωστόσο, δεν βρήκαν διαφορές στο στατικό λίκνισμα κατά τη μονοποδική όρθια στάση μετά από κόπωση των μυών της γαστροκνημίας. Ωστόσο, σε μια πιο πρόσφατη έρευνα των Yaggie & McGregor (2002), όπου οι πελματιαίοι και ραχιαίοι καμπήρες καθώς και οι ανασπαστές του έσω και έξω χείλους υποβλήθηκαν σε κόπωση, παρατηρήθηκαν παρόμοια αποτελέσματα με αυτή του Lundin et al (1993) στις παραμέτρους του στατικού λικνίσματος.



Εικόνα 3.2 : Μέτρηση της ισορροπίας με πλατφόρμα δύναμης

(<http://www.biomedcentral.com/1471-2474/4/14>)

Στις παραπάνω αναφορές δεν έγινε λόγος για τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των τριών κυριότερων μυών της γαστροκνημίας ύστερα από κόπωση, για την επαρκή διατήρηση της

ισορροπίας. Αυτές οι αλληλεπιδράσεις περιγράφονται σε μια πρόσφατη έρευνα της Suponitsky et al (2007).

Στην έρευνα αυτή, προκλήθηκε κόπωση στον πρόσθιο κνημιαίο και στους περνιαίους μυς των εθελοντών, με εφαρμογή φορτίου στο περιφερικό άκρο της ραχιαίας επιφάνειας του ταρσού. Τα άτομα έπρεπε να διατηρήσουν την ποδοκνημική άρθρωση σταθερή, με ισομετρική σύσπαση των μυών αυτών, για περίπου 4 λεπτά. Πριν και μετά τη διαδικασία, εκτέλεσαν δοκιμασία ισορροπίας όπου έπρεπε να σταθούν στο ένα πόδι όσο το δυνατόν περισσότερο χωρίς να χάσουν την ισορροπία τους, κοιτάζοντας έναν στόχο 3 μέτρα μακριά στο ύψος των ματιών τους. Η δοκιμασία είχε τη μορφή αυτή, ώστε να υπάρχει αρκετός χρόνος για συλλογή στοιχείων σχετικά με τις παραμέτρους του λικνίσματος και τη μυϊκή δραστηριότητα.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, ο γαστροκνήμιος παίζει έναν κρίσιμο ρόλο στη διατήρηση της ισορροπίας, αφού η συνεργασία του με τους περνιαίους και τον πρόσθιο κνημιαίο καθορίζει τις παραμέτρους του λικνίσματος. Χαρακτηριστικό εύρημα για την απόδειξη αυτού του ισχυρισμού, ήταν πως ύστερα από την κόπωση των περνιαίων και του πρόσθιου κνημιαίου, παρατηρήθηκε μειωμένη δραστηριοποίηση του αντίστοιχου γαστροκνημίου. Αυτή η μείωση της δραστηριοποίησης του γαστροκνημίου, φαίνεται να αποτρέπει τη μυϊκή ανισορροπία που συμβαίνει λόγω της κόπωσης και να προστατεύει έτσι τη λειτουργικότητα της ποδοκνημικής άρθρωσης.

Όσον αφορά τις παραμέτρους του στατικού λικνίσματος, η κόπωση των τριών αυτών μυϊκών ομάδων, είχε ως αποτέλεσμα τη μετατόπιση του κέντρου πίεσης προσθιοπίσθια και ετερόπλευρα. Οι μετατοπίσεις του κέντρου πίεσης στον προσθιοπίσθιο άξονα, ήταν αποτέλεσμα της συνεργικής δράσης των περνιαίων με τον γαστροκνήμιο και του πρόσθιου περνιαίου με τον γαστροκνήμιο. Η συνεργική δράση του πρόσθιου κνημιαίου με τον γαστροκνήμιο, ήταν υπεύθυνη και για τις μετατοπίσεις στον ετερόπλευρο άξονα.

Ένα άλλο εύρημα της έρευνας ήταν πως οι δυνάμεις αντίδρασης σχετίζονται περισσότερο με τη μυϊκή δραστηριοποίηση από το κέντρο πίεσης, γιατί το κέντρο πίεσης καθορίζεται και από άλλα στοιχεία του στατικού ελέγχου και όχι μόνο από τους μυς της γαστροκνημίας. Επίσης, τα στοιχεία των δυνάμεων αντίδρασης στον ετερόπλευρο άξονα σχετίζονταν περισσότερο με τη δραστηριοποίηση των μυών, σε σχέση με αυτά του προσθιοπίσθιου άξονα. Αυτό οφείλεται στο ότι το στατικό λίκνισμα ήταν μεγαλύτερο στον ετερόπλευρο άξονα, κάτι που έχει διαπιστωθεί και σε προηγούμενες έρευνες. (Lundin et al, 1993; Davis & Grabiner, 1996)

Συνοψίζοντας, ένα γενικό συμπέρασμα που μπορεί να βγει από αυτή την έρευνα, είναι πως η κόπωση αυξάνει την αλληλεπίδραση ανάμεσα στη μυϊκή δραστηριοποίηση των μεγαλύτερων μυών της γαστροκνημίας και τις παραμέτρους του στατικού λικνίσματος.

Η επίδραση της κόπωσης των απαγωγών και προσαγωγών του ισχίου, καθώς και των ανασπαστών του έσω και έξω χείλους της ποδοκνημικής στις παραμέτρους της ισορροπίας, διερευνήθηκε από τους Gribble & Hertel (2004). Επίσης έγινε προσπάθεια προσδιορισμού της συνεισφοράς κάθε άρθρωσης ξεχωριστά (ισχίο, ποδοκνημική) στη διατήρηση του στατικού ελέγχου. Η κόπωση των μυών προκλήθηκε με τη χρήση ισοκινητικού δυναμόμετρου και επαναλαμβανόμενες μειομετρικές συσπάσεις. Τα αποτελέσματα της έρευνάς τους έδειξαν, πως η κόπωση των μυών και των δυο αρθρώσεων προκάλεσε μειονεκτήματα στην ισορροπία. Ωστόσο, η κόπωση των απαγωγών και προσαγωγών του ισχίου φαίνεται να προκάλεσε μεγαλύτερη αύξηση της ταχύτητας μετατόπισης του κέντρου πίεσης στις ετερόπλευρες κινήσεις, σε σχέση με αυτή των ανασπαστών έσω και έξω χείλους. Ακόμα, σε προηγούμενη έρευνα των ίδιων ερευνητών (όπου είχαν προκαλέσει κόπωση με την ίδια μέθοδο στους καμπτήρες και εκτεινόντες ισχίου, γόνατος και ποδοκνημικής), είχε διαπιστωθεί πως η κόπωση των καμπτήρων και εκτεινόντων του ισχίου και του γόνατος είχε μεγαλύτερες επιπτώσεις στην ταχύτητα του κέντρου πίεσης από την κόπωση των πελματιαίων και ραχιαίων καμπτήρων.

Οι παρατηρήσεις αυτές συνάδουν με τα ευρήματα έρευνας των Miller & Bird (1976), όπου είχε βρεθεί πως η κόπωση των μυών του ισχίου και του γόνατος επιφέρει μεγαλύτερα μειονεκτήματα στην ισορροπία σε σχέση με την κόπωση των μυών της ποδοκνημικής.

Ένα γενικό συμπέρασμα που μπορεί να βγει από αυτές τις έρευνες, είναι πως η κόπωση κεντρικότερων μυϊκών ομάδων, επηρεάζει σε μεγαλύτερο βαθμό την ισορροπία σε σχέση με την κόπωση περιφερικότερων. Αυτό πιθανότατα συμβαίνει επειδή οι μεγαλύτεροι μυς (που είναι οι μυς του ισχίου), είναι σε θέση να κάνουν πιο δυνατές συστολές ώστε να ελέγχουν καλύτερα τις κινήσεις. Το συμπέρασμα αυτό ενισχύεται και από έρευνα του Salavati et al (2007), όπου προκλήθηκε κόπωση στους μυς του ισχίου και της ποδοκνημικής με τη χρήση ισοκινητικού δυναμόμετρου. (μειομετρικές συσπάσεις) Η κόπωση προκλήθηκε ξεχωριστά στους μυς που ελέγχουν τις κινήσεις στο οβελιαίο επίπεδο και σε αυτούς που είναι υπεύθυνοι για τις κινήσεις στο μετωπιαίο. Η σταθερότητα μετρήθηκε με το Biodex Stability System. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, η κόπωση των κεντρικότερων μυών (ισχίο) έχει μεγαλύτερες επιδράσεις στην σταθερότητα (ισορροπία) από ότι αυτή των περιφερικότερων.

Ακόμα, παρατηρήθηκε πως η κόπωση των ανασπαστών έσω και έξω χείλους της ποδοκνημικής επέφερε αρνητικές επιπτώσεις στις κινήσεις του στατικού λικνίσματος και

στους δυο άξονες. Η διαπίστωση αυτή έρχεται σε αντίθεση με τα αποτελέσματα της έρευνας του Gribble (2004), όπου η κόπωση αυτών των μυών δεν επέφερε σημαντικές αλλαγές στο στατικό λίκνισμα. Μια άλλη παρατήρηση ήταν, πως η κόπωση των μυών που εκτελούν τις κινήσεις στο μετωπιαίο επίπεδο προκαλεί αστάθεια κυρίως στις κινήσεις του στατικού λικνίσματος στο μετωπιαίο επίπεδο.

Ένα αρκετά ενδιαφέρον στοιχείο σχετικά με την χρήση των στρατηγικών έλεγχου της ισορρόπησης, είναι πως σε νεαρά άτομα φαίνεται να επικρατεί η στρατηγική της ποδοκνημικής και δίνεται έμφαση στην ανατροφοδότηση και τις αντισταθμιστικές συσπάσεις για τον έλεγχο της μονοποδικής στάσης. (Nashner, 1979) Αυτή η άποψη ωστόσο δεν αποτελεί κανόνα, διότι δεν επαληθεύτηκε στην έρευνα του Salavati et al (2007). Τα άτομα που είχαν λάβει μέρος, αν και νεαρά σε ηλικία, βασίστηκαν περισσότερο στην κεντρικότερη άρθρωση (ισχίο) για τον έλεγχο της όρθιας στάσης. (αφού η κόπωση των μυών του ισχίου προκάλεσε πρόβλημα στον στατικό έλεγχο.)

Συνοψίζοντας, η επιλογή της κατάλληλης στρατηγικής διατήρησης της ισορροπίας, καθώς και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των στρατηγικών, είναι αρκετά πολύπλοκα ζητήματα. Γενικά, κατά τη διποδική όρθια στάση επικρατεί ο έλεγχος στο προσθιοπίσθιο επίπεδο, ενώ κατά τη μονοποδική επικρατεί ο έλεγχος στο μετωπιαίο. (Salavati, 2007) Στη διποδική όρθια στάση, η ισορροπία κατά κύριο λόγο βασίζεται στις κινήσεις της ποδοκνημικής (στρατηγική ποδοκνημικής), ενώ κατά τη μονοποδική όρθια στάση επικρατεί η άρθρωση του ισχίου. (στρατηγική ισχίου) (Winter et al, 1996)

Αυτές οι παρατηρήσεις εξηγούνται πολύ εύκολα αν κάποιος λάβει υπόψη πως η μονοποδική στάση είναι πολύ πιο απαιτητική από τη διποδική, λόγω της μειωμένης επιφάνειας στήριξης. Ο έλεγχος της μονοποδικής στάσης απαιτεί πολύπλοκες κινητικές δραστηριοποιήσεις και βασίζεται σε ‘διορθωτικές’ κινήσεις των αρθρώσεων της ποδοκνημικής και του ισχίου. (Tropp & Odenrick, 1998; Gatev et al, 1999; Mizrahi et al, 2002) Η μικρή επιφάνεια στήριξης κατά τη μονοποδική στάση σε συνδυασμό με την δημιουργία κόπωσης, είναι δυο παράμετροι που δοκιμάζουν σε μεγάλο βαθμό την ικανότητα διατήρησης της ισορροπίας. Παρόλα αυτά, οι μυς της ποδοκνημικής φαίνεται να παίζουν καθοριστικό ρόλο στον έλεγχο της μονοποδικής στάσης σε σταθερές επιφάνειες έστω και κατά την παρουσία κόπωσης. (Riemann et al, 2003)

Η χρήση της στρατηγικής ισχίου γίνεται κατά την στάση σε ασταθείς ή μετακινούμενες επιφάνειες, ιδιαίτερα κατά την παρουσία κόπωσης. Με λίγα λόγια, η στρατηγική ισχίου ενεργοποιείται σε πιο απαιτητικές καταστάσεις. (Shumway & Cook, 1990; Riemann et al, 2003; Salavati et al, 2007)

3.7 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΟΡΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ ΥΣΤΕΡΑ ΑΠΟ ΚΟΠΩΣΗ

Όπως έχει αναφερθεί, ο έλεγχος της ισορροπίας επιτυγχάνεται μέσω της αισθητηριακής πληροφόρησης και την κατάλληλη μυϊκή ενεργοποίηση.

Η όραση θεωρείται ένα από τα επικρατέστερα αισθητηριακά συστήματα για τον έλεγχο της ισορροπίας και ο ρόλος της έχει γίνει κατά καιρούς αντικείμενο πολλών ερευνών. (Edwards, 1946; Lee & Lishman, 1975; Dichgans et al, 1976; Paulus et al, 1984) Ο ρόλος της όρασης στη διατήρηση της ισορροπίας αυξάνεται σε μεγάλο βαθμό όταν εμφανίζεται κόπωση σε μια μυϊκή ομάδα ή στο σώμα συνολικά. Αυτός ο ισχυρισμός αποδεικνύεται μέσα από ένα πλήθος ερευνών.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η έρευνα του Vuillermé et al (2001), όπου συμμετείχαν 10 άνδρες, ηλικίας 22-24 ετών. Στα άτομα αυτά προκλήθηκε κόπωση των μυών της γαστροκνημίας, με το να παραμείνουν στις μύτες των ποδιών τους για όσο το δυνατόν περισσότερο. Οι παράμετροι της ισορροπίας μετρήθηκαν με τη χρήση μιας πλατφόρμας δύναμης, πριν και μετά την κόπωση. Τα άτομα έπρεπε να σταθούν με το ένα πόδι πάνω στην πλατφόρμα και να μείνουν όσο πιο ακίνητα μπορούσαν. Η διαδικασία έγινε με τα μάτια κλειστά και με τα μάτια ανοιχτά, με τις δυο καταστάσεις να εναλλάσσονται έτσι ώστε να μπορούν να προσδιοριστούν οι διαφοροποιήσεις στο στατικό λίκνισμα ανάμεσα στις δύο καταστάσεις.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων έδειξαν πως όταν επιτρεπόταν η χρήση της όρασης στα άτομα ύστερα από κόπωση, οι επιπτώσεις της κόπωσης στις παραμέτρους του στατικού λίκνισματος αντισταθμίζονταν σε μεγάλο βαθμό. Η παρατήρηση αυτή πρακτικά σημαίνει πως σε καταστάσεις κόπωσης, αυξάνεται η αναγκαιότητα της χρήσης της όρασης για το σωστό έλεγχο της στάσης. Αυτό συμβαίνει γιατί η κόπωση μειώνει την ιδιοδεκτικότητα, (Taylor et al, 2000; Hiemstra et al, 2001; Gribble & Hertel, 2004) με αποτέλεσμα η ισορροπία να βασίζεται σε ανακριβή και μειωμένα ιδιοδεκτικά ερεθίσματα κατά την απουσία της όρασης. Όταν η όραση αποκαθίσταται, ο στατικός έλεγχος βελτιώνεται ανεξάρτητα από το επίπεδο της κόπωσης. (Vuillermé et al, 2001)

Παρόμοιες επιδράσεις της όρασης παρατηρήθηκαν και σε έρευνα του Ledin et al (2004), παρόλο που η μεθοδολογία της έρευνας ήταν διαφορετική σε σχέση με αυτή του Vuillermé. Συγκεκριμένα, η κόπωση των μυών της γαστροκνημίας προκλήθηκε με επαναλαμβανόμενες άρσεις του σώματος με πελματιαίες κάμπυρες της ποδοκνημικής και η ισορροπία μετρήθηκε κατά τη διποδική στάση.

Παρόλα αυτά η όραση φαίνεται να επέδρασε πολύ θετικά στον έλεγχο της ισορροπίας, αφού όταν τα άτομα ισορρόπησαν με τα μάτια ανοιχτά το στατικό λίκνισμα παρουσιάστηκε μειωμένο και στους δυο άξονες. (προσθιοπίσθιο, ετερόπλευρο) Στις παραπάνω έρευνες φαίνεται πως η όραση είναι ένας σημαντικός ρυθμιστής της ισορροπίας, ιδιαίτερα σε καταστάσεις όπου η κόπωση την έχει διαταράξει.

Στην έρευνα του Corbeil et al (2003) ωστόσο, όπου και εκεί προκλήθηκε κόπωση στους μυς της γαστροκνημίας και δοκιμάστηκε η ισορροπία στη διποδική στάση, φάνηκε πως η όραση δεν στάθηκε ικανή να αντισταθμίσει τις αλλαγές που επέφερε η κόπωση. Τα αποτελέσματα της κόπωσης στις παραμέτρους του στατικού λικνίσματος ήταν ίδια και για τις δυο οπτικές καταστάσεις. Αυτό, σύμφωνα με τους ερευνητές, ίσως σημαίνει πως η κόπωση διαταράσσει περισσότερο την κινητική απόδοση, παρά το αισθητικό σύστημα. Διαφορετικά, μπορεί να σημαίνει πως το αισθητικό σύστημα επηρεάζεται σε περιφερικό επίπεδο με μεταβολές των μυών, όμως κάποιοι υποδοχείς (απτικοί υποδοχείς, υποδοχείς πίεσης) αντισταθμίζουν τα υπάρχοντα ελλείμματα.

Μια πολύ καλή εξήγηση στο γιατί οι απόψεις δίστανται σχετικά με τις επιπτώσεις της όρασης στην ισορροπία ύστερα από κόπωση, δίνει ο Vuillerme et al (2006). Σύμφωνα με τον Vuillerme, οι διαφωνίες πάνω στο θέμα οφείλονται σε τρία γεγονότα: α) στο ότι η κόπωση δεν προκαλείται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο σε όλες τις έρευνες, β) στο ότι η βάση στήριξης αλλάζει από έρευνα σε έρευνα και γ) η απόσταση του οπτικού στόχου στον οποίο συγκεντρώνεται το βλέμμα των εθελοντών δεν είναι η ίδια σε όλες τις έρευνες. Όσον αφορά την απόσταση του οπτικού στόχου από το άτομο και τις επιδράσεις της στο στατικό λίκνισμα, γενικά ισχύει πως ένας κοντινός στόχος έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη μείωση του στατικού λικνίσματος σε σχέση με έναν πιο μακρινό. (Bles et al, 1980; Paulus, 1984,1989) Στην έρευνα του Vuillerme, εξετάστηκε η επίδραση τριών διαφορετικών οπτικών καταστάσεων στο στατικό λίκνισμα, ύστερα από κόπωση των μυών της γαστροκνημίας. Τα άτομα που πήραν μέρος έπρεπε να σταθούν όσο πιο ακίνητα μπορούσαν πάνω σε μια πλατφόρμα δύναμης, με τα πόδια σε απαγωγή 30 μοιρών και απόσταση 3 εκατοστών ανάμεσα στις πτέρνες. Η κόπωση προκλήθηκε με επαναλαμβανόμενες άρσεις του σώματος με πελματιαίες κάμπυες της ποδοκνημικής, μέχρι εξαντλήσεως. Η ισορροπία μετρήθηκε με τρεις τρόπους: με τα μάτια κλειστά, με τα μάτια ανοιχτά και τον οπτικό στόχο σε απόσταση 1 μέτρου και με τα μάτια ανοιχτά και το στόχο σε απόσταση 4 μέτρων.

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι κατά την απουσία της όρασης ο στατικός έλεγχος μειώνεται. Όταν η όραση είναι διαθέσιμη, το μέγεθος της επίδρασης της κόπωσης των μυών της γαστροκνημίας στον στατικό έλεγχο εξαρτάται από την απόσταση του οπτικού στόχου.

Συγκεκριμένα, όταν ο οπτικός στόχος βρίσκεται σε μικρή απόσταση (1 μέτρο), παρατηρείται μείωση του στατικού λικνίσματος, κυρίως στην προσθιοπίσθια διεύθυνσή του. Ανάλογο αποτέλεσμα δεν παρατηρήθηκε όταν ο στόχος βρισκόταν σε πιο μακρινή απόσταση (4 μέτρα) και οι επιπτώσεις της κόπωσης δεν αντισταθμίστηκαν.

Συνοψίζοντας, ένα γενικά αποδεκτό συμπέρασμα είναι πως η όραση αποτελεί ένα βασικότατο εργαλείο του για τον έλεγχο της όρθιας στάσης. Η σημασία της όρασης αυξάνεται όταν εμφανιστεί κόπωση και η δράση της εξαρτάται από την ποιότητα της εικόνας που λαμβάνει το άτομο.

3.8 ΚΟΠΩΣΗ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ

Η κόπωση, εκτός από τη στατική ισορροπία φαίνεται να επηρεάζει και τη δυναμική, πράγμα πολύ λογικό αφού η δυναμική ισορροπία ενός ατόμου απαιτεί μεγαλύτερες μυϊκές συσπάσεις και καλύτερο νευρομικό συντονισμό.

Έρευνα σχετικά με την επίδραση της κόπωσης στη δυναμική ισορροπία, διενεργήθηκε πρόσφατα από τον Simoneau et al (2006). Στην έρευνα αυτή, μελετήθηκε η επίδραση του γρήγορου βαδίσματος στην δυναμική ισορροπία.

Συγκεκριμένα, τα άτομα που έλαβαν μέρος περπατούσαν σε ένα μηχανικό διάδρομο έτσι ώστε να αισθανθούν κόπωση. Η ισορροπία τους μετρήθηκε σε μια πλατφόρμα δύναμης (πρίν και μετά την κόπωση) που ήταν συνδεδεμένη με οθόνη υπολογιστή, στην οποία απεικονιζόταν ένα τετράγωνο και ένας σταυρός. Από τα άτομα ζητήθηκε να μετακινούνται προς τα εμπρός και προς τα πίσω με τα πόδια σταθερά, χωρίς να χρησιμοποιούν γόνατο και ισχίο. (στρατηγική ποδοκνημικής) Ο σταυρός μετακινόταν προς τα πάνω στην οθόνη κατά τις κινήσεις των ατόμων προς τα εμπρός και προς τα κάτω κατά τις κινήσεις προς τα πίσω, παρέχοντας έτσι στα άτομα οπτική ανατροφοδότηση. Το ίδιο ίσχυε και για τις ετερόπλευρες κινήσεις. Ο στόχος των ατόμων ήταν να παραμένει αυτός ο σταυρός όσο το δυνατόν εντός του τετραγώνου κατά τις μετατοπίσεις του κέντρου πίεσης των ποδιών.

Ακόμα, τα άτομα έπρεπε να αντιδρούν σε ξαφνική εντολή και να σηκώνονται όσο το δυνατόν πιο γρήγορα στις μύτες των ποδιών τους. Με αυτό τον τρόπο αξιολογήθηκε ο χρόνος αντίδρασής τους που ορίστηκε ως δείκτης της προσοχής-συγκέντρωσης των ατόμων.

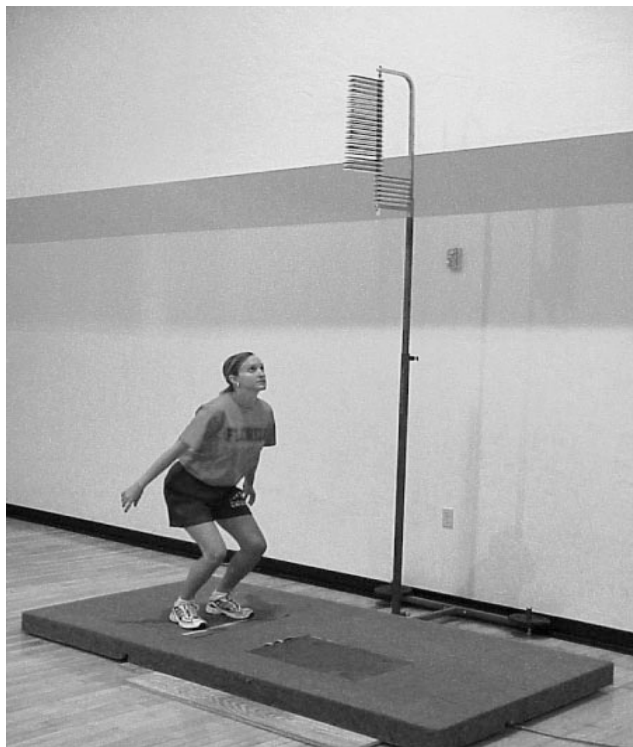
Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν πως η γρήγορη βάδιση είχε αρχικά μια αρνητική επίδραση στην ικανότητα διατήρησης της ισορροπίας, αφού η ικανότητα των ατόμων να διατηρούν τον σταυρό εντός του τετραγώνου παρουσιάστηκε μειωμένη σε σχέση με πρίν τη βάδιση. Ακόμα, αυξήθηκε η ταχύτητα της μετατόπισης του κέντρου πίεσης των ποδιών των ατόμων, πράγμα που φανέρωνε αποσταθεροποίηση. Ωστόσο, η επίδραση της κόπωσης ήταν παροδική αφού μειώθηκε με την επανάληψη της διαδικασίας της κόπωσης. Η ικανότητα διατήρησης του σταυρού σταθερού αποκαταστήθηκε σταδιακά και η ταχύτητα μετατόπισης του κέντρου πίεσης μειώθηκε. Αυτό έγινε με αύξηση της ταχύτητας των διορθωτικών κινήσεων. Επίσης, ένα άλλο αποτέλεσμα της έρευνας ήταν πως παρατηρήθηκε μια μείωση του χρόνου αντίδρασης (ανύψωση στις μύτες των ποδιών) ύστερα από την κόπωση, πράγμα που σήμαινε μια αύξηση της συγκέντρωσης των ατόμων. Αυτό πιθανότατα συνέβει επειδή

επιστρατεύτηκε σε μεγαλύτερο βαθμό η νοητική διαδικασία ελέγχου της ισορροπίας, με αποτέλεσμα να μειωθεί ο χρόνος που ο εικονιζόμενος σταυρός παρέμενε έξω από το τετράγωνο.

Με λίγα λόγια, η έρευνα έδειξε πως η κόπωση που προήλθε από γρήγορο βάδισμα είχε μια παροδική αρνητική επίδραση στην ικανότητα διατήρησης της ισορροπίας. Επίσης διαπιστώθηκε πως σε καταστάσεις που η κόπωση προέρχεται από υπομέγιστη δραστηριοποίηση (όπως το γρήγορο βάδισμα), τα άτομα μαθαίνουν να ελέγχουν τις επιπτώσεις της κόπωσης στην ισορροπία τους.

Η κόπωση, εκτός από την ικανότητα διατήρησης της δυναμικής ισορροπίας, επηρεάζει και το χρόνο ανάκτησης της ισορροπίας ύστερα από μια δυναμική κίνηση (όπως η προσγείωση από ένα άλμα). Αυτό διαπιστώθηκε σε έρευνα του Wikstrom (2004), όπου τα εξεταζόμενα άτομα υποβλήθηκαν σε κόπωση με δυο τρόπους: α) με τη χρήση ισοκινητικού δυναμομέτρου και β) με πρωτόκολλο λειτουργικών δραστηριοτήτων (π.χ. άλματα). Τα άτομα πριν και μετά τα πρωτόκολλα, εκτέλεσαν άλματα με τα δυο πόδια (με το 50% του μέγιστου ύψους άλματος) και έπρεπε να προσγειωθούν με το ένα πόδι πάνω σε μια πλατφόρμα δύναμης που βρισκόταν 70 εκατοστά μπροστά τους. Η ισορροπία μετρήθηκε με τη χρήση της πλατφόρμας δύναμης, η οποία κατέγραφε τη μέγιστη κάθετη δύναμη ανάδρασης του εδάφους (πλατφόρμα) και τον χρόνο που χρειάζονταν τα άτομα να σταθεροποιηθούν στον κάθετο, προσθιοπίσθιο και ετερόπλευρο άξονα κινήσεων.

Οι μετρήσεις έδειξαν πως ο χρόνος σταθεροποίησης ύστερα από την κόπωση ήταν μεγαλύτερος στον κάθετο άξονα των κινήσεων, ενώ παρουσιάστηκε μικρότερος στον προσθιοπίσθιο άξονα. Όσον αφορά τις ετερόπλευρες κινήσεις, δεν παρατηρήθηκαν αξιοσημείωτες διαφορές στον χρόνο σταθεροποίησης. Επίσης, δεν υπήρξαν σημαντικές διαφορές στον τρόπο με τον οποίο τα πρωτόκολλα κόπωσης επηρέασαν το χρόνο σταθεροποίησης, δηλαδή ο χρόνος σταθεροποίησης παρουσιάστηκε ανεξάρτητος από το είδος της κόπωσης στη συγκεκριμένη έρευνα.



Εικόνα 3.3 : Τέστ με άλμα για την αξιολόγηση της δυναμικής ισορροπίας (αρχική θέση)

(Wikstrom, 2004)



Εικόνα 3.4 : Τέστ με άλμα για την αξιολόγηση της δυναμικής ισορροπίας (τελική θέση)

(Wikstrom, 2004)

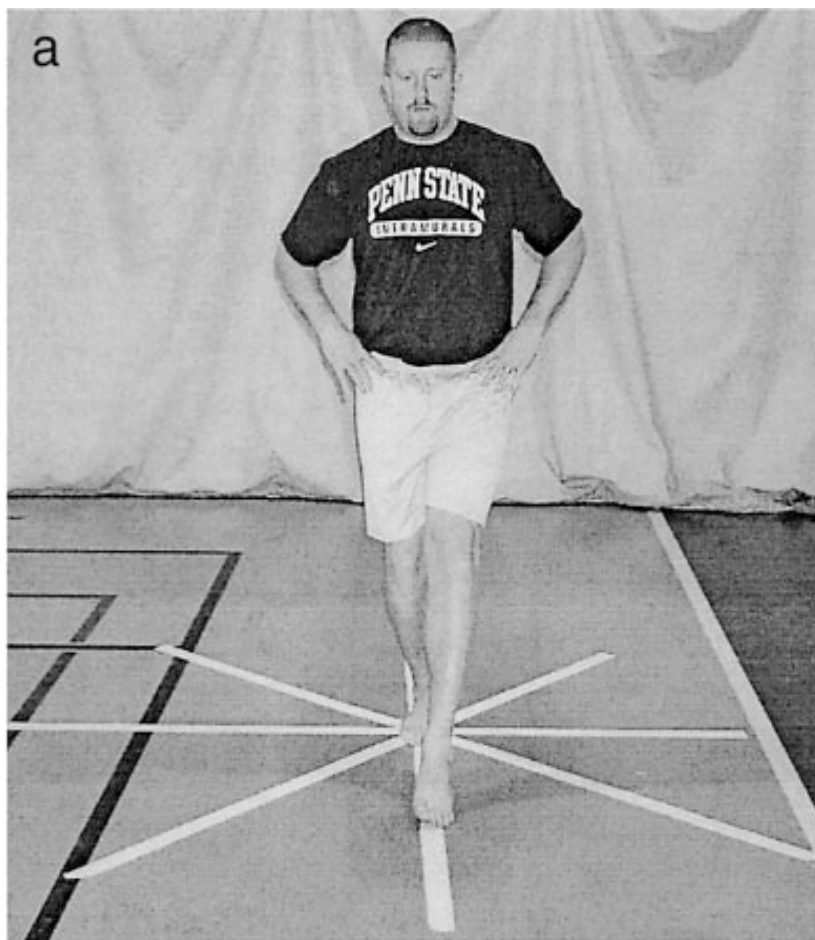
Εδώ θα πρέπει να διευκρινισθεί, πως ο χρόνος σταθεροποίησης ή χρόνος ανάκτησης της ισορροπίας στην προκειμένη περίπτωση, είναι το ελάχιστο χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο σταματούν οι κινήσεις των εμπλεκόμενων στην προσγείωση αρθρώσεων.

3.9 ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΟΠΩΣΗΣ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΑΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΗΣ ΠΟΔΟΚΝΗΜΙΚΗΣ ΑΡΘΡΩΣΗΣ

Η ισορροπία, όπως έχει αναφερθεί, είναι μια πολυπαραγοντική λειτουργία που επηρεάζεται από διάφορες καταστάσεις. Μία από αυτές τις καταστάσεις, μπορεί να είναι και ένας τραυματισμός.

Ένας πολύ συχνός τραυματισμός του κάτω άκρου, είναι το διάστρεμμα της ποδοκνημικής άρθρωσης. Σύμφωνα με έρευνα του Gribble et al (2004), η δυναμική ισορροπία ατόμων με χρόνια αστάθεια ποδοκνημικής, επηρεάζεται περισσότερο από την κόπωση του πάσχοντος κάτω άκρου σε σχέση με αυτή υγιών ατόμων.

Η μέγιστη απόσταση που μπορούσαν να επιτύχουν στο Star Excursion Balance Test, ήταν μικρότερη σε σχέση με αυτή υγιών ατόμων:



Εικόνα 3.5 : Μέτρηση δυναμικής ισορροπίας με το Star Excursion Balance Test (Gribble, 2004)

Συγκεκριμένα, το τέστ αυτό αξιολογούσε τη μέγιστη απόσταση που μπορούσε κάποιος να φτάσει με το υγιές άκρο στο σταυρό που φαίνεται παραπάνω, σε διάφορες διευθύνσεις κίνησης. Η απόσταση αυτή αποτελεί και το κριτήριο ισορροπίας, η οποία φαίνεται να διαταράσσεται από την αστάθεια της ποδοκνημικής που επιφέρει ένα διάστρεμμα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Τα συμπεράσματα που προκύπτουν σχετικά με την επίδραση της κόπωσης στην ισορροπία, δείχνουν όλα πως η κόπωση αυξάνει το στατικό λίκνισμα ιδιαίτερα κατά τη μονοποδική στάση. Η επίδραση αυτή είναι παροδική με μέγιστη διάρκεια 20 λεπτά, ανάλογα με το είδος της άσκησης.
- Η αερόβια άσκηση, αν και επιδρά αρνητικά στην ισορροπία, τα αποτελέσματά της φαίνεται να μετριαζονται σε ένταση λόγω της επικράτησης της πλειομετρικής συστολής. Από την άλλη πλευρά, η αναερόβια άσκηση φαίνεται να επιδρά περισσότερο άμεσα στην ισορροπία.
- Τα αρνητικά αποτελέσματα της κόπωσης στην ικανότητα διατήρησης της ισορροπίας, οφείλονται στη μείωση της μυϊκής απόδοσης που αυτή προκαλεί και έτσι το μυϊκό σύστημα καθίσταται λιγότερο ικανό στο να ελέγξει τη στάση.
- Επίσης, η κόπωση προκαλεί δυσλειτουργία του νευρομυϊκού συστήματος μειώνοντας την ιδιοδεκτικότητα, η οποία παίζει σημαντικό ρόλο στον έλεγχο των κινήσεων.
- Οι κόπωση των κεντρικότερων μυών των κάτω άκρων, επιφέρει μεγαλύτερες διαταραχές στην ισορροπία από αυτή των περιφερικότερων. Γεγονός που καθιστά τους μυς της γαστροκνημίας ιδιαίτερα σημαντικούς όσον αφορά τον έλεγχο της ισορροπίας.
- Ο ρόλος της όρασης στον έλεγχο της ισορροπίας γίνεται πιο σημαντικός όταν υπάρχει κόπωση.
- Η κόπωση επιδρά αρνητικά και στη δυναμική ισορροπία εκτός από τη στατική και ο χρόνος σταθεροποίησης ύστερα από μια κίνηση αυξάνεται.
- Οι τραυματισμοί του κάτω άκρου (ποδοκνημική) επηρεάζουν αρνητικά την ισορροπία, ιδιαίτερα σε συνθήκες κόπωσης. Αυτό συμβαίνει ακόμα και όταν αυτοί δεν είναι πρόσφατοι.

ΑΡΘΡΟΓΡΑΦΙΑ

1. Abdelmalki A, Merino D, Bonneau D, et al.(1997) Administration of a GABAB agonist baclofen before running to exhaustion to the rat: effects on performance and on some indicators of fatigue. *Int J Sports Med*; 18 (2): 75-78
2. Adlerton AK, Moritz U,(1996) Does calf-muscle fatigue affect standing balance? *Scandanavian Journal of Medicine and Science in Sports* 6 211–215.
3. Allison GT, Henry SM.(2002) The influence of fatigue on trunk muscle responses to sudden arm movements: A pilot study. *Clin Biomech* ;17:414–7.
4. Aoi W, Naito Y and Yoshikawa T.(2006) Exercise and functional foods. *Nutrition Journal*; 5:15
5. Asmussen E, Mazin B.(1978) A central nervous component in local muscle fatigue. *Eur J Appl Physiol* ; 38 : 9-15
6. Babault N, Desbrosses K, Fabre M, Michaut A and Pousson M.(2005) Neuromuscular fatigue development during maximal concentric and isometric knee extensions
7. Bangsbo J, Johansen L, Graham T & Saltin B (1993). Lactate and H⁺ effluxes from human skeletal muscles during intense, dynamic exercise. *J Physiol* 462, 115–133
8. Banister EW, Cameron BJ.(1990) Exercise-induced hyperammonemia: peripheral and central effects. *Int J Sports Med* 19; 11 Suppl. 2: S129-142
9. Bequet F, Gomez-Merino D, Berthelot M, et al.(2002) Evidence that brain glucose availability influences exercise-enhanced extracellular 5-HT level in hippocampus: a microdialysis study in on the exercise-induced change in plasma and muscle concenexercising rats. *Acta Physiol Scand*; 176 (1): 65-9
10. Berg, K.(1989) Balance and its measure in the elderly: a. review physiother. *Lan* 41: 240-246
11. Berg K., Wood – Dauphiness S, Williams J.I. et al.(1989) Measuring balance in the elderly: preliminary development of an instrument. *Physiotherapy, Canada* 41: 304-311
12. Berg KO., Maki BE, Williams J. et al, (1992). Clinical and laboratory measures of postural balance in an elderly population. *Archives of physical medicine and Rehabilitation*, 73, 1073-1080
13. Bigland-Richie B, Jones DA, Hosking GP, et al. (1978) Central and peripheral fatigue in sustained maximum voluntary contractions of human quadriceps muscle. *Clin Sci Mol Med*; 54: 609-614

14. Bigland-Ritchie B, Woods JJ.(1984) Changes in muscle contractile properties and neural control during human muscular fatigue. *Muscle Nerve*;7:691 _ 9.
15. Bigland-Ritchie B.(1986) Reflex origin for the slowing of motoneuron firing rates in fatigue of human voluntary contractions. *J Physiol*;379:451_ 9.
16. Bigland-Richie B, Furbish F, Woods JJ.(1986) Fatigue of intermittedsubmaximal voluntary contractions: central and peripheral factors. *J Appl Physiol*; 61:421-429
17. Bohannon R.W, P.A. Larkin, A.C. Cook, J.(1984) Gear and J. Singer. Decrease in timed balance test scores with aging. *Phys. Ther.* 64: 1067-1070
18. Bonnard M, Sirin AV, Odsson L, Thortensson A.(1994) Different strategies to compensate for the effects of fatigue revealed by neuromuscular adaptation processes in human. *Neurosci Lett*;166:101–5.
19. Borg G, Edstrom CG, Linderholm H, et al.(1972) Changes in physical performance induced by amphetamine and amobarbital. *Psychopharmacologia*; 26 (1): 10-8
20. Borg, G. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med. Sci. Sports Exer.*, (1982), 14: 377–381.
21. Borg G.(1990) Psychophysical scaling with applications in physical work and the perception of exertion *Scand J Work Environ Health*, 16:55-58.
22. Borg G.(1998) *Borg's Perceived Exertion and Pain Scales*. Champaign, IL: Human Kinetics
23. Borsheim E, Aarsland A, Wolfe RR.(2004) Effect of an amino acid, protein, and carbohydrate mixture on net muscle protein balance after resistance exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 14:255-271.
24. Burdett RG, Van Swearington J.(1987) Reliability of isokinetic endurance tests. *J Orthop Sports Phys Ther*; 8: 484-488
25. Burdett C, Rougier P.(2004) Effects of utmost fatigue on undisturbed upright stance control. *Laboratoire de Modélisation des Activités Sportives, UFR-CISM, Université de Savoie, Domaine Scientifique de Savoie-Technolac,F. 73376 Le Bourget du lac cedex, France*
26. Byrd S, Bode A, Klug G.(1989) Effects of exercise of varying duration on sarcoplasmic reticulum function. *J Appl Physiol*; 267: C357-366
27. Chandler JV, Blair SN.(1980) The effect of amphetamines on physiological components related to athletic success. *Med Sci Sports Exer*; 12 (1): 65-69

28. Conlay LA, Sabounjian LA, Wurtman RJ.(1992) Exercise and neuromodulators: choline and acetylcholine in marathon runners. *Int J Sports Med*; 13 Suppl. 1: S141-2
29. Cook G, Burton L., Fields K. (1999). Reactive neuromuscular training for the anterior cruciate ligament-deficient knee: a case report. *Journal of athletic Training*, 34 (2): 194-201
30. Cooke R, Pate E.(1985) The effects of ADP and phosphate on the contraction of muscle fibers. *Biophys J*; 48: 789-798
31. Cooper BR, Wang CM, Cox RF, et al.(1994) Evidence that the acute behavioral and electrophysiological effects of bupropion (Wellbutrin) are mediated by a noradrenergic mechanism. *Neuropsychopharmacology*; 11 (2): 133-41
32. Cooper JR, Bloom FE, Roth RH.(2003) The biochemical basis of neuropharmacology. 8th ed. New York: Oxford University Press
33. Corbeil P, Blouin JS, Be'gin F, Nougier V, Teasdale N. (2003) Perturbation of the postural control system induced by muscular fatigue. *Gait Posture*;18:92–100.
34. Crutchfield A. and Barnes M.(1993) Motor control and motor learning in Rehabilitation. Atlanta, GA: Stokesville
35. Dalsgaard M, Ott P, Dela F, Juul A, Pedersen B, Warberg J, Fahrenkrug J & Secher NH (2004). The CSF and arterial to internal jugular venous hormonal differences during exercise in humans. *Exp Physiol* 89, 271-277.
36. Davis B, Grabiner M.(1996) Modelling effects of muscle fatigue on unilateral postural control. *J Appl Biomech*;12:173–84.
37. Davis JM, Bailey SP.(1997) Possible mechanisms of central nervous system fatigue during exercise. *Med Sci Sports Exerc*; (1): 45-57
38. Davis JM, Zhao Z, Stock HS, et al.(2003) Central nervous system effects of caffeine and adenosine on fatigue. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*; 284 (2): R399-404
39. Deschenes MR, Marish CM, Kraemer WJ.(1994) The neuromuscular junction: structure, function, and its role in the excitation of muscle. *J Strength Condit Res*; 8 (2): 103-109
40. De Wit G.(1972), Optic VS vestibular and proprioceptive impulses measured by posturometry. *Agressologie*, 13, 75-79
41. Dick J.P.R., Rothwell, Berar deli et al (1986). Associated postural adjustments in Parkinson's disease. *Journal of Neurology*, 49, 1378-1385

42. Dietz V. and Noth J.(1978). Pre-innervation and stretch responses of triceps brachii in man falling with and without visual control. *Brain research*, 142, 576-579
43. Dorlochter MA, Irentchev A, Brinkers M, et al.(1991) Effects of enhanced activity on synaptic transmission in mouse extensor digitorum longus muscle. *J Physiol*; 436: 283-292
44. Eberstein A, Shadow A.(1963) Fatigue mechanisms in muscle fibers. The effect of use and disuse of neuromuscular junction. Prague: Czech Academy of Sciences, 515-526
45. Eccles J.(1977) cerebellar function in the control of movement. In *physiological aspects of clinical neurology*, Blackwell, Oxford, pp 157-178.
46. Edstorm L, Hultman E, Sahlin K, et al.(1982) The contents of high energy phosphates in different fibre types in skeletal muscles of rat, guinea pig, and man. *J Physiol*; 332: 47-58
47. Edwards, R.H.T.(1983) Biomechanical basis of fatigue. *Biochemistry of Exercise*, H. G. Knuttgen (Ed). Champaign, IL Human Kinetics, pp.3-28.
48. Ekdahl C., Jarnlo G.(1989) Standing balance in healthy subjects. *Scand J. Rehabil*, 21: 187-195
49. Eriksson L, Broberg S, Bjorkman O & Wahren (1985). Ammonia metabolism during exercise in man. *Clin Physiol* 5, 325-336
50. Esmarck B, Andersen JL, Olsen S, Richter EA, Mizuno M, Kjaer M.(2001) Timing of postexercise protein intake is important for muscle hypertrophy with resistance training in elderly humans. *J Physiol* , 535:301-311.
51. Faculjak P.F., Firoozbakshsh, D. Wausher and M. McBuire.(1993) Balance characteristics of normal and anterior craciate ligament deficient knees. *Phys. Ther.* 73: 522
52. Felipo V & Butterworth R (2002). Neurobiology of ammonia. *Prog Neurobiol* 67, 259-279
53. Fernie G.R., Gryfe C.(1982) The relationship of postural sway in standing to the incidence of falls in geriatric subjects. *Age and Aging*, 11: 11-16.
54. Forestier N, Nougier V.(1998) The effects of muscular fatigue on the coordination of a multijoint movement in human. *Neurosci Lett*;252:187-90
55. Freed CR, Yamamoto BK.(1985) Regional brain dopamine metabolism: a marker for the speed, direction, and posture of moving animals. *Science*; 229 (4708): 62-65
56. Fregly A.R.(1973) Revised hotmative standards of performance of men on a quantitative ataxia test battery. *Acta otolaryngol*, 75: 10-16

57. Fu As, Hui-Chan,(2005). Ankle joint proprioception and postural control in basketball players with bilateral ankle sprains, 5: 105-107
58. Gabell A. and Nayak (1984). The effect of age on variability in gait. *Journal of gerontology*, 39: 662-666.
59. Gage, W. H., Winter, D. A., Frank, J. S., & Adkin, A. L. (2004). Kinematic and kinetic validity of the inverted pendulum model in quiet standing. *Gait & Posture*, 19, 124–132.
60. Galloway SD, Maughan RJ.(1997) Effects of ambient temperature on the capacity to perform prolonged cycle exercise in man. *Med Sci Sports Exerc*; 29 (9): 1240-1249
61. Gandevia SC, Enoka RM, McComas AJ, Stuart DG, Thomas CK.(1995) *Neurobiology of muscle fatigue: advances and issues*. New York: Plenum Press, :515_ 25.
62. Garn S. and Newton R.(1988) Kinesthetic awareness in subjects with multiple ankle sprains. *Phys Ther* 68: 1667-1671
63. Gatev P, Thomas S, Kepple T, Hallett M.(1999) Feedforward ankle strategy of balance during quiet stance in adults. *J Physiol*;514(3):915–28.
64. Gauffin H., Troop and Odenrick.(1988) Effect of ankle disk training on postural control in patients with functional instability of the ankle. *Med*. 9: 141-144
65. Gerald MC.(1978) Effects of (+)-amphetamine on the treadmill endurance performance of rats. *Neuropharmacology*; 17 (9): 703-704
66. Gibson J.S. (1979) *The ecological approach to visual perception*, Houghton Mifflin, Boston.
67. Godt RE, Nosek TM.(1989) Changes in intracellular milieu with fatigue or hypoxia depress contraction of skinned rabbit skeletal and cardiac muscle. *J Physiol*; 412: 155-180
68. Goldie P., Bach T.(1989) Force platform measures for evaluation postural control: reliability and validity. *Arch. Phys. Med. Rehabil* 70: 510-517
69. Gonzalez Alonso J, Teller, C., Andersen S J, Jensen F B,Hyldig T. & Nielsen B. (1999). Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat. *Journal of Applied Physiology* 86, 1032—1039
70. Graham TE (2001): Caffeine and Exercise. *Sports Med*, 31:785-807.
71. Guezennec CY, Abdelmalki A, Serrurier B, et al.(1998) Effects of prolonged exercise on brain ammonia and acids.*Int J Sports Med*; 19 (5): 323-327

- 72.** Guskiewicz (1999). Effect of orthotics on postural sway following inversion ankle sprain. *Journal of orthopedic and sports physical therapy* 23 (5): 326-31
- 73.** Hayes K.C., Spencer C.L. and Kirshen A.J. (1985). Age related changes in postural sway. *Champaing*, 383-387
- 74.** Henry SM, Fung J, and Horak FB.(1998) EMG Responses to Maintain Stance During Multidirectional Surface Translations. *The Journal of Neurophysiology*; 80: 1939-1950
- 75.** Holliday P.J. and Fernie (1979). Changes in the measurement of postural sway resulting from repeated testing, *Agressologie*, 20: 225-228.
- 76.** Horak F. (1987). Central programming of postural movements. Adaptation to altered support surface configuration. *Journal of Neurophysiology*, 55: 1369-1381
- 77.** Horak F.B.(1989) Clinical measurement of postural control in adults. *Phys Ther*
- 78.** Horak F., Shupert and Mirka A. (1989). Components of postural dyscontrol in the elderly: a review. *Neurobiology of Aging*, 10: 727-738.
- 79.** Horak F.B., Nutt and Nashner (1992). Postural inflexibility in parkinsonian subjects. *Journal of Neurological science*, 11: 46-58.
- 80.** Hortobagyi T, Barrier J, Beard D, Braspeniccx J, Koens P, Devita P.(1996) Greater initial adaptations to submaximum muscle lengthening than maximal shortening. *J Appl Physiol*; 81:1677-82
- 81.** Hultman E, Sjöholm H.(1983) Electromyogram, force and relaxation time during and after continuous electrical stimulation of human skeletal muscle in situ. *J Physiol*; 339: 33-40
- 82.** Ikai M, SteinhausAH.(1961) Some factors modifying the expression of human strength. *J Appl Physiol*; 16: 157-163
- 83.** Irrgang J.S., Whitney and Cox E.(1994) Balance and proprioceptive training for rehabilitation of the lower extremity. *J. Sport Rehabil*, 3: 68-83
- 84.** Jansen E., Larsen R. and Olesen M. Quantitative Romberg's test. *Acta Neurol. Scand.*, 66: 93-99, 1982
- 85.** Juel C, Honig A & Pilegaard H.(1991). Muscle lactate transport studied in sarcolemmal giant vesicles: dependence on fibre type and age. *Acta Physiologica Scandinavica* 143, 361-366.

- 86.** Kawai M.(1986) The role of orthophosphate in crossbridge kinetics in chemically skinned rabbit psoas fibers as detected with sinusoidal and step length alterations. *J Muscle Res Cell Motil*; 7: 421-434
- 87.** Keisler BD, Armsey TD (2006): Caffeine as an ergogenic aid. *Curr Sports Med Rep*, 5:215-219.
- 88.** Kidgell D.J., Horvath D.M., Jackson B.M. (2007). Effect of 6 weeks of dura disc and mini trampoline balance training on postural sway in athletes with functional ankle instability, 21: 466-469.
- 89.** Knuttgen, H.G. and Saltin, B.(1972) Muscle metabolites and oxygen uptake in short-term submaximal exercise in man. *J. Appl. Physiol.*, 32: 690–694
- 90.** Konradsen L and Ravn JB.(1991) Prolonged peroneal reaction time in ankle instability. *Sports Med*. 12: 290-292
- 91.** Latzka WA, Montain SJ.(1999) Water and electrolyte requirements for exercise. *Clin Sports Med*; 18:513-524.
- 92.** Ledin T, Fransson PA, Magnusson M.(2004) Effects of postural disturbances with fatigued triceps surae muscles or with 20% additional body weight. *Gait Posture*; 19:184–
- 93.** Lee D.N. and Aronson E. (1974). Visual proprioceptive control of standing in human infants. *Perception and psychophysics*, 15: 529-532.
- 94.** Lephart S.M, Pincivero DM., Jirald J, (1997). The role of proprioception in the management and rehabilitation of athletic injuries. *The American journal of sport medicine*, 25: 130-137
- 95.** Liu J.Z, Lewandowski B, Karakasis C, Yao B, Siemionow V, Sahgal V, and Yuen G.H.(2007) Shifting of activation center in the brain during muscle fatigue: An explanation of minimal central fatigue? *NeuroImage* 35: 299–307
- 96.** Loram ID, Maganaris CN, Lakie M.(2005) Active, non-spring-like muscle movements in human postural sway: how might paradoxical changes in muscle length be produced. *J Physiol* ; 564(1): 281–93.
- 97.** Lord S.R. (1991). Postural stability and associated physiological factors in a population of aged persons. *Journal of gerontology*, 46: 69-76.
- 98.** Lord S. and Castell S. (1994). Physical activity program for older persons: effect on balance, strength. *Hearomuscular control and reaction time*. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 78: 208-212.

- 99.** Lundin T.M, Feuerbach J.W, Grabiner M.D (1993) Effect of plantarflexor and dorsiflexor fatigue on unilateral postural control, *Journal of Applied Biomechanics* 9: 191–201.
- 100.** McArdle WD, Katch FI, Katch VL.(1997) *Exercise physiology: energy,nutrition and human performance*. 5th ed. Baltimore: Lippincott
- 101.** McDonnell MK, Delitto A, Sinacore DR, Rose S.(1987) Electrically elicited fatigue test of the quadriceps femoris muscle. *Phys Ther*; 67: 941-946
- 102.** McKenna MJ, Heigenhauser JF, McKelvie RS, et al.(1997) Sprint training enhances ionic regulation during intense exercise in men. *Journal of Physiology*; 501,3: 687-702
- 103.** McLaren D.P.M, Gibson N, Parry-Billings M and Edwards R.H.T.(1989) A review of metabolic factors in fatigue. *Exerc Sport Sci. Rev* ; 17 : 29-68
- 104.** McLester.(1997)*Muscle Contraction and Fatigue*.*Sports Med*. 5: 287-305
- 105.** Mello RGT, Oliveira L.F, Nadal J,(2006) Anticipation mechanism in body sway control and effect of muscle fatigue.
- 106.** Merton PA. (1954) Voluntary strength and fatigue. *J Physiol*. 123: 553-564
- 107.** Miller PK, Bird AM,(1976) Localized muscle fatigue and dynamic balance, *Perceptual and Motor Skills* 42: 135–138.
- 108.** Mizrahi J, Brion O, Adam D.(2002) Open-chain analysis of single stance. *J Autom Control*;12:46–55.
- 109.** Mizuta HM, Kubota K.(1992) A stabilometric technique for evaluation of functional instability in the anterior cruciate ligament. *Clin J. Sports Med*. 2: 235-239
- 110.** Morasso PG, Baratto L, Capra R, Spada G.(1999) Internal models in the control of posture. *Neural Networks*; 12(7-8):1173–80.
- 111.** Morasso P.G, Sanguineti V.(2002) Ankle muscle stiffness alone cannot stabilize balance during quiet standing. *J Neurophysiol*; 88(4): 2157–62.
- 112.** Nardone A, Tarantola J, Giordano A, Schieppati M.(1997) Fatigue effects on body balance. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*; 105(4):309–20.

- 113.** Nardone A, Tarantola J, Galante M, Schieppati M.(1998) Time course of stabilometric changes after a strenuous treadmill exercise. *Arch Phys Med Rehabil*; 79:920-4.
- 114.** Nashner LM., (1978). Visual contribution to rapid motor responses during posture control. *Brain research*, 150: 403-407.
- 115.** Naschner, JM, and McCollum.(1985) The organization of human postural movements: A formal basis and experimental synthesis. *Behav. Brainsci* 8: 135-172
- 116.** Nicol C, Avela J and Komi P.V. (2006) The Stretch-Shortening Cycle A Model to Study Naturally Occurring Neuromuscular Fatigue. *Sports Med*; 36 (11): 977-999
- 117.** Nielsen B, Hales JR, Strange S, et al.(1993) Human circulatory and thermoregulatory adaptations with heat acclimation and exercise in a hot, dry environment. *J Physiol*; 460: 467-85
- 118.** Nybo L, Nielsen B. (2001) Middle cerebral artery blood velocity is reduced with hyperthermia during prolonged exercise in humans. *J Physiol*; 534 (Pt 1): 279-286
- 119.** Okuda K, Abe N, Katayama Y.(2005) Effect of vision on postural sway in anterior cruciate ligament injured knees, 10: 277-283.
- 120.** Orchardson P.(1978) The generation of nerve impulse in mammalian axons by changing the concentrations of the normal constituents of extracellular fluid. *J Physiol*; 275: 177-189
- 121.** Owen DH, (1985). Maintaining posture and avoiding tripping. *Clinics in geriatric medicine*, 1: 581-599.
- 122.** Palmer JP, Walter RM, Ensink JW.(1975) Arginine-stimulated acute phase of insulin and glucagon secretion. I. in normal man. *Diabetes* 1975, 24:735-740
- 123.** Paluska SA (2003): Caffeine and exercise. *Curr Sports Med Rep*, 2:213-219.
- 124.** Panzer VP, Bandinelli, S. and Hallett M,(1995) Biomechanical assessment of quiet standing and changes associated with aging, *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, 76: 151±157
- 125.** Parkin JM, Carey MF, Zhao S, et al.(1999) Effect of ambient temperature on human skeletal muscle metabolism during fatiguing submaximal exercise. *J Appl Physiol*; 86 (3): 902-908
- 126.** Paulus, WM, Straube A. and Brandt T,(1984) Visual stabilization of posture: physiological stimulus characteristics and clinical aspects, *Brain*, 107: 1143±1163

- 127.** Pintsaar A., Troop H.(1996). Postural corrections after standardized perturbations of single limb stance: effect of training and orthotic devices in patients with ankle instability, 30: 151-155
- 128.** Podsiad O. and Richardson S.(1991). The timed “up & go”: a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *Journal of American Geriatric Society*, 39: 142-148.
- 129.** Powers SK, Howley ET.(1994) Factors affecting performance. *Exercise physiology: theory and application to fitness and performance*, 2nd ed.
- 130.** Ragnarsdottir M,(1996) The concept of balance, 370-371
- 131.** Roberts D, Anderson G, Friden T. (2004). Knee joint proprioception in deficient knees is related to cartilage injury, laxity and age. *Acta orthopaedica Scandinavia*, 75: 78-8
- 132.** Robertson S W Kerrick.(1976) The effect of pH on submaximal calcium ion activated tension in skinned frog skeletal fibers. *Biophys J*; 16: 73A
- 133.** Ross SE, Guskiewicz KM. (2004). Examination of static and dynamic postural stability in individuals with functionally stable and unstable ankles, 14: 332-338.
- 134.** Ryding E., Decety J, Sjolholm H. et al. (1993). *Cognitive brain research*, 1: 94-99.
- 135.** Salavati M a, Mojgan Moghadam b,* , Ismaeil Ebrahimi c, Amir Massoud Arab a.(2006) Changes in postural stability with fatigue of lower extremity frontal and sagittal plane movers.
- 136.** Schieppati M. and Nardone A.(1991). Free and supported stance in Parkinson’s disease. *Brain*, 114: 1227-1244.
- 137.** Sherrington CS.(1947) *The integrative action of the nervous system*, New Haven: Yale University Press.
- 138.** Sherrington CS. And Lord S.R. (1997). Home exercise to improve strength and walking velocity after hip fracture: A randomized controlled trial. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 78: 208-212.
- 139.** Shumway-Cook A, Woollacott M.(1995) *Motor control: theory and practical applications*. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins
- 140.** Simonean G, Leibowitz H, Ulbrecht J. et al. (1992). The effects of visual factors and head orientation on postural steadiness in women 55 to 70 years of age. *Journal of Gerontological Medicine*, 47: 151-158.

- 141.** Sjogaard G, Adams RP, Saltin B. (1985) Water and ions shifts in skeletal muscle of humans with intense dynamic knee extension. *Am J Physiol*; 248: R 190-196
- 142.** Slobounov S and Newell K. (1994). Postural dynamics as a function of skill level and task constraints. *Gait posture*, 2: 85-93.
- 143.** Snow R, Carey M, Stathis C, Febbraio M & Hargreaves M (2000). Effects of carbohydrates ingestion on ammonia metabolism during exercise in humans. *J Appl* 88, 1576-1580
- 144.** Stephens JA, Taylor AA. (1972) Fatigue of maintained voluntary muscle contraction in man. *J Physiol*; 220: 1-18
- 145.** Suponitsky Y, Verbitsky O, Peled E, Mizrahi J.(2007) Effect of selective fatiguing of the shank muscles on single-leg-standing sway.
- 146.** Susco TM; Tamara C. Valovich McLeod; Gansneder BM;(2004) Shultz S.J§. Balance Recovers Within 20 Minutes After Exertion as Measured by the Balance Error Scoring System. *Journal of Athletic Training* (3):241–246
- 147.** Teasdale N., Stelmach G. and Breunig (1991). Postural sway characteristics of the elderly under normal and altered visual and support surface conditions. *Journal of Gerontological Biological Science*, 46: 238-244.
- 148.** Thorstensson A, Karlsson J.(1976) Fatigueability and fiber composition of human skeletal muscle. *Acta Physiol Scand*; 7: 318-322
- 149.** Troop H, Ekstrand J.(1984) Stabilometry in functional instability of the ankle and its value in predicting injury. *Sports Medicine*, 16: 64-66
- 150.** Troop H, Ekstrand J.(1984) Factors affecting stabilometry recordings of single limb stance. *Sports Medicine*, 12: 185-188
- 151.** Troop H, Odenrick P.(1985) Stabilometry recordings in functional and mechanical instability of the ankle joint. *Sports Medicine*, 6: 180-182
- 152.** Vander A, Sherman J and Luciano D.(1990) *Human Physiology: the mechanisms of body function*. New York, McGraw Hill
- 153.** Voight M, Tippet M. (1994). *Functional progressions for sport rehabilitation*. Human Kinetics.

- 154.** Vollestad NK, Sejersterd OM, Bahr R, et al.(1988) Motor drive and metabolic responses during repeated submaximal contractions in humans. *J Appl Physiol.* 64 (4): 1421-1427
- 155.** Vuillerme N, Nougier V, Prieur JM.(2001) Can vision compensate for a lower limbs muscular fatigue for controlling posture in humans. *Neurosci Lett*; 308:103–6.
- 156.** Vuillerme N, Danion F, Forestier N, Nougier V.(2002a) Postural sway under muscle vibration and muscle fatigue in humans. *Neurosci Lett*; 333:131–5.
- 157.** Vuillerme N, Forestier N, Nougier V.(2002b) Attentional demands and postural sway: the effect of the calf muscles fatigue. *Med Sci Sports Exerc*; 34:1907–12.
- 158.** Waterston J.A., Hawken M., Tanyeri S. et al. (1993). Influence of sensory manipulation on postural control in Parkinson's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 56: 1276-1281.
- 159.** Watson P, Shirreffs SM, Maughan RJ.(2005) Blood-brain barrier integrity may be threatened by exercise in a warm environment.*Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*; 288 (6): R 1689-1694
- 160.** Watt PW & MacLennan PA, Hundal HS, Kuret CM & Rennie M J (1988). L(+)-lactate transport in perfused rat skeletal muscle: Kinetic characteristics and sensitivity to Ph and transport inhibitors. *Biochimica et Biophysica Acta* 944, 213-222.
- 161.** Wilkerson G., Nitz A. (1994). Dynamic ankle stability: mechanical and neuromuscular interrelationships. *Journal of sport rehabilitation*, 3: 43-57.
- 162.** Wilkins JC, Valovich TC, Perrin DH, Gansneder BM.(2004) Performance on the Balance Error Scoring System decreases following exertion. *J Athl Train.*; 39:156–161
- 163.** Winter D., Patla A. and Frank J.(1990). Assessment of balance control in humans. *Medical progress through technology*, 16: 31-51.
- 164.** Winter, DA (2005). *Biomechanics and motor control of human movement*. New York, NY: Wiley-Interscience
- 165.** Yaggie J, McGregor S.(2002) Effects of isokinetic ankle fatigue on the maintenance of balance and postural limits. *Arch Phys Med Rehabil*; 83:224–8.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Εγκυκλοπαίδεια Υγεία, Τόμος 3, σελ. 320
2. Εγχειρίδιο Νευρολογίας, Β. Τομάρα, Εκδόσεις Λίτσας, 2001
3. Εργοφυσιολογία, Κλεισούρας, Τόμος 1, 2004
4. Κινησιολογία, Hamilton – Luttgens, Εκδόσεις Παρισιάνου, 1982
5. Νευρολογική Αποκατάσταση-βελτιστοποίηση των κινητικών επιδόσεων, Janet Carr – Roberta Shephert, 1998