



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΙΑΤΡΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΓΗΡΙΑΤΡΙΚΑ ΣΥΝΔΡΟΜΑ»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΙΤΛΟΣ:

ΣΤΑΤΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΗΛΙΚΙΩΜΕΝΩΝ ΑΤΟΜΩΝ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

ΑΥΞΑΝΟΜΕΝΗΣ ΔΥΣΚΟΛΙΑΣ

STATIC BALANCE OF ELDERLY PEOPLE IN CONDITIONS OF

INCREASING DIFFICULTY

Της Σάββα Βασιλικής

Τριμελή επιτροπή:

Φιλίππου Αναστάσιος Αναπληρωτής Καθηγητής (επιβλέπων)

Πατίκας Δημήτριος Καθηγητής

Τσουκνίδας Ευθύμιος Αλέξανδρος Αναπληρωτής Καθηγητής

2024

Βασιλική Σάββα

ALL RIGHTS RESERVED

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα Πινάκων	5
Περιεχόμενα εικόνων.....	5
Περιεχόμενα Γραφημάτων	6
Κατάλογος Συντομεύσεων	7
Περίληψη	8
Abstract.....	10
Ευχαριστίες.....	11
1.Εισαγωγή.	12
2.Ανασκόπηση βιβλιογραφίας	16
2.1 Μεταβολές στη στατική ισορροπία λόγω γήρανσης σε συνθήκες αυξανόμενης δυσκολίας.	16
2.2 Η επίδραση φύλου στην ισορροπία.....	24
2.3 Σχέση μέγιστης δύναμης των πελματιαίων και ραχιαίων καμπτήρων μυών της ποδοκνημικής άρθρωσης και του Δείκτη Μάζας Σώματος με τη στατική ισορροπία.	27
2.4 Ερευνητικό κενό	35
2.5 Σκοπός της έρευνας.....	35
2.6 Ερευνητικές υποθέσεις.....	36
3 Μεθοδολογία.....	36
3.1 Δείγμα	36
3.2 Περιγραφή οργάνων.....	38
3.3 Μέτρηση Μέγιστης Δύναμης.	39
Πρωτόκολλο αξιολόγησης στατικής ισορροπίας.....	40
Πρωτόκολλο αξιολόγησης Μέγιστης δύναμης	42
Πρωτόκολλο αξιολόγησης δυναμικής ισορροπίας (UP AND GO TEST).....	43
4.Μεταβλητές	43
5. Στατιστική ανάλυση.....	44
6. Αποτελέσματα	45
6.1 Δοκιμασίες Ισορροπίας.....	45
6.1.2 Διποδική Στήριξη με κλειστά μάτια (ECS)	46
6.1.3 Διποδική Στήριξη σε ασταθή επιφάνεια με ανοικτά μάτια (EOU).	47
6.1.4 Διποδική Στήριξη σε ασταθή επιφάνεια με κλειστά μάτια (ECU).....	49
6.1.5 Διποδική στήριξη με ταυτόχρονη μέτρηση (EOSM).	50
6.1.6 Μονοποδική στήριξη στο αριστερό πόδι(OLS)L	51

7. Συζήτηση	55
Βιβλιογραφία	67

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1 Ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά	33
Πίνακας 2 Συσχετίσεις της δύναμης , του δείκτη μάζας σώματος και της ισορροπίας	54

Περιεχόμενα εικόνων

Εικόνα 1. Ζυγαριά SECA με αναστημόμετρο	38
Εικόνα 2 Δυναμοδάπεδο τύπου KISTLER.....	39
Εικόνα 3 Μετατροπέας δύναμης και βάση δυναμομέτρου.....	40
Εικόνα 4 Ενισχυτής Quattrocento	40
Εικόνα 5 Συνθήκη μονοποδικής στήριξης.....	41
Εικόνα 6 Συνθήκη διποδικής στήριξης.....	41
Εικόνα 7 Συνθήκη διποδικής στήριξης σε ασταθή επιφάνεια	42
Εικόνα 8 Αξιολόγηση δύναμης των πελματιαίων και ραχιαίων καμπτήρων της ποδοκνημικής.....	42
Εικόνα 9 Up and Go Test.....	43

Περιεχόμενα Γραφημάτων

Γράφημα 1 Τυπική απόκλιση μετατόπισης (COP_AP_Std) του κέντρου πίεσης (ΚΠ) ηλικιωμένων <75 (μπλε) και ηλικιωμένων > 75 (κόκκινα) στον προσθοπίσθιο άξονα, στα δύο φύλα, με ανοιχτά μάτια . *: σημαντικά μεγαλύτερο	46
Γράφημα 2 Τυπική απόκλιση μετατόπισης (A) και της συνολικής μετατόπισης (B) του ΚΠ ηλικιωμένων >75 (κόκκινο) και ηλικιωμένων <75 (μπλε) στον προσθοπίσθιο άξονα , στα δύο φύλα, με κλειστά μάτια. *: σημαντικά μεγαλύτερο.....	47
Γράφημα 3 Ταχύτητα μετατόπισης (Velocity ML) του ΚΠ ηλικιωμένων <75 (μπλε) και ηλικιωμένων > 75 (κόκκινα) στο μετωπιαίο άξονα, στα δύο φύλα, με ανοιχτά μάτια σε ασταθή επιφάνεια . *: σημαντικά μεγαλύτερο.....	48
Γράφημα 4 Εύρος μετατόπισης στον A/P άξονα και ταχύτητα μετατόπισης του ΚΠ στον M/L ηλικιωμένων <75 (μπλέ) και ηλικιωμένων > 75 (κόκκινα), στα δύο φύλα, με ανοιχτά μάτια σε ασταθή επιφάνεια . *: σημαντικά μεγαλύτερο.....	49
Γράφημα 5 Ταχύτητα μετατόπισης (Velocity ML) του ΚΠ ηλικιωμένων <75 (μπλε) και ηλικιωμένων > 75 (κόκκινα) στον πλαγιομετωπικό άξονα (M/L), στα δύο φύλα, με ταυτόχρονη μέτρηση . *: σημαντικά μεγαλύτερο	51
Γράφημα 6 Ταχύτητα του εύρους μετατόπισης (Velocity AP range) στον A/P και τυπική απόκλιση μετατόπισης (COP ML Std) του ΚΠ στον M/L ηλικιωμένων <75 (μπλε) και ηλικιωμένων > 75 (κόκκινα), στα δύο φύλα, με Μονοποδική στήριξη στο αριστερό πόδι.....	52
Γράφημα 7 Συσχέτιση του δείκτη μάζας σώματος (BMI) και της τυπικής απόκλισης (acc_ML_Std) της μετατόπισης του ΚΠ στον M/L άξονα στην διποδική στήριξη με κλειστά μάτια σε ασταθή επιφάνεια .(ηλικιωμένοι <75 (μπλε) και ηλικιωμένοι > 75 (κόκκινα)),.....	54

Κατάλογος Συντομεύσεων

Συντομεύσεις	Ορισμός
A/P	Προσθοπίσθιο άξονας
BMI	Δείκτης Μάζας Σώματος
CoPrms	Μέση τετραγωνική ρίζα μετατόπισης κέντρου πίεσης
CoPmax	Μέγιστο εύρος κέντρου πίεσης
CoPrange	Εύρος της μετατόπισης κέντρου πίεσης
CoPsd	Τυπική απόκλιση κέντρου πίεσης
CoPvel	Ταχύτητα κέντρου πίεσης
ECS	Διποδική Στήριξη με κλειστά μάτια
ECU	Διποδική Στήριξη σε ασταθή επιφάνεια με κλειστά μάτια
EMG	Ηλεκτρομυογράφημα
EOS	Διποδική Στήριξη με ανοικτά μάτια
EOSM	Διποδική στήριξη με ταυτόχρονη μέτρηση
EOU	Διποδική Στήριξη σε ασταθή επιφάνεια με ανοικτά μάτια
MeanCOP	Μέση μετατόπιση κέντρου πίεσης
M/L	Πλαγιομετωπιαίος άξονας
OLSL	Μονοποδική στήριξη στο αριστερό πόδι
OLSR	Μονοποδική στήριξη στο δεξί πόδι
Velmean	Μέση ταχύτητα
KB	κέντρο Βάρους
ΚΝΣ	Κεντρικό Νευρικό Σύστημα
ΚΠ	Κέντρο Πίεσης

Περίληψη

Η ικανότητα της ισορροπίας διαταράσσεται με την αύξηση της ηλικίας, και η έκπτωση αυτής της ικανότητας ενδέχεται να χειροτερεύει όσο αυξάνεται η δυσκολία της δοκιμασίας αξιολόγησης της. Σκοπός της έρευνας αυτής ήταν να διερευνηθούν οι επιπτώσεις της ηλικίας στη στατική ισορροπία, ηλικιωμένων ατόμων ηλικίας 65-85 ετών και των δύο φύλων σε συνθήκες αυξανόμενης δυσκολίας. Η στατική ισορροπία 16 ανδρών και 19 γυναικών αξιολογήθηκε μέσω της διακύμανσης του κέντρου πίεσης κατά τη διάρκεια δοκιμασιών αυξανόμενης δυσκολίας (διποδική στάση σε σταθερή και σε ασταθή επιφάνεια: 60s με μάτια ανοιχτά και κλειστά, διποδική στάση με αντίστροφη μέτρηση: 60s και μονοποδική στήριξη: 10s). Οι μεταβλητές που αξιολογήθηκαν ήταν: η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της μετατόπισης του Κέντρου Πίεσης (ΚΠ), η μέση και τυπική απόκλιση της ταχύτητας του ΚΠ, στον προσθοπίσθιο (AP) και πλαγιομετωπιαίο (ML) άξονα. Επίσης αξιολογήθηκε η μέγιστη δύναμη των πελματιαίων και ραχιαίων καμπτήρων της ποδοκνημικής άρθρωσης σε ισομετρικό δυναμόμετρο (OT Bioelettronica). Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι οι ηλικιωμένοι +75, ανεξαρτήτως φύλου, παρουσίασαν μεγαλύτερη τυπική απόκλιση της ταχύτητας του ΚΠ ($p < 0.05$) στον πλαγιομετωπιαίο άξονα όσο αυξανόταν η δυσκολία της δοκιμασίας. Σε ιδιαίτερης δυσκολίας συνθήκη ισορροπίας, δηλαδή σε διποδική με κλειστά μάτια σε ασταθή επιφάνεια, και αντίστροφη μέτρηση, η ταλάντωση ήταν μεγαλύτερη και στους δύο άξονες στα ηλικιωμένα άτομα +75 ($p < 0.05$). Επίσης σε όλες τις μεταβλητές που σχετίζονται με την ισορροπία δεν βρέθηκε συσχέτιση με την ισομετρική δύναμη ούτε κατά τη ραχιαία κάμψη ούτε και κατά την πελματιαία κάμψη της ποδοκνημικής. Η αύξηση της αστάθειας κατά την εκτέλεση των δοκιμασιών ισορροπίας με αυξημένη δυσκολία πιθανώς να οφείλεται σε συνδυασμό πολλών παραγόντων, όπως οι εκφυλιστικές

διεργασίες του νευρομυϊκού συστήματος και της αισθητηριακής αντίληψης και η μείωση της συνολικής δύναμης των κάτω άκρων που εκδηλώνονται με την γήρανση. Τα ευρήματα αυτά μπορούν να συμβάλλουν στην έγκαιρη ανίχνευση διαταραχών της ισορροπίας και επομένως την μείωση της πιθανότητας πτώσεων και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των ηλικιωμένων, ιδιαίτερα εκείνων άνω των 75 ετών.

Λέξεις κλειδιά: ταλάντωση στάσης, γήρανση, μέγιστη δύναμη

Abstract

Balance ability is disrupted with advancing age, and this disturbance worsens as the difficulty of the assessment task increases. The aim of this research was to investigate the effects of age on static balance in tests of increasing difficulty among elderly individuals aged 65-85 years of both genders. Sixteen healthy elderly men participants and 19 women participants took part in the study. Static balance was assessed through center of pressure displacement during tests of increasing difficulty (normal quiet stance on stable and unstable surfaces: 60s with eyes open and closed, normal quiet stance with backward counting: 60s, and one leg stance: 10s). The variables evaluated included mean and standard deviation of center of pressure displacement, mean and standard deviation of velocity of center of pressure in the anteroposterior and mediolateral axes. Additionally, maximum strength of ankle plantar and dorsal flexors was assessed using an isometric dynamometer (OT Bioelettronica). The results of the study showed that elderly individuals aged ≥ 75 , regardless of gender, exhibited greater velocity of center of pressure in the mediolateral direction ($p < 0.05$) as task difficulty increased. In conditions of increased difficulty, normal quiet stance on unstable surfaces with closed eyes, and dual task condition, oscillation was greater in both axes in elderly individuals aged ≥ 75 ($p < 0.05$). Furthermore, no correlation was found between balance-related variables and either isometric strength of dorsal or plantar flexion of the ankle. The execution of balance tests with increased difficulty appears to be influenced by the combination of multiple factors, such as degenerative processes of the neuromuscular system and sensory perception, occurring with aging. These findings might contribute to early detection

of balance disorders and consequently reduce the risk of falls and improve the quality of life of the elderly, particularly of those over 75 years of age.

Keywords: postural oscillation, aging, maximum strength

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα, καθηγητή της Ιατρικής του ΕΚΠΑ, κ. Φιλίππου Αναστάσιο για την επιστημονική καθοδήγηση και το ενδιαφέρον που επέδειξε σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας μου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω, ακόμα, τα μέλη της τριμελούς επιτροπής, τον καθηγητή κ. Πατίκα Δημήτριο και τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Τσουκνίδα Αλέξανδρο για την κριτική αξιολόγηση αυτής της εργασίας και τις εποικοδομητικές συμβουλές και υποδείξεις τους.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Διδάκτορα του ΤΕΦΑΑ Σερρών, και Αποσπασμένο Καθηγητή του Τ.Ε.Φ.Α.Α. Σερρών, κ. Χαλατζογλίδη Γεώργιο και την κ.Πασχαλέρη Ζαχαρούλα, Διδάκτορα και Αποσπασμένη Καθηγήτρια του Τ.Ε.Φ.Α.Α. Σερρών καθώς επίσης και την υποψήφια Διδάκτορα του Τ.Ε.Φ.Α.Α. Σερρών, Τραπεζανίδου Μάρθα για την πολύτιμη βοήθεια και συμπαράσταση σε κάθε στάδιο της εκπόνησης αυτής της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για όλη την στήριξη τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου καθώς και όλους τους συμμετέχοντες, νέους και ηλικιωμένους, που έλαβαν μέρος στις μετρήσεις και στην έρευνα.

1.Εισαγωγή.

Η ισορροπία αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την υγεία των ηλικιωμένων. Η διατήρηση της καλής ισορροπίας επιτρέπει στους ηλικιωμένους να πραγματοποιούν καθημερινές δραστηριότητες με ασφάλεια, όπως το περπάτημα, η ορθοστασία, άρσεις από καρέκλα και αλλαγές θέσης. Ως ισορροπία ορίζεται η ικανότητα ελέγχου των μετατοπίσεων του Κέντρου Βάρους (KB) εντός των ορίων που ορίζονται από τη βάση στήριξης. Την γήρανση συνοδεύουν αλλαγές που αφορούν στην αισθητηριακή αντίληψη (όραση, ιδιοδεκτικότητα, αιθουσαία λειτουργία), βραδύτεροι χρόνοι αντίδρασης, καθώς επίσης και άλλοι επιβαρυντικοί παράγοντες όπως η πολυφαρμακία, οι χρόνιες παθήσεις (αρθρίτιδα, νόσος του Πάρκινσον, εγκεφαλικό επεισόδιο, διαβήτης κ.α) οι οποίοι έχουν σημαντικό αντίκτυπο στον έλεγχο της ισορροπίας και στην ποιότητα ζωής των ηλικιωμένων ατόμων. Εξωγενείς παράγοντες επίσης (π.χ ασταθές έδαφος, περιορισμένη ορατότητα κ.α) ή ενδογενείς (π.χ παθολογική ακοή, όραση κλπ) οδηγούν σε αλληλουχία ταλαντώσεων οδηγώντας την προβολή του κέντρου πίεσης (ΚΠ) έξω από τη βάση στήριξης, διαταράσσοντας την ισορροπία . Κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης-γήρανσης, συμβαίνουν φυσιολογικές αλλαγές, όπως αύξηση της μέγιστης δύναμης, η οποία στον άνθρωπο κορυφώνεται στην ηλικία των 20-35 ετών και στη συνέχεια μειώνεται σταδιακά με την αύξηση της ηλικίας (Danneskiold-Samsøe *et al.*, 2009; Haynes *et al.*, 2020). Η μείωση της μέγιστης δύναμης αποδίδεται σε μεγάλο βαθμό στη μείωση της μυϊκής μάζας (σαρκοπενία), η οποία μετά την 5η δεκαετία της ζωής μειώνεται κατά 1-2% τον χρόνο (Keller and Engelhardt, 2013). Επιπρόσθετα, άλλοι παράγοντες που οδηγούν στη μείωση της παραγωγής δύναμης είναι: α) η μείωση του αριθμού και του μεγέθους των μυϊκών ινών, κυρίως του τύπου IIa και IIb με την πάροδο της ηλικίας (Lexell, Taylor and Sj, 1988), β) η απώλεια κινητικών μονάδων, η οποία οφείλεται σε μηχανικά τραύματα των κινητικών

νευρώνων τους, αλλά και γ) η αντικατάσταση του μυϊκού από τον λιπώδη ιστό (Lexell and Suppl, 2018). Επομένως, οι ηλικιωμένοι λόγω αυτής της αναμενόμενης σταδιακής έκπτωσης της φυσιολογικής λειτουργίας του οργανισμού με την πάροδο του χρόνου, έχουν σαν αποτέλεσμα τη διατάραξη της ισορροπίας τους, γεγονός που επηρεάζει τόσο τους ίδιους και την ποιότητα ζωής τους όσο και την ίδια την κοινωνία.

Η στάση του σώματος δεν αποτελεί μια στατική κατάσταση, αλλά είναι το αποτέλεσμα της δυναμικής αλληλεπίδρασης ενός συνόλου αυτοματοποιημένων αισθητικοκινητικών και νευρικών συμπεριφορών (Horak, Frank and Nutt, 1996) .

Η ισορροπία διακρίνεται α) στη στατική ισορροπία, η οποία εξαρτάται από τις αισθητηριακές πληροφορίες και επιτυγχάνεται μέσω ενός αργού ρυθμιστικού μηχανισμού και β) στη δυναμική, η οποία εξαρτάται από την ικανότητα των μυών να ανταποκρίνονται γρήγορα σε κάποιο αποσταθεροποιητικό ερέθισμα. Το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (ΚΝΣ) δρα με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να ενεργοποιεί κάθε φορά τις κατάλληλες μυϊκές ομάδες με σκοπό τη διατήρηση της ισορροπίας. Οι στρατηγικές που χρησιμοποιεί το σώμα για να διατηρήσει την ισορροπία του είναι κυρίως δύο: α) η στρατηγική της ποδοκνημικής και β) η στρατηγική του ισχίου. Στην πρώτη το σώμα κινείται ως ένα τμήμα και παρατηρείται κίνηση στην άρθρωση της ποδοκνημικής. Η στρατηγική αυτή παρατηρείται σε μικρές διαταράξεις ισορροπίας, ενώ σε μεγάλες διαταραχές παρατηρείται η στρατηγική του ισχίου και η ενεργοποίηση μεγάλων μυϊκών ομάδων. Στα νεότερα άτομα συνήθως παρατηρείται η «στρατηγική της ποδοκνημικής» για αργές και εντός της περιμέτρου των ορίων σταθερότητας κινήσεις του ΚΒ, καθώς και όταν η βάση στήριξης είναι σταθερή και μεγάλη, ώστε να επιτρέπει την ανάπτυξη της ροπής γύρω από την άρθρωση της ποδοκνημικής. Αντίθετα, σε απότομες αλλαγές του ΚΒ και όταν η βάση στήριξης είναι μικρότερη και ασταθής συναντάται η «στρατηγική του ισχίου» που συνήθως παρατηρείται στα ηλικιωμένα

άτομα (Balasubramaniam and Wing, 2002) . Στην περίπτωση που το ΚΒ μετατοπιστεί εκτός των ορίων σταθερότητας δύναται να ενεργοποιηθεί η «στρατηγική του βηματισμού», προκειμένου να αποφευχθεί η πτώση (Horak, 2006) . Σύμφωνα με τον παγκόσμιο οργανισμό υγείας οι πτώσεις αποτελούν μείζον πρόβλημα δημόσιας υγείας, καθώς αποτελούν την δεύτερη αιτία θανάτου από ακούσιο τραυματισμό παγκοσμίως (Soriano, DeCherrie and Tomas, 2007).

Περίπου ένας στους τρεις ηλικιωμένους άνω των 65 χρόνων έχουν μια εμπειρία πτώσης το χρόνο και οι ρυθμοί πτώσεων αυξάνονται αναλογικά με την αύξηση της ηλικίας τους (Desforges, Tinetti and Speechley, 1989). Οι πτώσεις μπορεί να προκαλέσουν σοβαρούς τραυματισμούς, συμπεριλαμβανομένων καταγμάτων (ειδικά κατάγματα ισχίου), τραυματισμών στη κεφαλή και διαστρέμματα. Αυτοί οι τραυματισμοί μπορούν να έχουν σημαντικό αντίκτυπο στη συνολική υγεία και την ανεξαρτησία των ηλικιωμένων, οδηγώντας σε μειωμένη κινητικότητα, φόβο πτώσης και μείωση της ποιότητας ζωής τους (Brand *et al.*, 2015). Οι πτώσεις δεν αποτελούν μόνο ένα μείζον ιατρικό πρόβλημα για τη δημόσια υγεία αλλά και μεγάλο οικονομικό ζήτημα καθώς σύμφωνα με τους υπολογισμούς των τελευταίων ετών , το μέσο οικονομικό κόστος του συστήματος υγείας ανά τραυματισμό πτώσης στις χώρες της Φινλανδίας και Αυστραλίας ανέρχεται στα 3611 USD και 1049 USD αντίστοιχα. Στις Ηνωμένες πολιτείες το 2015, το εκτιμώμενο ιατρικό κόστος που αποδίδεται σε θανατηφόρες και μη θανατηφόρες πτώσεις ήταν περίπου 50,0 δισεκατομμύρια δολάρια (Narici *et al.*, 2004). Στο πλαίσιο της πολιτικής για υγιή γήρανση, η έγκαιρη πρόληψη των πτώσεων, , που οφείλεται σε μειωμένη μυϊκή δύναμη και κατ' επέκταση διαταραγμένη ικανότητα ισορροπίας, αποτελεί προτεραιότητα (Bull *et al.*, 2020).

Φαίνεται επίσης ότι η ικανότητα ισορροπίας εξαρτάται και από τον βαθμό ταλάντωσης θέσης του ΚΒ στη βάση στήριξης, η οποία αυξάνεται γραμμικά με την αύξηση της

ηλικίας αλλά και το βαθμό δυσκολίας της δοκιμασίας, ανεξάρτητα από το φύλο . Όταν απειλείται η ισορροπία απαιτούνται άμεσες αποκρίσεις προκειμένου να διατηρηθεί η σταθερότητα της θέσης του σώματος, οι οποίες όμως με την αύξηση της ηλικίας ελαττώνονται (Bull *et al.*, 2020). Επομένως, η διαδικασία της γήρανσης οδηγεί σε μία ελαττωμένη ικανότητα παραγωγής δύναμης των ραχιαίων και πελματιαίων καμπτήρων της ποδοκνημικής, καθώς επίσης και σε διαταραχές στον έλεγχο της στατικής και δυναμικής ισορροπίας, σημαντικοί παράγοντες που οδηγούν σε πιθανή πτώση.

Επιπρόσθετα μαζί με την επίδραση της ηλικίας και το φύλο παίζει ρόλο στον έλεγχο της στατικής ισορροπίας. Οι γυναίκες είναι λιγότερο δυνατές από τους άντρες και η μείωση της μυϊκής δύναμης πραγματοποιείται γρηγορότερα ενώ οι άντρες παρουσιάζουν μια γραμμική μείωση της δύναμης έως την ηλικιακή ομάδα 70-79 ετών (Danneskiold-Samsøe *et al.*, 2009). Συνεπώς μια πιο ολιστική γνώση και μελέτη των παραγόντων που επιδρούν στο έλεγχο της στατικής ισορροπίας κατά τη γήρανση αποτελεί το πρώτο και κυριότερο βήμα στην αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος και των συνεπειών του στην καθημερινότητα των ηλικιωμένων.

Είναι γνωστό ότι η ικανότητα ισορροπίας μειώνεται με την αύξηση της ηλικίας ωστόσο δεν είναι ακόμα ξεκάθαρο κατά πόσο η στατική ισορροπία επιβαρύνεται σε συνθήκες αυξανόμενης δυσκολίας και αν υπάρχουν διαφορές μεταξύ των δύο φύλων. Επίσης δεν είναι ξεκάθαρη η σχέση της μείωσης της δύναμης των μυών της ποδοκνημικής με την διατάραξη της ισορροπίας, ιδιαίτερα σε συνθήκες αυξανόμενης δυσκολίας. Θα ήταν σκόπιμο να ερευνηθούν περαιτέρω οι όποιες διαφορές υπάρχουν με την αύξηση της ηλικίας στα δύο φύλα.

2. Ανασκόπηση βιβλιογραφίας

2.1 Μεταβολές στη στατική ισορροπία λόγω γήρανσης σε συνθήκες αυξανόμενης δυσκολίας.

Όπως είναι γνωστό, η ισορροπία είναι μια πολύπλοκη διαδικασία κατά την οποία η αλληλεπίδραση των εξωτερικών και εσωτερικών δυνάμεων προκαλεί μικρές ταλαντώσεις οι οποίες απεικονίζονται στην μετατόπιση του ΚΒ του σώματος μέσα στη βάση στήριξης (Balasubramaniam and Wing, 2002). Για την διατήρηση της ισορροπίας το Κ.Ν.Σ. αναλύει και επεξεργάζεται αισθουσαία, ιδιοδεκτικά και οπτικά ερεθίσματα από εσωτερικές και εξωτερικές πηγές μέσω της αισθητήριων συστημάτων. Η διαδικασία αυτή, γνωστή ως αισθητήρια ρύθμιση (Assländer *et al.*, 2014; Isableu, Ohlmann and Cremieux, 2010), είναι υπεύθυνη για την διόρθωση μιας πιθανής διαταραχής στάσης, μειώνεται με την αύξηση της ηλικίας και την μείωση της ακρίβειας μιας αίσθησης, με αποτέλεσμα την αύξηση της πιθανότητάς πτώσεων.

Σύμφωνα με τα ερευνητικά δεδομένα οι αλλαγές στην ικανότητα ισορροπίας είναι προοδευτικές, με την μεγαλύτερη πτώση της αισθητήριας ρύθμισης να συμβαίνει στους μεγαλύτερους σε ηλικία ανθρώπους (>80 ετών; Panzer, 2015), η οποία συνοδεύεται από ένα αυξημένο κίνδυνο πτώσεων σε αυτήν την ηλικία. Είναι σημαντικό να επισημάνουμε ότι ένα σημαντικό ποσοστό 30-50% όλων των ηλικιωμένων άνω των 65 ετών πέφτουν τουλάχιστον μία φορά το χρόνο και ειδικότερα όταν αυξάνεται ο βαθμός δυσκολίας διατήρησης του ΚΒ μέσα στη βάση στήριξης (Ohansson *et al.*, 2017).

Πλούσια είναι η βιβλιογραφία σχετικά με την μειωμένη ικανότητα ισορροπίας των ατόμων μεγαλύτερης ηλικίας σε σχέση με νεότερα άτομα, κυρίως σε δοκιμασίες μεγαλύτερης δυσκολίας. Συγκεκριμένα, στην έρευνα των Masani, *et al.* (2007),

διερευνήθηκε η σχέση της ηλικίας με το πλάτος τιμών μεταξύ κέντρου πίεσης και της προβολής αυτού στο έδαφος καθώς και της επιτάχυνση του κέντρου μάζας. Στην έρευνα συμμετείχαν 11 νέοι και 15 ηλικιωμένοι οι οποίοι εκτέλεσαν διποδική στήριξη για 60 δευτερόλεπτα, εκτελώντας από μία προσπάθεια με ανοιχτά και κλειστά μάτια. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως η επιτάχυνση του κέντρου πίεσης ήταν σημαντικά μεγαλύτερη για την ομάδα των ηλικιωμένων σε σχέση με την ομάδα των νέων, καθώς και για τη συνθήκη με τα κλειστά μάτια έναντι της συνθήκης με ανοιχτά μάτια. Επιπλέον, η απόσταση μεταξύ κέντρου πίεσης και της προβολής αυτού στο έδαφος ήταν μεγαλύτερη για τους ηλικιωμένους σε σύγκριση με τους νέους συμμετέχοντες. Τέλος, βρέθηκε αναλογία για τις δύο παραπάνω μεταβλητές και υποστηρίχθηκε η υπόθεση του ανεστραμμένου εκκρεμούς. Σαν συμπέρασμα, φάνηκε ότι μια αλλαγή στη στρατηγική ελέγχου της ισορροπίας, που οφείλεται στη γήρανση προκαλεί μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ του κέντρου πίεσης και της προβολής αυτού στο έδαφος στους ηλικιωμένους και κατά συνέπεια, η επιτάχυνση μεταβολής τους κέντρου μάζας γίνεται επίσης μεγαλύτερη.

Σε ανάλογη έρευνα των Abrahamova & Ka (2008) εξετάστηκε η σχέση της ηλικίας με τη μετατόπιση του κέντρου πίεσης κατά τη διάρκεια της όρθιας στάσης κάτω από 4 συνθήκες προοδευτικής μείωσης της σωματο-αισθητικής ανατροφοδότησης (Abrahamová and Ka, 2008). Οι συμμετέχοντες ήταν 23 άντρες και 53 γυναίκες ηλικίας 20 έως 82 ετών, οι οποίοι χωρίστηκαν σε τρεις ηλικιακές ομάδες. Η αξιολόγηση της ισορροπίας έγινε σε σκληρή επιφάνεια με ανοιχτά και κλειστά μάτια και σε ασταθή/μαλακή επιφάνεια με ανοιχτά και κλειστά μάτια, με διάρκεια 50 δευτερόλεπτα για κάθε δοκιμασία. Τα αποτελέσματα έδειξαν συσχέτιση των διαταραχών της ισορροπίας με την ηλικία και την αισθητηριακή απώλεια (κλειστά μάτια), αυξάνοντας τις τιμές των μεταβλητών που σχετίστηκαν με τη μετατόπιση του ΚΠ. Συνεπώς, η

ικανότητα ισορροπίας μειώθηκε με την αύξηση της ηλικίας καθιστώντας σαφή την ανάγκη εστίασης στην έκπτωση των λειτουργιών του ανθρώπινου σώματος (Amiridis, Hatzitaki and Arabatzi, 2003). Η δυσκολία της συνθήκης ισορροπίας φαίνεται να επιβαρύνει την προσπάθεια των ηλικιωμένων να διατηρήσουν το κέντρο βάρους στη βάση στήριξης, παρουσιάζοντας μεγαλύτερες μετατοπίσεις του ΚΠ στο πλαγιομετωπιαίο και προσθοπίσθιο άξονα.

Οι διαπιστώσεις αυτές επιβεβαιώθηκαν στην προαναφερθείσα έρευνα, που πραγματοποιήθηκε σε 20 νεότερα και 19 ηλικιωμένα άτομα (Amiridis, Hatzitaki and Arabatzi, 2003). Οι συμμετέχοντες αξιολογήθηκαν στη διποδική, tandem και μονοποδική στάση. Πραγματοποιήθηκαν δύο προσπάθειες για κάθε συνθήκη και ο μέσος όρος των προσπαθειών χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση. Η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι οι ηλικιωμένοι είχαν σημαντικά μεγαλύτερες τιμές μετατόπισης του κέντρου πίεσης, στον προσθοπίσθιο και πλαγιομετωπιαίο άξονα, από τους νεότερους συμμετέχοντες. Επίσης οι διαφορές αυτές ήταν μεγαλύτερες όταν αυξανόταν ο βαθμός δυσκολίας της συνθήκης ισορροπίας, με την μονοποδική στάση να είναι η πιο δύσκολη να εκτελεσθεί από τους ηλικιωμένους.

Οι Šarabon, Kozinc and Markonić (2022a), επίσης εξέτασαν 75 ενήλικες άνω των 65 ετών στη διποδική στάση και στην στάση semi-tandem με ανοιχτά και κλειστά μάτια. Κάθε συμμετέχων πραγματοποίησε τρεις προσπάθειες των 30 δευτερολέπτων. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι οι ηλικιωμένοι είχαν μεγαλύτερη ταχύτητα μετατόπισης του κέντρου πίεσης σε σύγκριση με τους νέους, ενώ όσο αυξανόταν η δυσκολία της δοκιμασίας αυξανόταν αντίστοιχα η ταλάντωση στους ηλικιωμένους.

Σε πρόσφατη έρευνα εξετάστηκε επίσης η σχέση της ισορροπίας με την ηλικία. Οι Tsabalaki *et al.*, (2023) πραγματοποίησαν μια ενδιαφέρουσα μελέτη όπου εξέτασαν

60 συνολικά άτομα, 27 γυναίκες και 33 άντρες οι οποίοι διαχωρίστηκαν σε πέντε ομάδες (ομάδα 1: 21-30 ετών, ομάδα 2: 31-40 ετών, ομάδα 3: 41-50 ετών, ομάδα 4: 51-60 ετών και ομάδα 5: 61-75 ετών). Ο κάθε συμμετέχων κλήθηκε να ισορροπήσει σε πλατφόρμα δύναμης με τα μάτια ανοιχτά και κλειστά σε διποδική (30 δευτερόλεπτα), Tandem (20 δευτερόλεπτα) και μονοποδική στάση (10 δευτερόλεπτα). Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι οι μεσήλικες και οι μεγαλύτεροι ενήλικες παρουσίασαν χαμηλότερο έλεγχο της ισορροπίας σε συνθήκες αυξανόμενης δυσκολίας σε σχέση με τους ηλικιωμένους.

Σύγκριση ισορροπίας με βάση την ηλικία έγινε και στην έρευνα των Donath *et al.*, (2016) οι οποίοι χώρισαν τους συμμετέχοντες σε δύο ομάδες. Μια ομάδα 20 ηλικιωμένων (73 ± 6 ετών) και μία ομάδα 20 νέων (24 ± 2 ετών) αποτέλεσαν το δείγμα της έρευνας. Καταγράφηκε η μετατόπιση του κέντρου πίεσης ως δείκτης αξιολόγησης της ισορροπίας. Οι συμμετέχοντες πραγματοποίησαν: α) διποδική στάση, σε αφρώδη επιφάνεια (6cm), με ανοιχτά μάτια, β) διποδική στάση, σε σταθερό έδαφος, με κλειστά μάτια, γ) στάση tandem, με το κυρίαρχο πόδι μπροστά, σε ασταθή επιφάνεια με τα μάτια ανοιχτά, δ) στάση tandem, με το κυρίαρχο πόδι μπροστά, σε σταθερή επιφάνεια με τα μάτια κλειστά και ε) μονοποδική στάση, με το μη κυρίαρχο πόδι, σε σταθερή επιφάνεια με ανοιχτά μάτια. Δόθηκε εντολή στους συμμετέχοντες να σταθούν όσο το δυνατόν πιο ακίνητοι μπορούν για 30 δευτερόλεπτα. Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντική διαφορά μεταξύ νέων και ηλικιωμένων σε κάθε μια από τις παραπάνω στάσεις με τους ηλικιωμένους να παρουσιάζουν μεγαλύτερη ταλάντωση σε σύγκριση με τους νέους.

Σημαντική συνεισφορά στη συγκεκριμένη γνώση είχαν και οι έρευνες όπου αξιολογήθηκε επιπρόσθετα η μυϊκή δραστηριότητα των μυών που συνεισφέρουν στη διατήρηση της ισορροπίας. Συγκεκριμένα, ο Kaplanski, (2001) προσπάθησε να

διερευνήσει τη συμπεριφορά και τα χαρακτηριστικά της ισορροπίας, νέων και ηλικιωμένων, σε συνάρτηση με την εκτέλεση γνωστικών διαδικασιών. Το δείγμα αποτελούνταν από 20 νεαρούς (20-34 ετών) και 20 ηλικιωμένους (75-84 ετών). Ηλεκτρόδια κατέγραφαν τη μυϊκή δραστηριότητα του πρόσθιου κνημιαίου και του υποκνημιδίου μυός του κυρίαρχου ποδιού. Οι συμμετέχοντες αξιολογήθηκαν σε ισορροπία 20 δευτερολέπτων σε 4 διαφορετικές συνθήκες. Συγκεκριμένα, κλήθηκαν είτε απλώς να σταθούν όρθιοι με ανοιχτά μάτια, σε μικρή και μεγάλη βάση στήριξης είτε να συνδυάσουν την όρθια στάση τους με μία γνωστική δραστηριότητα (stroop test). Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντική διαφορά μεταξύ νέων και ηλικιωμένων, με τους ηλικιωμένους να εμφανίζουν μεγαλύτερη ταλάντωση στην απλή δοκιμασία ισορροπίας ενώ στη δοκιμασία που περιλάμβανε συνδυασμό δύο διαφορετικών δεξιοτήτων η ταλάντωση αυξήθηκε και για τις δύο ομάδες. Επιπλέον, η μυϊκή δραστηριότητα των ηλικιωμένων σε σύγκριση με τους νέους, ήταν σημαντικά μεγαλύτερη, υποδηλώνοντας, πως οι ηλικιωμένοι, προσαρμόζονται διαφοροποιημένα από τους νέους προκειμένου να ελαχιστοποιήσουν την ταλάντωση του σώματος.

Μια μορφή δοκιμασίας με αυξημένη δυσκολία που αξιολογήθηκε σε σχέση με την ισορροπία των ηλικιωμένων, ήταν αυτή του διπλού καθήκοντος (dual task). Νέα ερευνητικά δεδομένα έδειξαν, ότι η επιβάρυνση της εκτέλεσης της βάδισης και της ισορροπίας σε συνδυασμό με μια γνωστική συνθήκη (dual task) είναι μεγαλύτερη σε ηλικιωμένους και σε άτομα με νευροεκφυλιστικές παθήσεις σε σχέση με τους νέους και ότι αυτή η σχέση με την ηλικία ενισχύεται με την αύξηση της (Mcisaac *et al.*, 2018; Verhaeghen *et al.*, 2003). Φαίνεται, ότι η μειωμένη ικανότητα κατανομής της πληροφορίας για προσοχή κατά την διάρκεια εκτέλεσης της κίνησης μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένο κίνδυνο πτώσεων και απώλεια ανεξαρτησίας σε ενήλικες μεγαλύτερης ηλικίας με ή χωρίς νευροεκφυλιστικές καταστάσεις (Wajda *et al.*, 2017).

Ηλικιωμένοι και άτομα με νευροεκφυλιστικές παθήσεις που σχετίζονται με την ηλικία μπορεί να επηρεάζονται περισσότερο στην εκτέλεση dual task κινήσεων λόγω της διαδικασίας γήρανσης ή του εκφυλισμού των νευρωνικών κυκλωμάτων, με αποτέλεσμα να υπολείπονται τόσο στις κινητικές όσο και/ή στις γνωστικές επιδόσεις (Keller and Engelhardt, 2013). Επιπλέον σε νεότερες έρευνες διαπιστώθηκε αυξημένη εγκεφαλική δραστηριότητα, στους ηλικιωμένους, για τη διατήρηση σταθερής ισορροπίας και βάρδισης ως αποτέλεσμα της φυσιολογικής γήρανσης, δραστηριότητα που σχετίζεται και με συγκεκριμένη κινητική συμπεριφορά (Boisgontier *et al.*, 2013; Kahya *et al.*, 2022) .

Παρόμοια ευρήματα για την ισορροπία νέων και ηλικιωμένων, σε συνδυασμό με την εκτέλεση γνωστικών διαδικασιών βρήκαν οι Granacher, Gollhofer and Kressig, (2011) με τους ηλικιωμένους να έχουν μεγαλύτερη μέση μετατόπιση του Κέντρου Πίεσης και μεταβλητότητα διασκελισμών στην βάρδιση σε σχέση με τους νέους, σε όλες τις συνθήκες. Στα άτομα τρίτης ηλικίας επίσης η αστάθεια κατά την στατική ισορροπία μεγαλώνει όσο αυξάνει η πολυπλοκότητα της κίνησης, δηλαδή με την ταυτόχρονη εκτέλεση γνωστικής λειτουργίας. Επομένως, σύμφωνα με τους ερευνητές για την καλύτερη πρόγνωση και αξιολόγηση της ισορροπίας συνιστάται στα πρωτόκολλα αξιολόγησης τόσο της ισορροπίας όσο και της βάρδισης να συμπεριλαμβάνονται κινήσεις που να συνδυάζουν και την γνωστική λειτουργία, συνθήκη που από μόνη της είναι επιβαρυντική τόσο στους νέους όσο και στους ηλικιωμένους.

Οι ίδιες διαπιστώσεις έγιναν και σε ηλικιωμένα άτομα με προβλήματα υγείας. Συγκεκριμένα οι Yu *et al.*, (2008) μέτρησαν τρεις ομάδες για να ερευνήσουν την ισορροπία κατά την όρθια διποδική στάση. Συγκεκριμένα, συμμετείχαν 12 ασθενείς μετά από εγκεφαλικό, 22 υγιείς ηλικιωμένοι και 25 υγιείς νέοι. Όλοι οι συμμετέχοντες έπρεπε να είναι σε θέση να διατηρήσουν την όρθια στάση για 2 τουλάχιστον λεπτά και

να αντιλαμβάνονται κάποιες απλές οδηγίες. Η δοκιμασία ήταν η ακόλουθη: κάθε συμμετέχων έπρεπε να στέκεται όρθιος, ξυπόλυτος σε μία πλατφόρμα καταγραφής δύναμης με τα μάτια και τα πόδια παράλληλα σε μια απόσταση 6 εκατοστών μεταξύ τους. Όλοι πραγματοποίησαν 5 διαδοχικές προσπάθειες με επαρκές διάλειμμα μεταξύ κάθε προσπάθειας. Η ανάλυση έδειξε πως, στον προσθιοπίσθιο άξονα, η επιτάχυνση του κέντρου μάζας καθώς και η απόσταση μεταξύ μεταβλητών του κέντρου μάζας και κέντρου πίεσης, των ηλικιωμένων και των ασθενών με εγκεφαλικό, ήταν μεγαλύτερη από την ομάδα των νέων. Η ομάδα των υγιών ηλικιωμένων και αυτών με εγκεφαλικό δεν είχαν κάποια διαφορά μεταξύ τους στον προσθιοπίσθιο άξονα παρά μόνο στον πλαγιομετωπιαίο. Επιπλέον, οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα πως η επιτάχυνση του κέντρου μάζας καθώς και η απόσταση μεταξύ του κέντρου μάζας και κέντρου πίεσης είναι σημαντικές μεταβλητές για την αξιολόγηση της ισορροπίας. Επειδή, η σχέση μεταξύ των μεταβλητών είναι ευαίσθητη σε αλλαγές, η αλλαγή της στρατηγικής ελέγχου που προκαλείται με τη γήρανση, ή μετά από νευρολογικές βλάβες, μπορεί να επηρεάσει την απόσταση μεταξύ κέντρου μάζας και κέντρου πίεσης.

Αρκετές έρευνες έχουν διερευνήσει τη σχέση βαθμού ισορροπίας με την αύξηση της πτώσεων σε άτομα τρίτης ηλικίας προκειμένου να αποφευχθεί η πτώση (Pollock, Durward and Rowe, 2000). Σε μια πρόσφατη έρευνα αξιολογήθηκε η συμβολή των συστημάτων αισθητήριας ρύθμισης στη διατήρηση της ισορροπίας στην όρθια θέση σε σταθερή και κινούμενη πλατφόρμα σε 39 υγιείς ηλικιωμένες γυναίκες (Alcock, Brien and Vanicek, 2018). Στην παρούσα έρευνα διαπιστώθηκε ότι ο έλεγχος της στάσης σε υγιείς ηλικιωμένες γυναίκες απειλείται όταν η σωματοαισθητική πληροφόρηση είναι ανακριβής και η οπτική πληροφορία είναι μειωμένη και οι διαφορές αυτές είναι σημαντικές με την αύξηση της ηλικίας και τον αυξανόμενο βαθμό δυσκολίας της συνθήκης ισορροπίας (ασταθής βάση ισορροπίας). Φαίνεται η ηλικία σχετίζεται

περισσότερο με την αιθουσαία διαταραχή σε σύγκριση με άλλα αισθητήρια συστήματα και ότι με την αύξηση της ηλικίας οι ηλικιωμένες γυναίκες υιοθετούν τη στρατηγική ισχίου για τον έλεγχο της ισορροπίας σε αυξημένης δυσκολίας συνθήκες ισορροπίας.

Παρόμοια, οι Ohansson *et al.*, (2017) εξέτασαν την ισορροπία 1877 ηλικιωμένων για διερεύνηση πιθανών πτώσεων. Κάθε συμμετέχων πραγματοποίησε δύο προσπάθειες των 60 δευτερολέπτων στην όρθια στάση με ανοιχτά και κλειστά μάτια. Μετρήθηκε η μετατόπιση του κέντρου πίεσης στον προσθιοπίσθιο και πλαγιομετωπικό άξονα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, οι συμμετέχοντες που είχαν εμπειρία πτώσης εμφάνισαν μεγαλύτερη μετατόπιση του κέντρου πίεσης σε σύγκριση με τους συμμετέχοντες χωρίς εμπειρία πτώσης. Τα αποτελέσματα ήταν παρόμοια τόσο για τη συνθήκη μέτρησης με ανοιχτά όσο και με κλειστά μάτια. Επίσης, ο κίνδυνος πτώσης αυξήθηκε κατά 75% για τους συμμετέχοντες που εμφάνισαν συνολικό μήκος ταλάντωσης ≥ 400 mm κατά τη δοκιμασία με ανοιχτά μάτια και διπλασιάστηκε σχεδόν για μήκος ταλάντωσης ≥ 920 mm κατά τη δοκιμασία με κλειστά μάτια, επιβεβαιώνοντας τη σημασία που έχει η μικρή ταλάντωση του κέντρου πίεσης κατά τη διάρκεια της όρθιας στάσης του ηλικιωμένου και η συμβολή της όρασης στην αποφυγή πτώσεων.

Επιπρόσθετα, στην έρευνα των Rajala *et al.*, (2008), διερευνήθηκε η σχέση της αυξανόμενης κίνησης του κέντρου πίεσης και του πιθανού κινδύνου πτώσης σε εξωτερικούς και εσωτερικούς χώρους. Συμμετείχαν 434 γυναίκες ηλικίας 63-73 χρόνων. Κάθε συμμετέχων πραγματοποίησε 30 δευτερόλεπτα διποδική στάση με ανοιχτά και κλειστά μάτια, διποδική στάση συνδυάζοντας μια γνωστική διαδικασία και 20 δευτερόλεπτα στη στάση tandem και semi-tandem. Το κύριο εύρημα ήταν πως, σε ένα χρονικό διάστημα 12 μηνών, η αυξημένη κίνηση του κέντρου πίεσης συνδυάστηκε

με μεγάλο αριθμό πτώσεων στις δοκιμασίες ισορροπίας με αυξανόμενο βαθμό δυσκολίας, γεγονός που επιβάρυνε ιδιαίτερα τους πιο ηλικιωμένους.

Σε παρόμοια έρευνα από τους Melzer *et al.*, (2003) οι συμμετέχοντες ήταν 143 υγιείς ηλικιωμένοι άνω των 65 ετών, με μέσο όρο ηλικίας τα 78 έτη. Αξιολογήθηκαν 6 συνθήκες ισορροπίας: διποδική στάση σε σταθερή επιφάνεια με ανοιχτά και κλειστά μάτια, διποδική στάση σε ασταθή επιφάνεια με ανοιχτά μάτια, και στάση tandem με ανοιχτά κα κλειστά μάτια σε σταθερή επιφάνεια και σε ασταθή επιφάνεια. Οι ηλικιωμένοι που εμφάνισαν μεγαλύτερο συνολικό μήκος μετατόπισης, ταχύτητα μετατόπισης και μετατόπιση στο πλάγιο επίπεδο με ανοιχτά μάτια είχαν περισσότερες στατιστικά πτώσεις από τους υπόλοιπους. Επίσης στις δοκιμασίες με αυξανόμενο βαθμό δυσκολίας οι συμμετέχοντες με επεισόδια πτώσεων είχαν μεγαλύτερη συνολική πλαγιομετωπιαία μετατόπιση. Επίσης ο συντελεστής παλινδρόμησης έδειξε τρεις φορές μεγαλύτερο κίνδυνο εμφάνισης πτώσεων στα άτομα με μεγάλη πλαγιομετωπιαία ταλάντωση η οποία συνδυάστηκε με στρατηγική ισχίου που υιοθετούν οι ηλικιωμένοι και την ενεργοποίηση μεγάλων μυϊκών ομάδων για την διατήρηση της ισορροπίας τους.

2.2 Η επίδραση φύλου στην ισορροπία

Μία ακόμη παράμετρος που φαίνεται να επηρεάζει την ισορροπία είναι το φύλο σε συνδυασμό με την αύξηση της ηλικίας, αν και οι περισσότερες έρευνες δεν φαίνεται να καταλήγουν σε ξεκάθαρα συμπεράσματα σχετικά με το ποιο φύλο επιβαρύνεται περισσότερο

Οι Alcock, Brien and Vanicek, (2018), εξέτασαν 39 γυναίκες ηλικιωμένες στην ισορροπία σε σταθερή και με ταλάντωση επιφάνεια και αξιολόγησαν την ετήσια φθορά των βιολογικών συστημάτων και την επίδραση της στην ικανότητα ισορροπίας.

Διαπίστωσαν ότι οι γυναίκες επηρεαζόταν περισσότερο από την απώλεια αιθουσαίων πληροφοριών με την αύξηση της ηλικίας, γεγονός που τις αναγκάζει να υιοθετούν στρατηγική ισχίου και να κινούνται ασύμμετρα κατά την διατήρηση του βάρους τους όταν δεχόταν επιπλέον ταλάντωση.

Σε μία παλαιότερη μελέτη οι Masui *et al.*, (2005) ερεύνησαν τη σχέση φύλου και ισορροπίας. Συγκεκριμένα 343 συμμετέχοντες 107 άνδρες και 236 γυναίκες ηλικίας 55-83 ετών πήραν μέρος στην έρευνα. Για την αξιολόγηση της κίνησης του κέντρου πίεσης χρησιμοποιήθηκε πλατφόρμα σταθερής δύναμης. Η κάθε δοκιμασία διαρκούσε 30 δευτερόλεπτα και οι συμμετέχοντες ήταν σε διποδική στήριξη με ανοιχτά και κλειστά μάτια και εκτελούσαν την άσκηση 2 φορές. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν πως οι άνδρες είχαν στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη μετατόπιση του κέντρου πίεσης και η μετατόπιση αυξανόταν με την αύξηση της δυσκολίας της άσκησης.

Πρόσφατα οι Šarabon, Kozinc and Markonić, (2022a) εξέτασαν την επίδραση της ηλικίας και του φύλου στην ικανότητα ισορροπίας σε συνθήκες αυξανόμενης δυσκολίας. Στην μελέτη συμμετείχαν 40 νέοι και 34 ηλικιωμένοι (37 άνδρες, 37 γυναίκες). Οι ερευνητές σύγκριναν την ταχύτητα ταλάντωσης, το πλάτος και την συχνότητα μετατόπισης του κέντρου πίεσης στη διποδική στάση με ανοιχτά και κλειστά μάτια και Tandem στάση με ανοιχτά μάτια. Οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα πως η ταλάντωση στάσης στα νεαρά άτομα στα δύο φύλα δεν διαφέρει, ενώ στα ηλικιωμένα άτομα οι άνδρες εμφάνισαν μεγαλύτερη ταλάντωση στάσης σε σχέση με τις γυναίκες.

Αντιθέτως σε μία πρόσφατη μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τους Li *et al.*, (2020) οι οποίοι μελέτησαν 1984 άτομα με μέση ηλικία $70,5 \pm 7,5$ εκ των οποίων 940 ήταν

άνδρες και 1044 γυναίκες, δεν βρήκαν στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα σε γυναίκες και άνδρες ενώ βρέθηκε ότι μετά την ηλικία των 60 ετών η ικανότητα της στατικής ισορροπίας μειώνεται σημαντικά και στα δύο φύλα.

Σε μια άλλη μελέτη, οι N.R. Colledge; P. Cantley; I. Peaston; H. Brash; S. Lewis; J.A. Wilson, (1994) διερεύνησαν την ταλάντωση του σώματος στην όρθια στάση πάνω σε σταθερή ή ασταθή επιφάνεια στήριξης με ή χωρίς οπτική ανατροφοδότηση. Στη μελέτη συμμετείχαν 74 υγιή άτομα και των δύο φύλων τα οποία χωρίστηκαν σε τέσσερις ηλικιακές ομάδες (20-40 ετών, 40-60 ετών, 60-70 ετών, και >70 ετών). Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι η μετατόπιση του ΚΠ αυξήθηκε γραμμικά με την ηλικία σε όλες τις ηλικιακές ομάδες χωρίς να επηρεάζεται από το φύλο. Ακόμα παρατηρήθηκε μεγαλύτερη εξάρτηση από την ιδιοδεκτικότητα παρά από την όραση.

Μία άλλη ενδιαφέρουσα μελέτη διεξήχθη από τους Ozsoy *et al.*, (2019), οι οποίοι μελέτησαν τη σχέση ισορροπίας με το φύλο σε άτομα που εμφάνιζαν μη τυπικό χρόνιο πόνο στη μέση. Συνολικά στο πείραμα πήραν μέρος 51 άτομα (25 γυναίκες και 26 άνδρες) ηλικίας 18 έως 65 ετών. Για την αξιολόγηση της στατικής και δυναμικής ισορροπίας χρησιμοποιήθηκε πλατφόρμα ισορροπίας και οι συμμετέχοντες εκτελούσαν διποδική στάση με ανοιχτά και κλειστά μάτια σε σταθερή επιφάνεια, με ανοιχτά μάτια σε ασταθή επιφάνεια και μονοποδική στάση με ανοιχτά και κλειστά μάτια. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν πως δεν υπάρχει καμία διαφορά μεταξύ των δύο φύλων στα στατική και δυναμική ισορροπία. Ωστόσο παρατηρήθηκε αύξηση του φόβου της κίνησης και της έντασης του πόνου στη μέση κατά την διάρκεια της άσκησης στις γυναίκες.

Οι αντικρουόμενες απόψεις διαφόρων ερευνητών σχετικά με την επίδραση της ηλικίας και του φύλου στην ισορροπία, οδήγησαν τους Šarabon, Kozinc and Marković, (2022b)

να εξετάσουν 75 ενήλικες άνω των 65 ετών στην όρθια διποδική στάση και στην στάση semi-tandem με ανοιχτά και κλειστά μάτια, διάρκειας 30 δευτερολέπτων. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι οι ηλικιωμένοι έχουν μεγαλύτερη ταχύτητα μετατόπισης του κέντρου πίεσης σε σύγκριση με τους νέους, ενώ όσο αυξανόταν η δυσκολία της δοκιμασίας αυξανόταν αντίστοιχα η ορθοστατική ταλάντωση στους ηλικιωμένους.

Οι αντικρουόμενες απόψεις των παραπάνω ερευνητών οδηγεί στην ανάγκη περαιτέρω διερεύνησης της σχέσης φύλου και ισορροπίας σε μεγαλύτερο ηλικιακό εύρος και με μεγαλύτερο εύρος διαδικασιών ελέγχου, σε σχέση και με τη μέγιστη δύναμη.

2.3 Σχέση μέγιστης δύναμης των πελματιαίων και ραχιαίων καμπτήρων μυών της ποδοκνημικής άρθρωσης και του Δείκτη Μάζας Σώματος με τη στατική ισορροπία.

Όπως είναι γνωστό, η δύναμη στον άνθρωπο ελαττώνεται σταδιακά και φτάνει σε μια συνολική μείωση μέχρι τα 80 έτη σε ποσοστό 20-40% (Granacher *et al.*, 2009; Lexell and Suppl, 2018). Οι κυριότεροι μύες οι οποίοι συμβάλλουν στη σταθερότητα θέσης κατά την όρθια στάση είναι οι ραχιαίοι καμπτήρες, οι οποίοι ελέγχουν τη σταθερότητα κατά τη μετατόπιση προς τα πίσω, προκειμένου να εμποδίσουν τη μεταφορά του ΚΒ πίσω και πέρα από τη βάση στήριξης, ενώ οι πελματιαίοι καμπτήρες δρουν προκειμένου να εμποδίσουν την προς τα εμπρός μετατόπιση και εκτός της βάσης στήριξης του ΚΒ. Οι εκκίνοντες και καμπτήρες μύες του γονάτου επίσης ελέγχουν την προς τα εμπρός και προς τα πίσω ταλάντωση αντίστοιχα στην άρθρωση του ισχίου. Η μείωση της δύναμης των ραχιαίων καμπτήρων της ποδοκνημικής άρθρωσης και των εκκινόντων μυών της άρθρωσης του γονάτου σχετίζεται σημαντικά με την απώλεια ισορροπίας και με τις πτώσεις (Bellew and Fenter, 2006; Geriatr, 1987; Tsabalaki *et al.*, 2023).

Στους ηλικιωμένους η ταλάντωση στη στατική ισορροπία είναι μεγαλύτερη στο προσθοπίσθιο (anterior-posterior A/P) επίπεδο σε σύγκριση τόσο με το πλαγιομετωπιαίο (mediolateral M/L) όσο και με νεότερης ηλικίας άτομα (Laughton *et al.*, 2003; Samuel, Solomon and Mohan, 2015). Το εύρος της ταλάντωσης θέσης αυξάνεται αναλογικά με την αύξηση του βαθμού δυσκολίας στις δοκιμασίες ισορροπίας (Amiridis, Hatzitaki and Arabatzi, 2003; Billot *et al.*, 2010; Simoneau, Martin and Hoecke, 2005), ενώ παράλληλα υιοθετείται περισσότερο η «στρατηγική της ποδοκνημικής άρθρωσης» (τρικέφαλος της γαστροκνημίας/πρόσθιος κνημιαίος), έναντι της ολοένα αυξανόμενης (όσο αυξάνεται ο βαθμός δυσκολίας) συνενεργοποίησης των μυών της άρθρωσης του γονάτου και ισχίου (ορθός μηριαίος/οπίσθιοι μηριαίοι και μέγας γλουτιαίος; Barbado *et al.*, 2012; Vieira *et al.*, 2011). Ο εκφυλισμός του μυοσκελετικού συστήματος, κυρίως η επίδραση της γήρανσης στους περιφερικούς μύες των κάτω άκρων (Woollacott, Shumway-cook and Nashner, 1986), αλλά και η αδυναμία ελέγχου της δύναμης κατά την εκτέλεση λειτουργικών δοκιμασιών, έχουν ενοχοποιηθεί για την τάση των ηλικιωμένων να χρησιμοποιούν περισσότερο τους μύες του ισχίου προκειμένου να ισορροπήσουν (Enoka, 2018; Laughton *et al.*, 2003; Yu *et al.*, 2008).

Σε μια πρόσφατη έρευνα οι Kellis *et al.*, 2007 και Skerparianos *et al.*, 2023, ερεύνησαν σε 43 ηλικιωμένα άτομα ηλικίας 70 ± 4 (23 γυναίκες και 20 άντρες) την ισορροπία σε δοκιμασίες αυξανόμενης δυσκολίας, διποδική στήριξη για 30 δευτερόλεπτα, στάση tandem για 20 δευτερόλεπτα και μονοποδική στήριξη για 10 δευτερόλεπτα ενώ η δραστηριότητα του πρόσθιου κνημιαίου, έσω γαστροκνημίου, του ορθού μηριαίου και του ημιτενοντώδη μυών αξιολογήθηκαν με ηλεκτρομυογράφημα (EMG). Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν πως η ικανότητα δύναμης της ποδοκνημικής συμβάλλει σημαντικά στον έλεγχο της ταλάντωσης σε όρθια στάση.

Οι Vito, Ditroilo and Pesce, (2014) εξέτασαν με δοκιμασίες δυναμικής ισορροπίας, σε 57 άτομα ηλικίας 65-75 ετών και των δύο φύλων κατά πόσο συσχετίζεται ο έλεγχος της στάσης κατά την όρθια θέση με τη δύναμη και την ισχύ. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι υπάρχει θετική συσχέτιση της δύναμης και της ισχύος των μυών των κάτω άκρων, συγκεκριμένα των εκτινόντων μυών του γονάτου, και της εκτέλεσης δοκιμασιών δυναμικής ισορροπίας.

Επιπλέον, η μειωμένη παραγωγή δύναμης των μυών των κάτω άκρων, και ιδιαίτερα των μυών της ποδοκνημικής άρθρωσης, επηρεάζει αρνητικά την ισορροπία, ενώ έχει βρεθεί ότι η τυχόν ασυμμετρία μεταξύ των δύο άκρων στην παραγωγή δύναμης, από τους ραχιαίους καμπτήρες, αυξάνει την πιθανότητα πτώσης (Barbado *et al.*, 2012).

Οι Shapiro *et al.*, (2014) επίσης επιχείρησαν να διερευνήσουν εάν η ταχύτητα έκτασης των πελματιαίων καμπτήρων της ποδοκνημικής άρθρωσης συμβάλλει στον έλεγχο της ισορροπίας κατά τη διάρκεια όρθιας στάσης. Συμμετείχαν 16 υγιείς νέοι (23.8 ± 3.9 ετών), και αξιολογήθηκαν το κέντρο πίεσης, το κέντρο μάζας, ο λόγος των μετατοπίσεων τους και η ταχύτητα μετατόπισής τους στο προσθιοπίσθιο επίπεδο. Κατά τη διάρκεια των δοκιμασιών ισορροπίας, αυξανόμενης δυσκολίας, διάρκειας 40 δευτερολέπτων στην όρθια διποδική στάση με ανοιχτά μάτια και με κλειστά μάτια, αξιολογήθηκε η ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα του υποκνημίδιου μυός και των έσω και έξω γαστροκνήμιου μυών. Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντική συσχέτιση της ταλάντωσης του σώματος και της ηλεκτρομυογραφικής δραστηριότητας των πελματιαίων καμπτήρων της ποδοκνημικής υποδηλώνοντας πως η δραστηριότητα των πελματιαίων καμπτήρων διαμορφώνεται από τις αλλαγές στη θέση του σώματος.

Οι Donath *et al.*, (2016) εξέτασαν τη σχέση που υπάρχει ανάμεσα στη δραστηριότητα μυών του κορμού και των άκρων και στην ταλάντωση θέσης κατά τη διάρκεια πέντε

διαφορετικών δοκιμασιών στατικής ισορροπίας αυξανόμενης δυσκολίας σε νέους και ηλικιωμένους. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι στους ηλικιωμένους παρατηρείται μεγαλύτερη ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα στο σύνολο των υπό μελέτη μυών συγκριτικά με τους νέους καθώς και μεγαλύτερη ταλάντωση θέσης.

Οι Nagaia *et al.*, (2018) μελέτησαν τη διαφορά της μυϊκής συνεργοποίησης κατά την ισορροπία ανάμεσα σε νέους και ηλικιωμένους. Στην έρευνα συμμετείχαν 46 υγιείς ηλικιωμένοι και 34 υγιείς νέοι. Οι εξεταζόμενοι κλήθηκαν να ισορροπήσουν στην πλατφόρμα για 10 δευτερόλεπτα με τα μάτια ανοιχτά ενώ η μυϊκή δραστηριότητα μετρήθηκε με ηλεκτρομυογράφημα. Επιπρόσθετα κάθε συμμετέχων πραγματοποίησε βάδιση σε απόσταση 12 μέτρων και οι μεταβλητές που αξιολογήθηκαν ήταν η ταχύτητα βάδισης και ο ρυθμός. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν πως οι νεότεροι είχαν καλύτερη δυναμική και στατική ισορροπία σε όλες τις μεταβλητές, επιδεικνύοντας ταυτόχρονα μικρότερη μυϊκή ανταγωνιστική δραστηριότητα στους μύες των κάτω άκρων.

Οι Wu *et al.*, (2017) σε μια μακροχρόνια μελέτη διάρκειας 10 ετών αξιολόγησαν την επίδραση της δύναμης του τετρακέφαλου και των εκτινόντων μυών του ισχίου στην ισορροπία 470 γυναικών ηλικίας 25 έως 44 ετών. Η δύναμη των μυών μετρήθηκε σε δυναμόμετρο, μία φορά στην αρχή της μελέτης και μια δεύτερη φορά κατά την ολοκλήρωσή της, χρονική στιγμή κατά την οποία εκτιμήθηκε και η ισορροπία των συμμετεχόντων με λειτουργικά τεστ (Timed Up and Go test, Step test, Functional Reach test, Lateral Reach test). Σύμφωνα με τους ερευνητές, όσο μεγαλύτερη είναι η μυϊκή δύναμη στις νεότερες γυναίκες και πιο αργός ο ρυθμός με τον οποίο ελαττώνεται αυτή με την αύξηση της ηλικίας, τόσο μεγαλύτερος είναι ο έλεγχος της ισορροπίας στη μέση ηλικία.

Ακόμη μια ενδιαφέρουσα μελέτη διεξήχθη από τους Muehlbauer and Wehrle, (2012), οι οποίοι μελέτησαν τη σχέση της μυϊκής δύναμης των πελματιαίων καμπτήρων με την ισορροπία σε ηλικιωμένους. Είκοσι τέσσερις υγιείς και σωματικά δραστήριοι ηλικιωμένοι ηλικίας 70 ± 5 ετών και 32 άτομα, 9 γυναίκες και 23 άντρες, μέσης ηλικίας (56 ± 4 έτη), συμμετείχαν στη μελέτη. Αξιολογήθηκε η μέγιστη ισομετρική δύναμη των εκτιμώντων μυών των κάτω άκρων. Σε ότι αφορά στους ηλικιωμένους, η μέγιστη σύγκεντρη ροπή των κάτω άκρων είναι μειωμένη σε σύγκριση με τους μεσήλικες και τους νεαρούς υγιείς ενήλικες, με τις πιο σοβαρές απώλειες να συμβαίνουν σε ενήλικες άνω των 75 ετών. Ο μικρότερος μυϊκός όγκος καθώς και η αυξημένη ανταγωνιστική μυϊκή δραστηριότητα φαίνεται να ευθύνονται για τα μειωμένα επίπεδα της μέγιστης σύγκεντρης ροπής στους ηλικιωμένους

Οι ίδιοι ερευνητές στη συνέχεια εξέτασαν τη σχέση μέγιστης δύναμης και ισορροπίας. Ο έλεγχος στάσης αξιολογήθηκε σε 32 άτομα, 9 γυναίκες και 23 άντρες, μέσης ηλικίας (56 ± 4 έτη) σε συνθήκες στατικής και δυναμικής ισορροπίας σε πλατφόρμα ισορροπίας κατά τη στήριξη στο ένα πόδι, με διάρκεια κάθε δοκιμασίας στα 30 δευτερόλεπτα. Καταγράφηκε η ισομετρική ροπή των πελματιαίων καμπτήρων του κυρίαρχου κάτω άκρου (μέγιστη ισομετρική ροπή). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης δεν βρέθηκαν σημαντικές συσχετίσεις μεταξύ στατικής και δυναμικής ισορροπίας αλλά και μεταξύ ισορροπίας και δύναμης σε άτομα μέσης ηλικίας, γεγονός που δείχνει ότι πρόκειται για ανεξάρτητες μεταξύ τους μεταβλητές οι οποίες θα πρέπει να εξασκούνται συμπληρωματικά η μία με την άλλη (Muehlbauer and Wehrle, 2012).

Οι Trajković *et al.*, (2021) εξέτασαν τη σχέση ανάμεσα στη δύναμη των πελματιαίων και ραχιαίων καμπτήρων της ποδοκνημικής άρθρωσης, στο εύρος κίνησης της ποδοκνημικής άρθρωσης και σε μεταβλητές μετατόπισης του ΚΠ (ταχύτητα, εύρος, συχνότητα), στο προσθοπίσθιο και πλαγιομετωπιαίο επίπεδο, σε νέους αθλητές 13-33

ετών υψηλού επιπέδου, κατά τη μονοποδική στάση. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι το εύρος κίνησης και η δύναμη των πελματιαίων καμπτήρων της ποδοκνημικής σχετίζονται με το εύρος ταλάντωσης του ΚΠ στην πλαγιομετωπική κατεύθυνση.

Οι Amiridis *et al.*, (2005) εξέτασαν την επίδραση που ασκεί το διαφορετικό επίπεδο δύναμης των ραχιαίων καμπτήρων της ποδοκνημικής άρθρωσης στην ικανότητα στατικής ισορροπίας, σε ηλικιωμένους. Η εφαρμογή ενός πρωτοκόλλου ενδυνάμωσης με ηλεκτροδιέγερση, των ραχιαίων καμπτήρων στους 10 από τους 21 συμμετέχοντες, είχε ως αποτέλεσμα να αυξηθεί η ροπή των μυών στην ομάδα των «δυνατών», όπως διαπιστώθηκε από τη μέτρηση της μέγιστης ισομετρικής δύναμης σε ισοκινητικό δυναμόμετρο, να ελαττωθεί η ταλάντωση κατά τη στάση, αλλά και να υιοθετηθεί περισσότερο η στρατηγική της ποδοκνημικής στις 3 διαφορετικές δοκιμασίες στατικής ισορροπίας αυξανόμενης δυσκολίας (διποδική, tandem, μονοποδική). Οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα πως η ενδυνάμωση της συγκεκριμένης μυϊκής ομάδας θα μπορούσε δυνητικά να βελτιώσει τον έλεγχο της όρθιας στάσης (Stavropoulos, 2005).

Οι Tsabalaki *et al.*, (2023) εξέτασαν την επίδραση της δύναμης των μυών των κάτω άκρων στη στατική ισορροπία, και πιο συγκεκριμένα σε δοκιμασίες αυξανόμενης δυσκολίας, 60 υγιών ατόμων ηλικίας 21-75 ετών και των δύο φύλων. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης, η δύναμη των μυών των κάτω άκρων μειώνεται με την πάροδο της ηλικίας, ενώ αντίστοιχα, αναλογικά και με τη δυσκολία της δοκιμασίας αυξάνεται η ταλάντωση θέσης. Κατά τη διάρκεια των τριών δοκιμασιών στατικής ισορροπίας και στις δύο οπτικές συνθήκες προέκυψαν μέτριες αρνητικές συσχετίσεις της ισομετρικής ροπής των μυών των κάτω άκρων με την ταχύτητα μετατόπισης του ΚΠ ($r = -0.39$ έως -0.61), στον προσθοπίσθιο και πλαγιομετωπιαίο άξονα. Όσο μικρότερη είναι η δύναμη τόσο μεγαλύτερη η ταχύτητα μετατόπισης του ΚΠ και η

ταλάντωση κατά την όρθια θέση, ιδιαίτερα όταν οι απαιτήσεις διατήρησης της όρθιας θέσης αυξάνονται, ανεξάρτητα από την ηλικία.

Μία ακόμη ενδιαφέρουσα μελέτη πραγματοποιήθηκε από τους Bok, Lee and Lee, (2013) οι οποίοι μελέτησαν τις αλλαγές της δύναμης και του εύρους κίνησης των πελματιαίων καμπτήρων κατά τη γήρανση και κατά πόσο τα παραπάνω επηρεάζουν την ισορροπία. Το πειραματικό δείγμα περιλάμβανε 60 υγιή άτομα (24 άνδρες και 36 γυναίκες) τα οποία ταξινομήθηκαν σε τρεις ηλικιακές ομάδες (1^η 20 -40 ετών, 2^η 40-65 ετών , 3^η άνω των 65 ετών). Για την αξιολόγηση της ισορροπίας χρησιμοποιήθηκε το ισοκινητικό δυναμόμετρο και οι συνθήκες μέτρησης ήταν η μονοποδική και διποδική στήριξη για 20 δευτερόλεπτα με ανοιχτά μάτια και οι μεταβολές του κέντρου πίεσης αφορούσαν το προσθοπίσθιο και πλαγιομετωπιαίο επίπεδο. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως η δύναμη του πελματιαίου καμπτήρα και το εύρος κίνησής του μειώνονται στατιστικά σημαντικά κατά τη γήρανση, γεγονός που επηρεάζει και τη μετατόπιση του κέντρου βάρους του σώματος, αυξάνοντας την πιθανότητα πτώσης και διαμορφώνοντας μια ασταθή στάση στους ηλικιωμένους .

Επίσης οι Cattagni *et al.*, (2016) μελέτησαν τη σχέση μεταξύ της μέγιστης ισομετρικής ροπής των πελματιαίων και ραχιαίων καμπτήρων μυών της ποδοκνημικής άρθρωσης και της μετατόπισης του ΚΠ στην όρθια στάση σε 90 άτομα ηλικίας 18-90 ετών, τα οποία χωρίστηκαν σε 3 ηλικιακές ομάδες, 18-34 ετών, 44-59 ετών, 62-87 ετών (χωρίς ιστορικό πτώσεων) και 64-89 ετών (με ιστορικό πτώσεων). Η μελέτη αποσκοπούσε στον προσδιορισμό του ορίου της μέγιστης ισομετρικής ροπής κάτω από το οποίο διαταράσσεται η ισορροπία. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης η αδυναμία των πελματιαίων και ραχιαίων καμπτήρων μυών επιδεινώνει την αστάθεια κατά την όρθια στάση, διαπίστωση η οποία έγινε ιδιαίτερα αντιληπτή στους ηλικιωμένους με ιστορικό πτώσεων. Η μέγιστη ροπή των μυών της ποδοκνημικής άρθρωσης θα

μπορούσε δυνητικά να αποτελέσει έναν εύκολο και αποτελεσματικό δείκτη επικείμενης πτώσης.

Αντίθετα, από τη συστηματική ανασκόπηση και μετά-ανάλυση των Muehlbauer, Gollhofer and Granacher, (2015) προέκυψαν μικρού βαθμού συσχετίσεις μεταξύ μεταβλητών της ισορροπίας και της δύναμης των κάτω άκρων ανεξάρτητα από την εξεταζόμενη κάθε φορά ηλικιακή ομάδα. Ωστόσο, διαπιστώθηκαν σημαντικά μεγαλύτεροι συντελεστές συσχέτισης των παραμέτρων της ισορροπίας και συγκεκριμένα της δυναμικής σταθερής ισορροπίας (dynamic steady-state balance), με τη μέγιστη δύναμη στα παιδιά ($r = 0.57$) σε σύγκριση με τους νέους ($r = 0.09$) και τους ηλικιωμένους ($r = 0.35$), καθώς και στους ηλικιωμένους συγκριτικά με τους νέους.

Σύμφωνα με την ανασκόπηση του Orr, (2010), η δύναμη των μυών του ισχίου συσχετίζεται καλύτερα με την ισορροπία στο ένα πόδι, συγκριτικά με τη συσχέτιση της δύναμης των μυών του γονάτου και της ποδοκνημικής. Επίσης διαπιστώθηκε σημαντική σχέση της δυναμικής ισορροπίας με τη δύναμη, σε ανάλογες δοκιμασίες και κυρίως με το Functional Reach test.

Σε παρόμοιες μικρού βαθμού συσχετίσεις, κατέληξε και η συστηματική ανασκόπηση και μετά-ανάλυση των Oskouei *et al.*, (2021) σε ό, τι αφορά τη σχέση της δύναμης των πελματιαίων καμπτήρων με τη στατική ισορροπία, καθώς επίσης και με τη ταχύτητα βαδίσματος. Πιο συγκεκριμένα, και με τις περισσότερες έρευνες να έχουν πραγματοποιηθεί σε ηλικιωμένους, διαπιστώθηκε ασθενώς θετική συσχέτιση της μέγιστης ισομετρικής δύναμης των πελματιαίων καμπτήρων με τη στατική ισορροπία ($r = 0.20$), μέτρια θετική τόσο με τη δυναμική «αντιδραστική» ισορροπία (dynamic reactive balance) ($r = 0.42$), όπως επίσης και με τη δυναμική «προδραστική» ισορροπία (dynamic proactive balance) ($r = 0.55$), αλλά και με την ταχύτητα βαδίσματος ($r =$

0.29). Ωστόσο τα αποτελέσματα συγκριτικών μελετών, αλλά και εκείνων με παρεμβατικά προγράμματα ενδυνάμωσης των μυών δεν συνάδουν με μια άμεση συσχέτιση μεταξύ των δεικτών μυϊκής απόδοσης (δύναμη, ισχύς) και ελέγχου της όρθιας στάσης στην στατική ισορροπία ή μετά από μη αναμενόμενη διατάραξη της (Vito, Ditroilo and Pesce, 2014) .

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η στατική ισορροπία είναι μια πολύπλοκη δοκιμασία και η διατάραξη της δεν μπορεί να ερμηνευτεί μεμονωμένα από ένα παράγοντα, αλλά συνδυαστικά από όλους που την επηρεάζουν, ιδιαίτερα κατά την γήρανση, όπου ο εκφυλισμός των λειτουργικών συστημάτων είναι πολλαπλός .

2.4 Ερευνητικό κενό .

Η επίδραση της ηλικίας στη στατική ισορροπία σε δοκιμασίες αυξανόμενης δυσκολίας σε ηλικιωμένα άτομα δεν έχει πλήρως αποσαφηνιστεί και δεν είναι ξεκάθαρο αν υπάρχει διαφορά μεταξύ των δύο φύλων. Επίσης δεν είναι ξεκάθαρη η επίδραση της δύναμης των μυών της ποδοκνημικής στην ταλάντωση στάσης, τόσο με την αύξηση της ηλικίας όσο και οι τυχόν διαφορές που υπάρχουν στα δύο φύλα.

2.5 Σκοπός της έρευνας.

Ο σκοπός της έρευνας είναι να εξεταστούν οι μεταβολές της στατικής ισορροπίας σε συνθήκες αυξανόμενης δυσκολίας σε ηλικιωμένα άτομα, καθώς και οι διαφορές μεταξύ των δυο φύλων ως προς την ικανότητα ισορροπίας, καθώς και η επίδραση της μέγιστης δύναμης των πελματιαίων καμπτήρων και του δείκτη μάζας σώματος στην ικανότητα της ισορροπίας με την αύξηση της ηλικίας.

2.6 Ερευνητικές υποθέσεις.

H_0 . Η στατική ισορροπία σε όλες τις δοκιμασίες και στις δύο οπτικές συνθήκες δεν επιδεινώνεται με την αύξηση της ηλικίας, όπως αυτή ορίζεται στις δύο ηλικιακές ομάδες

H_0 . Η στατική ισορροπία δεν επιδεινώνεται καθώς αυξάνεται ο βαθμός δυσκολίας της δοκιμασίας και στις δύο οπτικές συνθήκες (με τα μάτια ανοιχτά και με τα μάτια κλειστά), ανεξάρτητα από την ηλικία

H_0 . Η μέγιστη ισομετρική δύναμη των πελματιαίων καμπτήρων της ποδοκνημικής άρθρωσης δεν επηρεάζει τη στατική ισορροπία ανεξάρτητα από τη δοκιμασία και την οπτική συνθήκη.

H_0 . Η μέγιστη ισομετρική δύναμη των ραχιαίων καμπτήρων της ποδοκνημικής άρθρωσης δεν επηρεάζει τη στατική ισορροπία ανεξάρτητα από τη δοκιμασία και την οπτική συνθήκη.

H_6 . Ο δείκτης μάζας σώματος επηρεάζει τη στατική ισορροπία ανεξάρτητα από τη δοκιμασία και την οπτική συνθήκη.

3 Μεθοδολογία.

3.1 Δείγμα.

Στην παρούσα μελέτη συμμετείχαν 19 υγιείς γυναίκες ≥ 65 ετών ($78,39 \pm 19,80$ ετών) και 16 υγιείς άνδρες ≥ 65 ετών ($77,34 \pm 10,24$). Η μέση ηλικία των δοκιμαζομένων ήταν 75, 79.έτη, η μάζα ήταν $77,91 \pm 15,94$ kg και ο μέσος όρος ύψους ήταν $1,65 \pm 0,088$ cm (Πίνακας 1).

Πίνακας 1 Ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά

	Ομάδα	N	Ηλικία	Μάζα (kg)	ύψος (m)	BMI
Ανδρες	65-74 έτη	6	71 ± 7,5	94,6 ± 21,9	1,8 ± 0,1	29,1 ± 4,8
	>74 έτη	10	80 ± 3,2	77,2 ± 13,1	1,7 ± 0	26,8 ± 4,3
Γυναίκες	65-74 έτη	10	71 ± 2,7	74 ± 15,2	1,6 ± 0	28,1 ± 4,9
	>74 έτη	9	79,5 ± 3,5	72,4 ± 11,9	1,6 ± 0,1	29,7 ± 5,1

Οι δοκιμαζόμενοι ήταν εθελοντές, κάτοικοι των νομού Σερρών και η επιλογή τους έγινε με γνώμονα την ηλικία, το φύλο και το ιατρικό τους ιστορικό. Κρίθηκε ότι μπορούσαν να συμμετέχουν με ασφάλεια στις πειραματικές δοκιμασίες, καθώς όπως προέκυπτε από ένα σύντομο ιατρικό ιστορικό δεν είχαν σοβαρά προβλήματα υγείας, δεν υπήρξε τραυματικό ιστορικό πτώσεων και η νοητική τους κατάσταση κρίθηκε καλή μετά από MINI MENTAL TEST στο οποίο κλήθηκαν να εξεταστούν. Πριν από τη συμμετοχή τους στο πρωτόκολλο μέτρησης, τους ζητήθηκε να υπογράψουν γραπτή συγκατάθεση συμμετοχής στην παραπάνω έρευνα. Επιπλέον, ενημερώθηκαν, γραπτώς και προφορικώς, για το πρωτόκολλο μετρήσεων που θα πραγματοποιήσουν. Η παρούσα μελέτη εγκρίθηκε από την Επιτροπή Δεοντολογίας Έρευνας, του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού Σερρών, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (ERC-005/2024) και η έρευνα διεξάχθηκε σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές που ορίζονται στη Διακήρυξη του Ελσίνκι. Οι συμμετέχοντες επισκέφτηκαν το εργαστήριο προκειμένου να ενημερωθούν για την πειραματική διαδικασία στην οποία θα υποβληθούν, να εξοικειωθούν με το χώρο και τον τρόπο λειτουργίας των εργαλείων μέτρησης και να υπογράψουν τα αντίστοιχα έντυπα συμμετοχής. Στη συνέχεια, ορίστηκε ημερομηνία και ώρα πραγματοποίησης του πρωτοκόλλου μέτρησης.



Εικόνα 1: Ζυγαριά SECA με αναστημόμετρο

3.2 Περιγραφή οργάνων.

Για τις ανάγκες της έρευνας χρησιμοποιήθηκε δυναμοδάπεδο τύπου Kistler (9281CA) με συχνότητα δειγματοληψίας 1000 Hz., το οποίο είναι ενσωματωμένο στο δάπεδο με την επιφάνειά του να βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο με εκείνο του δαπέδου. Καταγράφηκαν οι δυνάμεις αντίδρασης τρισδιάστατα (F_x, F_y, F_z). Αποτελείται από τέσσερις αισθητήρες δύναμης-πιεζοηλεκτρικούς κρυστάλλους, έναν σε κάθε γωνία, οι οποίοι καταγράφουν τη δύναμη αντίδρασης του εδάφους σε κάθε έναν από τους καρτεσιανούς άξονες. Από την συνισταμένη των τριών δυνάμεων υπολογίζεται η θέση και η μετατόπιση του Κέντρου Πίεσης (ΚΠ) (CoP). Η θέση του ΚΠ ορίζεται από δύο συντεταγμένες X και Y στην επιφάνεια της πλατφόρμας με βάση το κέντρο της επιφάνειάς της και το σύστημα αξόνων, που ορίζεται από τέσσερα σημεία τα οποία είναι τα κέντρα των αισθητήρων αντίστοιχα. Η μέτρηση της ισορροπίας συνίσταται στην καταγραφή της θέσης του ΚΠ στο σύστημα αναφοράς της πλατφόρμας. Οι βασικές μεταβλητές του ΚΒ που αξιολογούνται είναι: α) η μέση μετατόπιση (MeanCOP) β) το μέγιστο εύρος (CoPmax) γ) η τυπική απόκλιση (CoPsd), (γ) η

ταχύτητα (CoPvel) και δ) η μέση τετραγωνική ρίζα μετατόπισης (CoPrms) του ΚΠ στον Προσθοπίσθιο (Y) και στον πλαγιομετωπιαίο (X) άξονα.



Εικόνα 2: Δυναμοδάπεδο τύπου KISTLER

3.3 Μέτρηση Μέγιστης Δύναμης.

Για την αξιολόγηση της μέγιστης δύναμης χρησιμοποιήθηκε ένα δυναμόμετρο ποδοκνημικής (TF022- NEGI, OT Bioelettronica, IT) (εικ.2) το οποίο καταγράφει τις μεταβολές των δυνάμεων σε δυο άξονες, τον οβελιαίο και τον μετωπιαίο. Οι μετατροπείς είναι τοποθετημένοι στη βάση του δυναμόμετρου της ποδοκνημικής, σταθερά στον τοίχο, ενώ το πόδι στερεώνεται και ασφαρίζεται με την ποδοκνημική σε γωνία 105° πελματιαία κάμψη αφού μετρηθεί με ηλεκτρογωνιόμετρο (MLTS700, AD Instruments).



Εικόνα 3: Μετατροπέας δύναμης και βάση δυναμομέτρου



Εικόνα 4: Ενισχυτής Quattrocento

Πρωτόκολλο αξιολόγησης στατικής ισορροπίας.

Το πρωτόκολλο που ακολουθήθηκε για την αξιολόγηση της ισορροπίας είχε ως εξής: οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να σταθούν πάνω στη πλατφόρμα καταγραφής. Για λόγους ασφαλείας, υπήρχε τοποθετημένος μπροστά τους ένας περιπατητήρας (AlfaCare AC-301 Economy) ώστε σε περίπτωση ισχυρής διατάραξης της ισορροπίας τους να στηριχθούν σε αυτόν. Επίσης, ένας ερευνητής βρισκόταν πίσω τους καθ' όλη τη διάρκεια της εξέτασης ισορροπίας για λόγους ασφαλείας. Κάθε συμμετέχων πραγματοποίησε τρεις προσπάθειες με ανοιχτά και τρεις προσπάθειες με κλειστά μάτια για τις ακόλουθες στάσεις: α) διποδική στάση (normal quiet stance), με ανοικτά (εικ. 6) και κλειστά μάτια β) διποδική στήριξη με ταυτόχρονη μέτρηση από το 69 και αφαιρώντας 2 αριθμούς κάθε φορά και γ) διποδική στήριξη σε μαλακή επιφάνεια

(τύπου Foam 5cm), με ανοικτά (εικ. 7) και κλειστά μάτια και δ) μονοποδική στάση (one leg stance) με το δεξί και με το αριστερό πόδι με τα μάτια ανοιχτά (εικ. 5). Ο χρόνος που διήρκεσε κάθε προσπάθεια ήταν 60 δευτερόλεπτα για την διποδική στάση και 10 δευτερόλεπτα για την μονοποδική στάση. Μεταξύ των προσπαθειών υπήρχε διάλλειμα 1 λεπτό και 3 λεπτά μεταξύ κάθε στάσης. Από τις προσπάθειες αυτές χρησιμοποιήθηκε η καλύτερη σε απόδοση.



Εικόνα 5: Δοκιμασία μονοποδικής στήριξης.



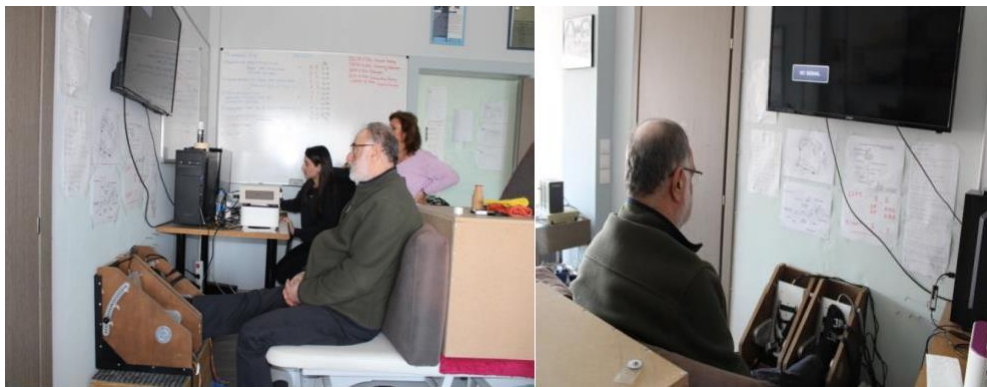
Εικόνα 6: Δοκιμασία διποδικής στήριξης



Εικόνα 7: Δοκιμασία διποδικής στήριξης σε ασταθή επιφάνεια

Πρωτόκολλο αξιολόγησης Μέγιστης δύναμης

Το πρωτόκολλο μέτρησης που ακολουθήθηκε για την αξιολόγηση της δύναμης (Max-Force) είχε ως εξής: Ο κάθε συμμετέχων ήταν καθιστός με το γόνατο σε πλήρη έκταση και την γωνία της ποδοκνημικής σε κάμψη 105° (180° = πελματιαία κάμψη). Με το παράγγελμα του εξεταστή, πραγματοποιούσε δύο μέγιστες προσπάθειες (ΜΕΣ) πελματιαίας και ραχιαίας κάμψης της ποδοκνημικής, οι οποίες επαναλαμβάνονταν εάν υπήρχε διαφορά μεγαλύτερη από 5% μεταξύ τους. Κατά τη διάρκεια της αξιολόγησης η ασκούμενη δύναμη εμφανιζόταν στον συμμετέχοντα σε μία οθόνη 50 ιντσών (110.7×62.2 cm) που βρισκόταν σε απόσταση $\sim 1,5$ m μπροστά από τον συμμετέχοντα (εικ. 8).



Εικόνα 8: Αξιολόγηση της δύναμης των πελματιαίων και ραχιαίων καμπτήρων της ποδοκνημικής άρθρωσης

Πρωτόκολλο αξιολόγησης δυναμικής ισορροπίας (UP AND GO TEST)

Το πρωτόκολλο αξιολόγησης της δυναμικής ισορροπίας πραγματοποιήθηκε ως εξής: κάθε συμμετέχων φορούσε αθλητικά παπούτσια και βρισκόταν σε καθιστή θέση, μετά από φωνητική εντολή του ερευνητή, ο κάθε συμμετέχων πραγματοποιούσε άρση από την καρέκλα, γρήγορο περπάτημα 3 μέτρων και επιστροφή στην αρχική θέση (εικ. 9). Ο ερευνητής χρονομετρούσε την καθεμιά από τις 3 προσπάθειες που εκτελέστηκαν, ενώ αξιολογήθηκε η καλύτερη.



Εικόνα 9: Up and Go Test

4. Μεταβλητές.

Οι βασικές μεταβλητές που αξιολογούνται είναι://

α) Η μέση μετατόπιση του ΚΠ (MeanCOP) στον προσθοπίσθιο (Y) και στον πλαγιομετωπιαίο (X) άξονα.

β) το μέγιστο εύρος του ΚΠ (CoPMax) στον προσθοπίσθιο (Y) και στον πλαγιομετωπιαίο (X) άξονα.

γ) η τυπική απόκλιση του ΚΠ (CoPsd), στον προσθοπίσθιο (Y) και στον πλαγιομετωπιαίο (X) άξονα.

(δ) η Μέση ταχύτητα του ΚΠ (MeanCoPvel) στον προσθοπίσθιο (Y) και στον πλαγιομετωπιαίο (X) άξονα.

ε) Η Τυπική απόκλιση της ταχύτητας του ΚΠ (CoPsdvel) στον προσθοπίσθιο (Y) και στον πλαγιομετωπιαίο (X) άξονα.

στ) η μέση τετραγωνική ρίζα μετατόπισης (CoPrms) του ΚΠ στον προσθοπίσθιο (Y) και στον πλαγιομετωπιαίο (X) άξονα.

η) UP and GO time (sec)

5. Στατιστική ανάλυση.

Για τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν, χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο SPSS (IBM SPSS statistics for Windows, Version 28.0). Για τον έλεγχο της κατανομής των δεδομένων, έγινε χρήση του Shapiro-wilk test. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης (ANOVA), 2X2, για να εξεταστούν οι διαφορές των μέσων όρων στις μεταβλητές της ισορροπίας σε 5 στάσεις και 2 αισθητηριακές συνθήκες μεταξύ των συμμετεχόντων κάθε ηλικιακής ομάδας και η συνθήκη UP and GO. Τέλος, πραγματοποιήθηκε ανάλυση συσχέτισης Pearson για να διαπιστωθούν πιθανές συσχετίσεις μεταξύ της μέγιστης δύναμης και της μετατόπισης και ταχύτητας μετατόπισης του κέντρου πίεσης στις διαφορετικές δοκιμασίες της ισορροπίας.

6. Αποτελέσματα

6.1 Δοκιμασίες Ισορροπίας

6.1.1 Διποδική Στήριξη με ανοικτά μάτια (EOS)

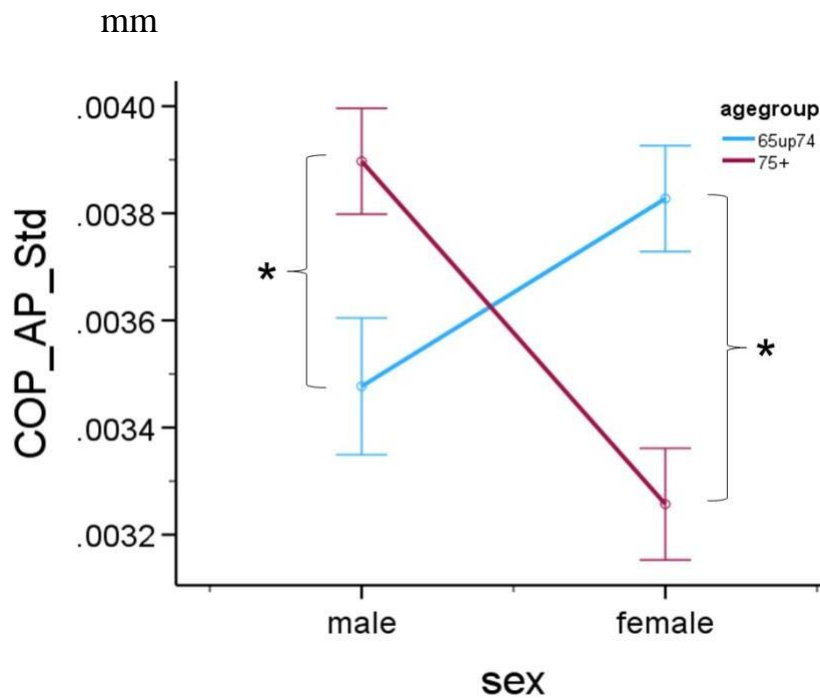
Πραγματοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για να αξιολογηθεί η επίδραση του φύλου και της ηλικιακής ομάδας στη δοκιμασία "EOS" σε όλες τις μεταβλητές και στους δύο άξονες.

Προσθοπίσθιο άξονας (A/P)

Τα αποτελέσματα έδειξαν μια σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ φύλου και ηλικιακής ομάδας στην τυπική απόκλιση της μετατόπισης (COP AP Std,) $F(1, 31) = .47, p = .029, \eta^2 = .145$. Ωστόσο, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές κύριες επιδράσεις ούτε για το φύλο, $F(1, 31) = 0.45, p = .508, \eta^2 = .014$, ούτε για την ηλικιακή ομάδα, $F(1, 31) = .12, p = .731, \eta^2 = .004$. Το Γράφημα 1 δείχνει ότι οι ηλικιωμένοι άνδρες άνω των 75 ετών έχουν χειρότερη ισορροπία από τους νεότερους άνδρες και από τις δύο ηλικιακές ομάδες των γυναικών.

Πλαγιομετωπιαίος άξονας (M/L)

Δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές κύριες επιδράσεις ούτε για το φύλο, ούτε για την ηλικιακή ομάδα, αλλά ούτε στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ φύλου και ηλικιακής ομάδας σε καμιά από τις μεταβλητές που αξιολογήθηκαν στην δοκιμασία EOS.



Γράφημα 1: Τυπική απόκλιση μετατόπισης (COP_AP_Std) του κέντρου πίεσης ηλικιωμένων <75(μπλε) και ηλικιωμένων > 75 (κόκκινα) στον προσθοπίσθιο άξονα, στα δύο φύλα, με ανοιχτά μάτια. * σημαντικά μεγαλύτερο

6.1.2 Διποδική Στήριξη με κλειστά μάτια (ECS)

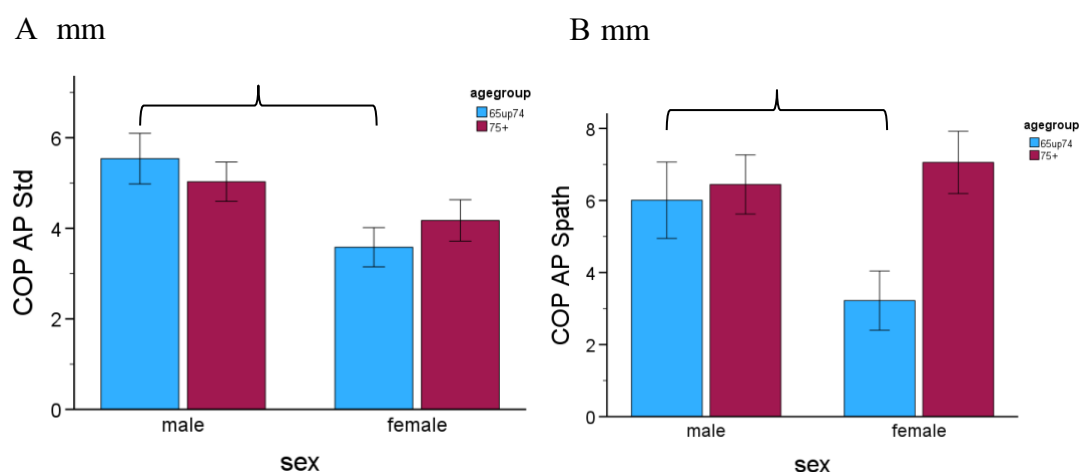
Προσθοπίσθιος άξονας (A/P)

Πραγματοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για να αξιολογηθεί η επίδραση του φύλου και της ηλικιακής ομάδας στη μεταβλητή "ECS". Τα αποτελέσματα έδειξαν μια σημαντική κύρια επίδραση του φύλου στη τυπική απόκλιση της μετατόπισης (COP_AP_Std) και στο εύρος μετατόπισης (COP_AP_range) στον προσθοπίσθιο άξονα [F(1, 31) = 8.83, p = .006, η² = .222 και F(1, 31) = 8.74 p = .006, η² = .220] αντίστοιχα. Κύρια επίδραση είχε και η ηλικιακή ομάδα στην μέση μετατόπιση (COP_AP_mean), COP_AP_RMS και στην συνολική μετατόπιση στους δύο άξονες (COP_AP_Spath) [F(1, 31) = 7.40, p = .011, η² = .193, F(1, 31) = 7.35, p = .011, η² = .192, και F(1, 31) = 5.67, p = .024, η² = .155] αντίστοιχα. Από το γράφημα 2 προκύπτει ότι οι άνδρες και των δύο ηλικιακών ομάδων εμφανίζουν χειρότερη ισορροπία στον προσθοπίσθιο άξονα. Επίσης οι άνδρες εμφανίζουν μεγαλύτερη συνολική μετατόπιση

από τις γυναίκες κάτω των 75 ετών. Ωστόσο, δεν παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ φύλου και ηλικιακής ομάδας.

Πλαγιομετωπιαίος άξονας (M/L)

Δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές κύριες επιδράσεις ούτε για το φύλο, ούτε για την ηλικιακή ομάδα, αλλά ούτε στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ φύλου και ηλικιακής ομάδας σε καμιά από τις μεταβλητές που αξιολογήθηκαν στην δοκιμασία (ECS).



Γράφημα 2 Τυπική απόκλιση μετατόπισης (A) και της συνολικής μετατόπισης (B) του κέντρου πίεσης ηλικιωμένων>75 (κόκκινο) και ηλικιωμένων<75 (μπλε) στον προσθιοπίσθιο άξονα , στα δύο φύλα, με κλειστά μάτια. *: σημαντικά μεγαλύτερο

6.1.3 Διποδική Στήριξη σε ασταθή επιφάνεια με ανοικτά μάτια (EOU).

Πραγματοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για να αξιολογηθεί η επίδραση του φύλου και της ηλικιακής ομάδας στη δοκιμασία “EOU”.

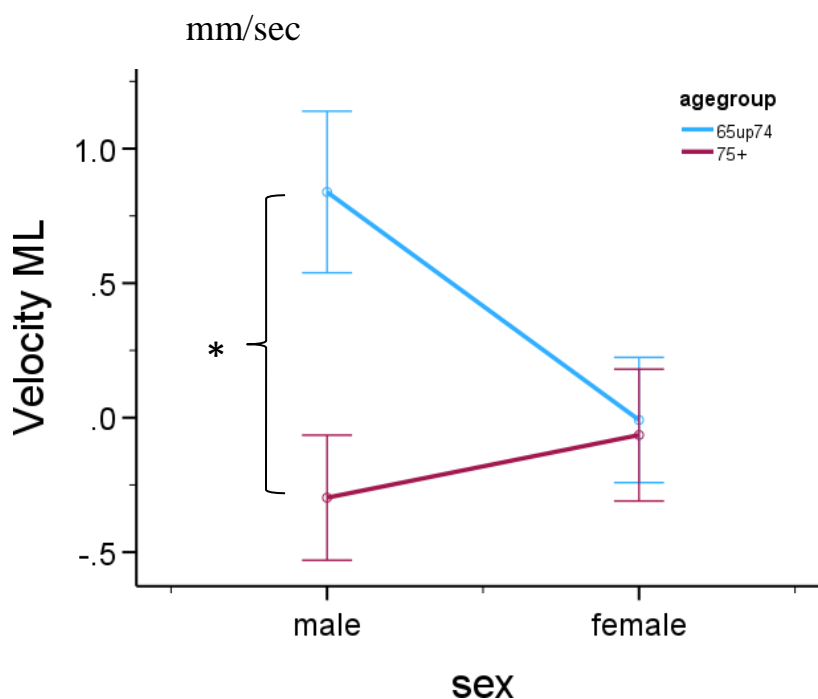
Προσθιοπίσθιος άξονας (A/P)

Δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές κύριες επιδράσεις ούτε για το φύλο, ούτε για την ηλικιακή ομάδα, αλλά ούτε στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ φύλου και

ηλικιακής ομάδας σε καμία από τις μεταβλητές που αξιολογήθηκαν στην δοκιμασία (EOU) στον άξονα του Y.

Πλαγιομετωπιαίος άξονας (M/L).

Τα αποτελέσματα έδειξαν μια σημαντική επίδραση αλληλεπίδραση μεταξύ φύλου και ηλικιακής ομάδας στην μέση ταχύτητα στον πλαγιομετωπιαίο άξονα (Vel ML_mean,) $F(1, 31) = 4.52, p = .042, \eta^2 = .127$. Για την ηλικιακή ομάδα η ανάλυση έδειξε σημαντική κύρια επίδραση $F(1, 31) = 5.50, p = .026, \eta^2 = .151$. Ωστόσο, δεν παρατηρήθηκε σημαντική κύρια επίδραση για το φύλο, $F(1, 31) = 4.12, p = .236, \eta^2 = .045$. Από το γράφημα 3 προκύπτει ότι οι άνδρες <75 εμφανίζουν μεγαλύτερη ταχύτητα μετατόπισης στο πλαγιομετωπιαίο άξονα.



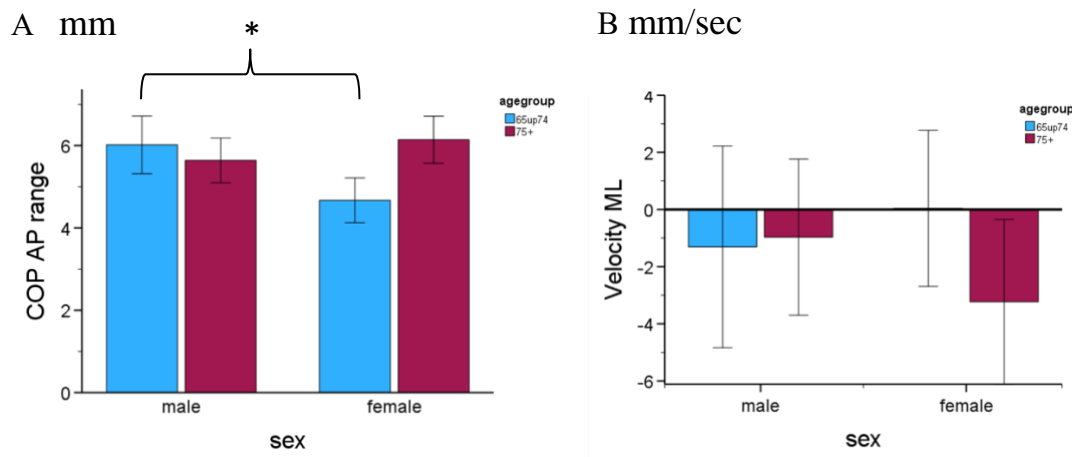
Γράφημα 3: Ταχύτητα μετατόπισης (Velocity ML) του κέντρου πίεσης ηλικιωμένων <75 (μπλε) και ηλικιωμένων > 75 (κόκκινα) στο μετωπιαίο άξονα, στα δύο φύλα, με ανοιχτά μάτια σε ασταθή επιφάνεια. * σημαντικά μεγαλύτερο.

6.1.4 Διποδική Στήριξη σε ασταθή επιφάνεια με κλειστά μάτια (ECU).

Πραγματοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για να αξιολογηθεί η επίδραση του φύλου και της ηλικιακής ομάδας στη μεταβλητή "ECU"

Προσθοπίσθιος άξονας (A/P)

Τα αποτελέσματα έδειξαν μια σημαντική κύρια επίδραση του φύλου στο εύρος της μετατόπισης (COP_AP_range) στον προσθοπίσθιο άξονα ($F(1, 31) = 4.24, p = .048, \eta^2 = .120$). Από το γράφημα 4A προκύπτει ότι οι γυναίκες >75 εμφανίζουν μεγαλύτερο εύρος μετατόπισης από όλες τις ηλικιακές ομάδες στον AP άξονα και παρόμοια συμπεριφορά διαπιστώνεται και στον ML άξονα (4B) στην μέση ταχύτητα μετατόπισης. Ωστόσο, δεν παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ φύλου και ηλικιακής ομάδας.



Γράφημα 4: Εύρος μετατόπισης στον A/P άξονα (A) και Ταχύτητα μετατόπισης του κέντρου πίεσης στον M/L (B) ηλικιωμένων <75 (μπλέ) και ηλικιωμένων > 75 (κόκκινα), στα δύο φύλα, με ανοιχτά μάτια σε ασταθή επιφάνεια. *: σημαντικά μεγαλύτερο

Πλαγιομετωπιαίος άξονας (M/L)

Κύρια επίδραση είχε η ηλικιακή ομάδα στη μεταβλητή μέση ταχύτητα (Vel_ML_mean) ($F(1, 31) = 5.50, p = .026, \eta^2 = .151$) στον πλάγιομετωπιαίο άξονα. Ωστόσο δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές άλλες κύριες επιδράσεις ούτε για το φύλο, ούτε για την ηλικιακή ομάδα, αλλά ούτε στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ φύλου και ηλικιακής ομάδας σε καμιά από τις μεταβλητές που αξιολογήθηκαν στην δοκιμασία (ECU) στον άξονα του X.

6.1.5 Διποδική στήριξη με ταυτόχρονη μέτρηση (EOSM).

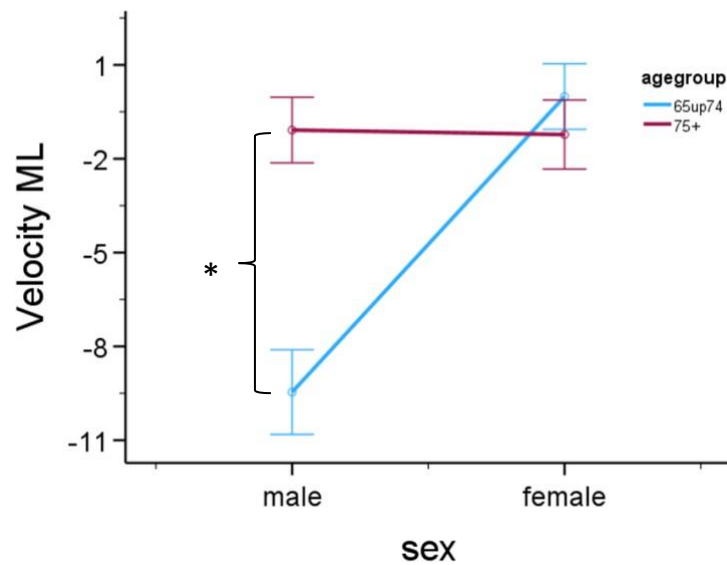
Πραγματοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για να αξιολογηθεί η επίδραση του φύλου και της ηλικιακής ομάδας στη δοκιμασία "EOSM" σε όλες τις μεταβλητές.

Προσθοπίσθιος άξονας (A/P)

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι δεν υπάρχουν σημαντικές κύριες επιδράσεις ούτε για το φύλο, ούτε για την ηλικιακή ομάδα, αλλά ούτε στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ φύλου και ηλικιακής ομάδας σε καμιά από τις μεταβλητές που αξιολογήθηκαν στην δοκιμασία (EOSM) στον προσθοπίσθιο άξονα (Y).

Πλαγιομετωπιαίος άξονας (M/L)

Τα αποτελέσματα έδειξαν μια στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ φύλου και ηλικιακής ομάδας στην μέση ταχύτητα (Vel_ML_mean) στον πλάγιομετωπιαίο άξονα, $F(1, 31) = 4.38, p = .045, \eta^2 = .124$. Ωστόσο, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές κύριες επιδράσεις ούτε για το φύλο, $F(1, 31) = 4.12, p = .045, \eta^2 = .117$, ούτε για την ηλικιακή ομάδα, $F(1, 31) = 2.44, p = .128, \eta^2 = .073$. Το γράφημα 5 δείχνει οι ηλικιωμένοι άνω των 75 ανεξαρτήτου φύλου και οι γυναίκες κάτω των 75 ετών εμφανίζουν μεγαλύτερη ταχύτητα μετατόπισης στον πλάγιομετωπιαίο άξονα .



Γράφημα 5: Ταχύτητα μετατόπισης (Velocity ML) του κέντρου πίεσης ηλικιωμένων <75 (μπλε) και ηλικιωμένων > 75 (κόκκινα) στον πλαγιομετωπικό άξονα (M/L), στα δύο φύλα, με ταυτόχρονη μέτρηση. *: σημαντικά μεγαλύτερο

6.1.6 Μονοποδική στήριξη στο αριστερό πόδι (OLS)L.

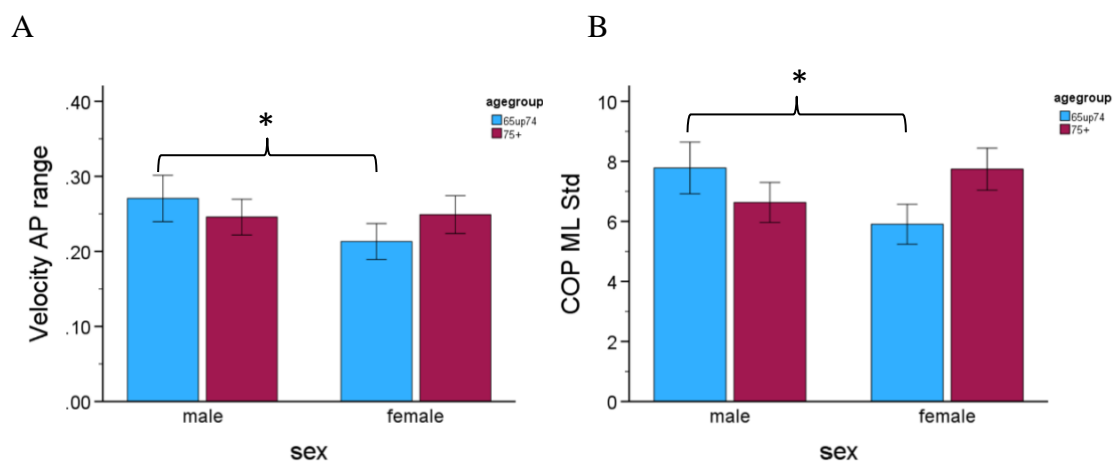
Πραγματοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για να αξιολογηθεί η επίδραση του φύλου και της ηλικιακής ομάδας στη δοκιμασία "OLSL" σε όλες τις μεταβλητές

Προσθοπίσθιος άξονας (A/P)

Τα αποτελέσματα έδειξαν μια σημαντική κύρια επίδραση του φύλου στο εύρος μετατόπισης στον προσθοπίσθιο άξονα (COP_AP_range) και εύρος ταχύτητας (Vel AP_range)(F(1, 31) = 4.63, p = .039, η² = .130, και F(1, 31) = 6.17, p = .019, η² = .166, αντίστοιχα) στον προσθοπίσθιο άξονα (Y). Ωστόσο, δεν παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ φύλου και ηλικιακής ομάδας σε καμία από τις μεταβλητές. Συνεπώς οι άνδρες και των δύο ηλικιακών ομάδων είχαν μεγαλύτερο εύρος ταχύτητας μετατόπισης στον προσθοπίσθιο άξονα από τις γυναίκες.

Μετωπιαίος άξονας (M/L)

Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν μια σημαντική κύρια επίδραση του φύλου στην μέση ταχύτητα στον πλαγιομετωπιαίο άξονα (Vel_ML_mean) ($F(1, 31) = 6.36, p = .017, \eta^2 = .170$). Κύρια επίδραση είχε και η ηλικιακή ομάδα στην τυπική απόκλιση της μετατόπισης (COP_ML_STD), και στο εύρος μετατόπισης (COP_ML_range), στον πλαγιομετωπιαίο άξονα [$F(1, 31) = 5.13, p = .031, \eta^2 = .142, F(1, 31) = 4.15, p = .050, \eta^2 = .118$, αντίστοιχα]. Ωστόσο, δεν παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ φύλου και ηλικιακής ομάδας. Συνεπώς στον πλαγιομετωπιαίο άξονα οι γυναίκες άνω των 75 ετών εμφανίζουν παρόμοια συμπεριφορά με τις δύο ηλικιακές κατηγορίες των ανδρών.



Γράφημα 6: Ταχύτητα του Εύρους μετατόπισης (Velocity AP range) στον A/P (A) και τυπική απόκλιση μετατόπισης (COP ML Std) του κέντρου πίεσης στον M/L (B) ηλικιωμένων <75 (μπλε) και ηλικιωμένων > 75 (κόκκινα), στα δύο φύλα, με Μονοποδική στήριξη στο αριστερό πόδι.

6.1.7 Μονοποδική στήριξη στο δεξί πόδι (OLSR).

Πραγματοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για να αξιολογηθεί η επίδραση του φύλου και της ηλικιακής ομάδας στη δοκιμασία “OLSR”, σε όλες τις μεταβλητές. Τα αποτελέσματα δεν έδειξαν καμία σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ φύλου και

ηλικιακής ομάδας καθώς επίσης και καμία κύρια επίδραση του φύλου και της ηλικιακής ομάδας σε όλες τις μεταβλητές της δοκιμασίας της ισορροπίας (OLSR).

Σχέση μέγιστης δύναμης των πελματιαίων καμπτηρών και Δείκτη Μάζας Σώματος με την Ισορροπία

Δεν βρέθηκαν συσχετίσεις στατιστικά σημαντικές μεταξύ των μεταβλητών στατικής και δυναμικής ισορροπίας με την μέγιστη δύναμη των πελματιαίων και ραχιαίων καμπτήρων και του BMI στις δοκιμασίες διποδικής στήριξη με ανοικτά και κλειστά μάτια, σε μαλακή επιφάνεια με ανοικτά μάτια, με ταυτόχρονη γνωστική λειτουργία και μονοποδική στήριξη και στα δύο πόδια ($p > 0.05$).

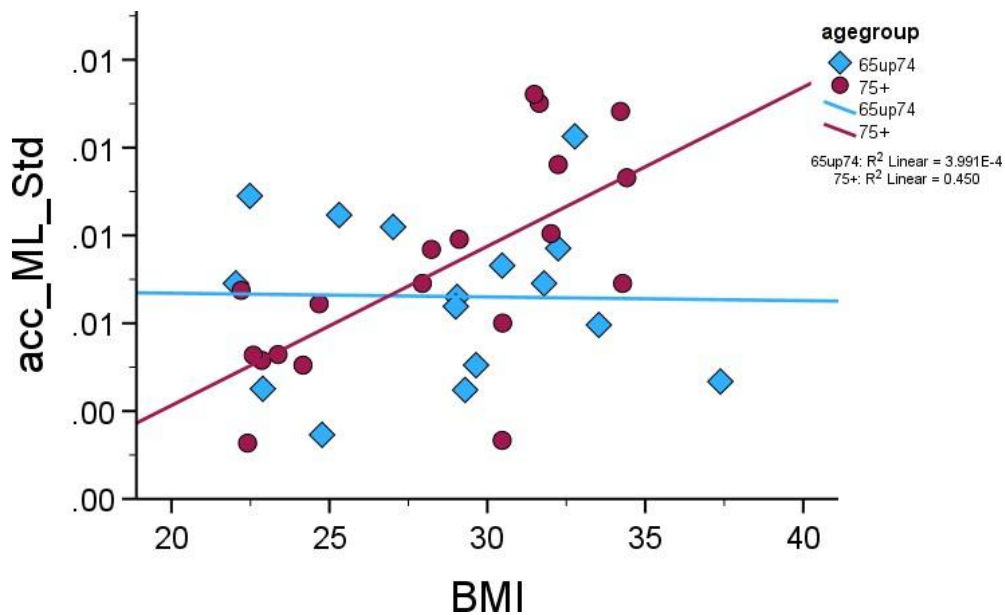
Η μοναδική θετική συσχέτιση που προέκυψε ήταν στην δοκιμασία της ισορροπίας πάνω σε μαλακή επιφάνεια με κλειστά μάτια (ECU) στην μεταβλητή της τυπικής απόκλισης της μετατόπισης του ΚΠ (CoPSTD) στον πλαγιομετωπιαίο άξονα (M/L) με το BMI. Συγκεκριμένα η διποδική στάση με κλειστά μάτια πάνω σε μαλακή επιφάνεια συσχετίστηκε με το BMI ($r = 0,391$; $p = 0,038$). Στις υπόλοιπες μεταβλητές δεν βρέθηκε κάποια άλλη συσχέτιση δύναμης και ισορροπίας.

Πίνακας 2: συσχετίσεις της δύναμης, του δείκτη μάζας σώματος και της ισορροπίας.

		Correlations					
		acc_ML_Std	acc_AP_Std	MVCDF	MVCPF	BMI	UPGO
acc_ML_Std	Pearson Correlation	1	.564**	.092	-.158	.391*	.268
	Sig. (2-tailed)		<.001	.600	.365	.020	.120
	N	35	35	35	35	35	35
acc_AP_Std	Pearson Correlation	.564**	1	.069	-.179	.270	.332
	Sig. (2-tailed)	<.001		.692	.304	.117	.051
	N	35	35	35	35	35	35
MVCDF	Pearson Correlation	.092	.069	1	.736**	.070	-.311
	Sig. (2-tailed)	.600	.692		<.001	.687	.069
	N	35	35	35	35	35	35
MVCPF	Pearson Correlation	-.158	-.179	.736**	1	-.110	-.324
	Sig. (2-tailed)	.365	.304	<.001		.528	.057
	N	35	35	35	35	35	35
BMI	Pearson Correlation	.391*	.270	.070	-.110	1	.039
	Sig. (2-tailed)	.020	.117	.687	.528		.826
	N	35	35	35	35	35	35
UPGO	Pearson Correlation	.268	.332	-.311	-.324	.039	1
	Sig. (2-tailed)	.120	.051	.069	.057	.826	
	N	35	35	35	35	35	35

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).



Γράφημα 7: Συσχέτιση του δείκτη μάζας σώματος (BMI) και της τυπικής απόκλισης (acc_ML_Std) της μετατόπισης του ΚΠ στον Μ/Λ άξονα στην διποδική στήριξη με κλειστά μάτια σε ασταθή επιφάνεια. (ηλικιωμένοι < 75 (μπλε) και ηλικιωμένοι > 75 (κόκκινα),

7. Συζήτηση

Ο σκοπός της παρούσης εργασίας ήταν να εξεταστούν οι μεταβολές της στατικής ισορροπίας σε συνθήκες αυξανόμενης δυσκολίας σε ηλικιωμένα άτομα, καθώς και να εξεταστούν οι διαφορές μεταξύ των δυο φύλων και η επίδραση της μέγιστης δύναμης των πελματιαίων και ραχιαίων καμπτήρων της ποδοκνημικής άρθρωσης και του δείκτη μάζας σώματος στην ικανότητα της ισορροπίας κατά την αύξηση της ηλικίας. Τα παραπάνω αποτελέσματα της εργασίας δείχνουν ότι:

α) Οι άνδρες +75 ετών εμφανίζουν χειρότερη ισορροπία στον A/P άξονα, στην διποδική στήριξη με ανοικτά μάτια σε σχέση με τους <75 άνδρες και τα δύο ηλικιακά γκρουπ των γυναικών.

β) Όταν αφαιρείται η ικανότητα όρασης επιβαρύνεται η ισορροπία και στα δύο ηλικιακά γκρουπ των ανδρών στον προσθοπίσθιο άξονα (A/P) ενώ στη συνολική μετατόπιση χειρότερουαν και οι γυναίκες +75 ετών

γ) Όταν αφαιρείται η ιδιοδεκτικότητα οι άνδρες +75 ετών εμφάνισαν μεγαλύτερη ταχύτητα μετατόπισης στο πλαγιομετωπικό άξονα σε σχέση μετά υπόλοιπα ηλικιακά γκρουπ.

δ) Όταν αφαιρείται η ιδιοδεκτικότητα και η όραση παρατηρείται επιβάρυνση της ταχύτητας μετατόπισης στο M/L άξονα στα δύο μεγάλα ηλικιακά γκρουπ ανεξαρτήτως φύλου και στις γυναίκες + 75 γεγονός που παρατηρείται επίσης κατά την δοκιμασία με ταυτόχρονη αντίστροφη μέτρηση και στην μονοποδική στήριξη με το αριστερό, ιδιαίτερα αυξανόμενης δυσκολίας συνθήκες.

ε) Όλες οι μεταβλητές που σχετίζονται με την ισορροπία δεν σχετίζονται ούτε με τη ραχιαία ούτε με την πελματιαία κάμψη της ποδοκνημικής.

Η ΣΤΑΤΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΕΠΙΔΕΙΝΩΝΕΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΚΙΑΣ ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΜΕ ΤΗΝ ΑΥΞΗΣΗ ΤΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΔΥΣΚΟΛΙΑΣ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΑΣΙΑΣ.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παραπάνω έρευνας η στατική ισορροπία τόσο στον A/P όσο και στον M/L επιδεινώνεται με την αύξηση της ηλικίας καθώς με τον βαθμό δυσκολίας ανεξαρτήτως φύλου. Ιδιαίτερα, στην δοκιμασία της διποδικής στήριξης με ανοικτά μάτια, το ηλικιακό γκρουπ +75 των ανδρών φαίνεται να διαφέρει από όλα τα άλλα γκρουπ στον A/P άξονα, γεγονός που δείχνει την επίδραση της ηλικίας στην ταλάντωση θέσης, η οποία μεγαλώνει όσο αυξάνεται η ηλικία. Τα ευρήματα είναι σε συμφωνία με πρόσφατες έρευνες οι οποίες βρήκαν χειρότερη ισορροπία όσο αυξάνεται η ηλικία και η δυσκολία της άσκησης. Συγκεκριμένα οι Tsabalaki *et al.*, (2023) βρήκαν πως τα ηλικιακά γκρουπ των 51-60 ετών και 61-75 ετών παρουσίασαν χαμηλότερο έλεγχο της ισορροπίας σε συνθήκες αυξανόμενης δυσκολίας σε σχέση με τους νεότερους. Παρόμοια ήταν τα ευρήματα των Donath *et al.*, (2016) οι οποίοι εξέτασαν μια ομάδα ηλικιωμένων (73+) και μία ομάδα 20 νέων (24 ± 2 ετών). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι ηλικιωμένοι παρουσίασαν μεγαλύτερη ταλάντωση σε σύγκριση με τους νέους σε όλες τις δοκιμασίες μέτρησης της ισορροπίας με την διαφορά να διευρύνεται όταν αυξανόταν ο βαθμός δυσκολίας της κίνησης. Τα παραπάνω ευρήματα της παρούσας έρευνας επιβεβαιώνουν την διαπίστωση ότι οι αλλαγές στην απόδοση της ισορροπίας είναι προοδευτικές, με την μεγαλύτερη πτώση της αισθητήριας ρύθμισης να συμβαίνει στους μεγαλύτερους σε ηλικία ανθρώπους (>80 ετών) η οποία συνοδεύεται από ένα αυξημένο κίνδυνο πτώσεων σε αυτήν την ηλικία (Masani *et al.*, 2007; Šarabon, Kozinc and Marković, 2022a).

Επιπρόσθετα, όταν χάνεται η αισθητήρια ρύθμιση της όρασης κατά την διποδική στήριξη μεγαλώνει η ταλάντωση θέσης στον A/P άξονα ιδιαίτερα με τα άνδρες και τις

γυναίκες +75 ετών να επηρεάζονται περισσότερο. Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας συμφωνούν με τους Šarabon, Kozinc and Marković, (2022a) οι οποίοι επίσης εξέτασαν 75 ενήλικες άνω των 65 ετών στην όρθια διποδική στάση και στην στάση Semi-Tandem με ανοιχτά και κλειστά μάτια και διαπίστωσαν ότι υπάρχει συσχέτιση των διαταραχών της ισορροπίας με την ηλικία και την αισθητηριακή απώλεια (κλειστά μάτια), αυξάνοντας τις τιμές των μεταβλητών που σχετίστηκαν με τη μετατόπιση του κέντρου πίεσης στον A/P άξονα. Η σημαντικότητα της όρασης στη διατήρηση της ισορροπίας καταδεικνύεται ως σημαντικό παράγοντα ελέγχου της ταλάντωσης ακόμη και στη διποδική στάση, όπου δεν υπάρχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις ισορροπίας. Σε αυτή την συνθήκη η διατήρηση της ισορροπίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα δύο αισθητηριακά συστήματα, της ιδιοδεκτικότητας και της αιθουσαίας λειτουργίας, η απόδοση των οποίων όμως επίσης φθίνει με την αύξηση της ηλικίας (Choy, Brauer and Nitz, 2003).

Όταν ο βαθμός δυσκολίας μεγαλώνει με τη διατάραξη της ιδιοδεκτικότητας, καθώς οι δοκιμαζόμενοι προσπαθούν να διατηρήσουν το ΚΒ σε μια ασταθή επιφάνεια στήριξης, σύμφωνα με τα αποτελέσματα μας, μεγαλώνει η ταχύτητα μετατόπισης του ΚΠ στον πλαγιομετωπιαίο άξονα (M/L), ιδιαίτερα στους ηλικιωμένους +75 ετών. Η ταχύτητα μετατόπισης του ΚΠ θεωρείται από αρκετούς ερευνητές ότι είναι μια καλύτερη ένδειξη της σταθερότητας της όρθιας στάσης και είναι ένας καλός προγνωστικός παράγοντας πτώσεων και θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την αξιολόγηση της ισορροπίας (Melzer *et al.*, 2003; Yu *et al.*, 2008). Τα παραπάνω ευρήματα φαίνεται να συμφωνούν με τα αποτελέσματα των Abrahamová and Ka, (2008), οι οποίοι εξέτασαν τη σχέση της ηλικίας με τη μετατόπιση του κέντρου πίεσης κατά τη διάρκεια της όρθιας στάσης κάτω από 4 συνθήκες προοδευτικής μείωσης της σωματο-αισθητικής ανατροφοδότησης σε άντρες (23) και γυναίκες (53) ηλικίας 20 έως 82. Η δυσκολία της συνθήκης ισορροπίας

φαίνεται να επιβαρύνει την προσπάθεια των ηλικιωμένων να διατηρήσουν το KB στη βάση στήριξης, παρουσιάζοντας μεγαλύτερες μετατοπίσεις του ΚΠ στο πλαγιομετωπικό άξονα, γεγονός που συνδέεται με την συν-ενεργοποίηση των μυών της άρθρωσης του γονάτου και του ισχίου (ορθός μηριαίος/οπίσθιοι μηριαίοι) κατά την αύξηση του βαθμού δυσκολίας της δοκιμασίας, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της σκληρότητας και κατ' επέκταση της σταθερότητας της άρθρωσης (Barbado *et al.*, 2012) .

Όταν αποκλείονται δύο αισθητηριακά συστήματα ρύθμισης της ισορροπίας, η ιδιοδεκτικότητα και η όραση, τότε παρατηρείται επιβάρυνση της ταχύτητας μετατόπισης στο M/L άξονα και στο εύρος μετατόπισης στον A/P στα δύο μεγάλα ηλικιακά γκρουπ. Οι Donath *et al.*, (2016) είναι στην ίδια κατεύθυνση με τα δικά μας ευρήματα, γεγονός που καταδεικνύει ότι η δυσκολία της συνθήκης ισορροπίας φαίνεται να επιβαρύνει την προσπάθεια των ηλικιωμένων να διατηρήσουν το KB στη βάση στήριξης, παρουσιάζοντας μεγαλύτερες μετατοπίσεις του ΚΠ στον πλαγιομετωπιαίο και στον προσθοπίσθιο άξονα. Σε παρόμοια συμπεράσματα καταλήγει η έρευνα των Melzer *et al.*, (2003), οι οποίοι εξέτασαν 143 υγιείς ηλικιωμένους, με μέσο όρο ηλικίας 78 έτη, σε 6 δοκιμασίες ισορροπίας, αφαιρώντας και τις δύο αισθήσεις, όραση και ιδιοδεκτικότητα. Οι ηλικιωμένοι που εμφάνισαν μεγαλύτερο συνολικό μήκος μετατόπισης, ταχύτητα μετατόπισης και μετατόπιση στο πλάγιο επίπεδο με ανοιχτά μάτια είχαν περισσότερες στατιστικά πτώσεις από τους υπόλοιπους. Επίσης στις δοκιμασίες με αυξανόμενο βαθμό δυσκολίας, η μεγαλύτερη συνολική πλαγιομετωπιαία μετατόπιση με την αύξηση της ηλικίας αποδόθηκε στην αλλαγή στη στρατηγική ελέγχου η οποία οφείλεται στη γήρανση. Αν και η σχετιζόμενη με την ηλικία αλλαγή στο σύστημα φυσιολογικού ελέγχου που είναι στην πραγματικότητα υπεύθυνο για τα παρόντα ευρήματα δεν μπορεί να αποτυπωθεί

πλήρως (Masani *et al.*, 2007), κάποιες μελέτες αποδίδουν την έκπτωση των λειτουργιών του ανθρώπινου σώματος στην στρατηγική ισχίου που υιοθετούν οι ηλικιωμένοι και την ενεργοποίηση μεγάλων μυϊκών ομάδων για την διατήρηση της ισορροπίας τους.

Επιπλέον, βρέθηκε σημαντική συσχέτιση της δοκιμασίας ισορροπίας με αυξημένη δυσκολία (διποδική, με ανοικτά μάτια και αντίστροφη μέτρηση - dual task) με την ταχύτητα μετατόπισης του ΚΠ στο M/L άξονα, η οποία αυξήθηκε στα δύο μεγάλα ηλικιακά γκρουπ ανεξαρτήτως φύλου. Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας φαίνεται να συμφωνούν με αυτά του Karlanski, (2001), ο οποίος έδειξε σημαντική διαφορά μεταξύ νέων και ηλικιωμένων στο γνωστικό τεστ (Stroop), με τους ηλικιωμένους να εμφανίζουν μεγαλύτερη ταλάντωση στη δοκιμασία που περιελάμβανε συνδυασμό δύο διαφορετικών δεξιοτήτων, ενώ παρατηρήθηκε αύξηση της ταλάντωσης και στις δύο ομάδες στο γνωστικό τεστ. Επιπλέον, η μυϊκή δραστηριότητα των πελματιαίων και ραχιαίων καμπτήρων των ηλικιωμένων σε σχέση με τους νέους, ήταν σημαντικά μεγαλύτερη δείχνοντας, πως οι ηλικιωμένοι, παρουσιάζουν μεγαλύτερη συν-ενεργοποίηση μυών προκειμένου να ελαχιστοποιήσουν την ταλάντωση του σώματος. Παρόμοια ευρήματα για την ισορροπία νέων και ηλικιωμένων, σε συνδυασμό με την εκτέλεση γνωστικών διαδικασιών βρήκαν οι Granacher, Gollhofer and Kressig, (2011) με τους ηλικιωμένους να έχουν μεγαλύτερη μέση μετατόπιση του ΚΠ και μεταβλητότητα διασκελισμών στην βάδιση σε σχέση με τους νέους, σε όλες τις συνθήκες. Στα άτομα 3ης ηλικίας επίσης η αστάθεια κατά την στατική ισορροπία μεγαλώνει όσο αυξάνει η πολυπλοκότητα της κίνησης, δηλαδή με την ταυτόχρονη εκτέλεση γνωστικής λειτουργίας. Επομένως οι ηλικιωμένοι και άτομα με νευρο-εκφυλιστικές παθήσεις που σχετίζονται με την ηλικία μπορεί να επηρεάζονται περισσότερο στην εκτέλεση dual-task κινήσεων λόγω της διαδικασίας γήρανσης ή του

εκφυλισμού των νευρωνικών κυκλωμάτων, με αποτέλεσμα να υπολείπονται τόσο στις κινητικές όσο και/ή στις γνωστικές επιδόσεις (Keller and Engelhardt, 2013). Σύμφωνα με τους ερευνητές για την καλύτερη πρόγνωση και αξιολόγηση της ισορροπίας συνιστάται στα πρωτόκολλα αξιολόγησης τόσο της ισορροπίας, όσο και της βάδισης να συμπεριλαμβάνονται κινήσεις που να συνδυάζουν και την γνωστική λειτουργία, συνθήκη που από μόνη της είναι επιβαρυντική τόσο στους νέους, όσο και στους ηλικιωμένους. Συνεπώς, η ικανότητα ισορροπίας επιβαρύνεται σημαντικά με την αύξηση της ηλικίας καθιστώντας σαφή την ανάγκη εστίασης στην έκπτωση των λειτουργιών του ανθρώπινου σώματος.

Παρόμοια συμπεριφορά ελέγχου της κίνησης εμφάνισαν τα ηλικιωμένα άτομα +75 ανεξαρτήτως φύλου στην μονοποδική στήριξη στο αριστερό πόδι, με την αύξηση της ταχύτητας μετατόπισης στον A/P και της τυπικής απόκλισης της μετατόπισης στον M/L. Η διαπίστωση αυτή βρίσκεται σε συμφωνία με αποτελέσματα προηγούμενων μελετών (Amiridis *et al.*, 2005). Πράγματι, η μετατόπιση του ΚΠ αυξάνεται όταν περιορίζεται η βάση στήριξης, ανεξάρτητα από την ηλικία. Η αυξανόμενη αστάθεια που εμφάνισαν οι μεγαλύτερης ηλικίας ηλικιωμένοι με την αλλαγή του πλάτους της βάσης στήριξης, μιας συνθήκης ιδιαίτερα αυξανόμενης δυσκολίας, επιβεβαιώνει τα ευρήματα προηγούμενων ερευνών στις οποίες υποστηρίχθηκε πως όσο αυξάνεται η δυσκολία της στάσης ισορροπίας με μείωση της βάσης στήριξης αυξάνεται και η μετατόπιση του κέντρου πίεσης με τις διαφορές να εντοπίζονται τόσο μεταξύ νέων και ηλικιωμένων, όσο και μεταξύ των αξιολογούμενων στάσεων ισορροπίας και στους δύο άξονες (Amiridis, Hatzitaki and Arabatzi, 2003; Donath *et al.*, 2016). Επιπλέον σε δοκιμασίες στατικής ισορροπίας αυξανόμενης δυσκολίας, όπως η στήριξη στο ένα πόδι, αυξάνονται οι απαιτήσεις στην ποδοκνημική άρθρωση και στον τετρακέφαλο μυ και επομένως αυξάνεται η μετατόπιση στο πλαγιομετωπικό επίπεδο (Jeon, Hwang and

Woo, 2013). Η μονοποδική στάση μπορεί να αποτελέσει έναν σημαντικό προγνωστικό παράγοντα σταθερότητας στο πλαίσιο έγκαιρης ανίχνευσης των ατόμων που διατρέχουν αυξημένο κίνδυνο πτώσεων, λόγω έλλειψης σταθερότητας κατά την όρθια στάση, έτσι ώστε να μπορούν να επιστρατευτούν την κατάλληλη χρονική στιγμή οι ανάλογες στρατηγικές πρόληψης και να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος πτώσεων στο μέλλον (Choy, Brauer and Nitz, 2003; Trajković *et al.*, 2021).

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΦΥΛΟΥ ΣΤΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΣΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΕ ΤΗΝ ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΚΙΑΣ ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΜΕ ΤΟΝ ΒΑΘΜΟ ΔΥΣΚΟΛΙΑΣ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΑΣΙΑΣ.

Σύμφωνα με τα παραπάνω ευρήματα της έρευνας διαπιστώθηκε πως δεν υπάρχουν σαφείς διαφορές μεταξύ των δύο φύλων στην ισορροπία, ακόμη και με την αύξηση της δυσκολίας της δοκιμασίας κατά την γήρανση. Οι μόνες αλληλεπιδράσεις που βρέθηκαν ήταν στην ταχύτητα μετατόπισης του κέντρου πίεσης στο πλαγιομετωπιαίο άξονα στη δοκιμασία σε ασταθή επιφάνεια, με τους ηλικιωμένους άνδρες <75 να εμφανίζουν την μεγαλύτερη ταχύτητα μετατόπισης από όλα τις ομάδες ηλικιωμένων. Επίσης και στη δοκιμασία με την αντίστροφη μέτρηση οι γυναίκες και των δύο ηλικιακών κατηγοριών εμφάνισαν μεγαλύτερη ταχύτητα μετατόπισης του κέντρου πίεσης στον πλαγιομετωπικό άξονα (M/L). Φαίνεται ότι η δυσκολία της άσκησης επιδρά με διαφορετικό τρόπο στα δύο φύλα χωρίς όμως να υπάρχει ξεκάθαρη εικόνα για το κάθε φύλο χωριστά και σε ποια συνθήκη συμβαίνει αυτό ξεχωριστά. Οι παράμετροι ισορροπίας που φαίνεται να επηρεάζονται περισσότερο είναι στον πλαγιομετωπιαίο άξονα (M/L) και κυρίως η ταχύτητα μετατόπισης σε δύσκολες συνθήκες στάσης. Τα δύο αυτά στοιχεία από την βιβλιογραφία συνιστώνται ως προβλεπτικοί παράγοντες πτώσης (Jeon, Hwang and Woo, 2013) .

Σε παρόμοια συμπεράσματα κατέληξαν οι Wu *et al.*, (2021), οι οποίοι μελέτησαν 1984 ηλικιωμένα άτομα εκ των οποίων 940 ήταν άνδρες και 1044 γυναίκες, όπου δεν βρήκαν στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα σε γυναίκες και άνδρες ενώ βρέθηκε ότι μετά την ηλικία των 60 ετών η ικανότητα της στατικής ισορροπίας μειώνεται σημαντικά και στα δύο φύλα. Οι Ozsoy *et al.*, (2019) μελέτησαν τη σχέση ισορροπίας με το φύλο. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν πως δεν υπάρχει καμία διαφορά μεταξύ των δύο φύλων στα στατική και δυναμική ισορροπία.

Αντιθέτως, οι Alcock, Brien and Vanicek, (2018) διαπίστωσαν ότι οι γυναίκες επηρεάζονται περισσότερο από την απώλεια αιθουσαίων πληροφοριών με την αύξηση της ηλικίας, γεγονός που τις αναγκάζει να ακολουθούν στρατηγική ισχίου και να κινούνται ασύμμετρα όταν δεχόταν επιπλέον ταλάντωση, γεγονός που συμφωνεί εν μέρει με τα δικά μας ευρήματα, όπου βρέθηκε μεγαλύτερη ταχύτητα μετατόπισης στις γυναίκες στον πλαγιομετωπιαίο άξονα με τη συμμετοχή πιθανόν των μεγάλων μυϊκών ομάδων στη δοκιμασία με ταυτόχρονη μέτρηση. Οι Pajala *et al.*, (2008) επίσης αξιολόγησαν τη στατική ισορροπία σε ένα τυχαία επιλεγμένο δείγμα 7.979 ατόμων ηλικίας 30 ετών και άνω στη διποδική και στη στάση Tandem. Παρατήρησαν ότι η επιδείνωση στον μηχανισμό ελέγχου της όρθιας στάσης ξεκινά σχετικά νωρίς στη ζωή. Διαφορές στην ικανότητα ισορροπίας ήταν ήδη εμφανείς μεταξύ νέων (30-39 ετών) και ατόμων μέσης ηλικίας (40-49 ετών) και έγιναν ακόμη πιο έκδηλες μετά την ηλικία των 60 ετών. Αν και οι διαφορές μεταξύ των ηλικιακών ομάδων διαπιστώθηκαν τόσο σε άντρες όσο και σε γυναίκες, η μείωση στην απόδοση με την αύξηση της ηλικίας ήταν πιο εμφανής στους άντρες. Η ηλικία δε των 75 ετών στον γυναικείο πληθυσμό φαίνεται να είναι το κατώφλι πάνω από το οποίο οι εκφυλιστικές διεργασίες του νευρομυϊκού συστήματος είναι υπεύθυνες για τη σημαντική αύξηση του κινδύνου πτώσης, που συνδυάζεται με την έκπτωση της στάσης σε αυτή την ηλικία (Wiacek *et al.*, 2009). Σε

παρόμοια συμπεράσματα κατέληξαν οι Røgind, Lykkegaard and Bliddal, (2003) ωστόσο, οι οποίοι αξιολόγησαν την ισορροπία σε 195 άτομα ηλικίας 20-70 ετών, με απώτερο σκοπό να συσχετίσουν τον έλεγχο της όρθιας στάσης με σωματομετρικά χαρακτηριστικά (ηλικία, φύλο, βάρος και ύψος σώματος), καθώς επίσης και με το κάπνισμα, την κατανάλωση αλκοόλ και την υπερκινητικότητα των αρθρώσεων. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η ταλάντωση θέσης αυξάνεται γραμμικά με την αύξηση της ηλικίας αλλά και το βαθμό δυσκολίας της δοκιμασίας, ανεξάρτητα από το φύλο. Τα παραπάνω συμπεράσματα φαίνεται να είναι σε συμφωνία με κάποια αποτελέσματα της παρούσης έρευνας που έδειξαν τους άνδρες να έχουν μεγαλύτερη μετατόπιση κυρίως στον προσθοπίσθιο άξονα όταν οι συνθήκες ήταν ιδιαίτερα δύσκολες, δηλαδή ασταθής επιφάνεια και ταυτόχρονη μέτρηση. Παρόλα αυτά με την αύξηση της ηλικίας οι διαφορές ελαχιστοποιούνται γεγονός που επιβεβαιώνει πρόσφατη έρευνα ότι η ηλικία είναι μάλλον ο μεγαλύτερος επιβαρυντικός παράγοντας στην διατήρηση της ισορροπίας όταν αυτή διαταράσσεται (Wu *et al.*, 2021).

Συμπερασματικά δεν είναι ακόμα ξεκάθαρο ποιο φύλο επηρεάζεται περισσότερο κατά τη γήρανση σε σχέση με την ισορροπία και για το λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητη η περαιτέρω διερεύνηση του ζητήματος με μεγαλύτερο δείγμα και ηλικιακό φάσμα.

Η ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΤΩΝ ΜΥΩΝ ΤΩΝ ΚΑΤΩ ΑΚΡΩΝ ΣΥΣΧΕΤΙΖΕΤΑΙ ΜΕ ΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ.

Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας έδειξαν πως δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της μείωσης της δύναμης των μυών των κάτω άκρων και της στατικής ισορροπίας σε όλες τις συνθήκες και τις μεταβλητές. Η μόνη σχέση που βρέθηκε είναι του δείκτη μάζας σώματος και της τυπικής απόκλισης της μετατόπισης του ΚΠ στον πλαγιομετωπιαίο άξονα σε ασταθή επιφάνεια με κλειστά μάτια. Η σχέση ήταν θετική

με την αύξηση της ηλικίας δείχνοντας ότι όσο αυξανόταν το βάρος στους ηλικιωμένους τόσο περισσότερο επιβαρυνόταν η ισορροπία τους στο πλάγιο επίπεδο. Αρκετές είναι οι μελέτες που έχουν παρόμοια ευρήματα με την παραπάνω έρευνα των Muehlbauer and Wehrle, (2012). Συγκεκριμένα σε μία πρόσφατη συστηματική ανασκόπηση διαπιστώθηκαν μικρού βαθμού συσχετίσεις μεταξύ μεταβλητών της ισορροπίας και δύναμης των κάτω άκρων ανεξάρτητα από την εξεταζόμενη κάθε φορά ηλικιακή ομάδα (Muehlbauer, Gollhofer and Granacher, 2015). Επίσης σε μικρού βαθμού συσχετίσεις κατέληξε και η συστηματική ανασκόπηση και μετά-ανάλυση των Oskouei *et al.*, (2021) σε ό, τι αφορά τη σχέση της δύναμης των πελματιαίων καμπτήρων με τη στατική ισορροπία. Πιο συγκεκριμένα διαπιστώθηκε ασθενώς θετική συσχέτιση της μέγιστης ισομετρικής δύναμης των πελματιαίων καμπτήρων με τη στατική ισορροπία ($r = 0.20$), μέτρια θετική τόσο με τη δυναμική «αντιδραστική» ισορροπία όπως επίσης και με τη δυναμική «προδραστική» ισορροπία. Επιπρόσθετα οι Tsabalaki *et al.*, (2023) εξέτασαν την επίδραση της δύναμης των μυών των κάτω άκρων στη στατική ισορροπία, και πιο συγκεκριμένα σε δοκιμασίες αυξανόμενης δυσκολίας. Κατά τη διάρκεια των τριών δοκιμασιών στατικής ισορροπίας και στις δύο οπτικές συνθήκες προέκυψαν μέτριες αρνητικές συσχετίσεις της ισομετρικής ροπής των μυών των κάτω άκρων με την ταχύτητα μετατόπισης του ΚΠ ($r = -0.39$ έως -0.61), στον προσθοπίσθιο και στον πλαγιομετωπιαίο άξονα.

Αντίθετα οι Trajković *et al.*, (2021) διαπίστωσαν ότι το εύρος κίνησης και η δύναμη των πελματιαίων καμπτήρων της ποδοκνημικής σχετίζονται με το εύρος ταλάντωσης του ΚΠ στην πλαγιομετωπιαία κατεύθυνση. Επίσης οι Cho *et al.*, (2012) κατέληξαν πως η δύναμη του πελματιαίου καμπτήρα και το εύρος κίνησής του μειώνεται στατιστικά σημαντικά κατά τη γήρανση, γεγονός που επηρεάζει και τη μετατόπιση του κέντρου πίεσης. Οι Wu *et al.*, (2017) συμπέραναν πως όσο μεγαλύτερη είναι η μυϊκή

δύναμη στις νεότερες γυναίκες και πιο αργός ο ρυθμός με τον οποίο ελαττώνεται αυτή με την αύξηση της ηλικίας, τόσο μεγαλύτερος είναι ο έλεγχος της ισορροπίας στη μέση ηλικία.

Συμπερασματικά διαπιστώνεται η ύπαρξη διχογνωμίας μεταξύ των ερευνητών σχετικά με το κατά πόσο η δύναμη των μυών των κάτω άκρων επηρεάζει την ισορροπία. Οι μελέτες που ασχολήθηκαν με την σχέση της δύναμης των ραχιαίων και πελματιαίων καμπτήρων με την ικανότητα της ισορροπίας φαίνεται να αποδίδουν τα διαφορετικά ευρήματα είτε στην εκάστοτε διαφορετική μεθοδολογική προσέγγιση και στα διαφορετικά πρωτόκολλα αξιολόγησης που ακολουθήθηκαν, είτε στην συνθετότητα εκτέλεσης των δοκιμασιών ισορροπίας με αυξημένη δυσκολία, η οποία δεν είναι δυνατόν να αποδοθεί σε ένα μόνο παράγοντα, μέγιστη δύναμη αλλά σε συνδυασμό αυτών, όπως εκφυλιστικές διεργασίες του νευρομυϊκού συστήματος και της αισθητηριακής αντίληψης, που εμφανίζονται με την αύξηση της ηλικίας και μεγιστοποιούνται με την γήρανση. Φαίνεται ότι η ισορροπία και η μυϊκή δύναμη είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους μεταβλητές, γι' αυτό θα πρέπει να εξετάζονται ξεχωριστά, αλλά και να προπονούνται συμπληρωματικά η μία με την άλλη.

Ως συνέπεια των παραπάνω συνιστάται περαιτέρω ανάλυση και αξιολόγηση των παραγόντων που σχετίζονται με την ισορροπία και την πτώση της δύναμης, ιδιαίτερα των μυών στην άρθρωση της ποδοκνημικής, η οποία και είναι κυρίως υπεύθυνη για την διατήρηση του ΚΠ στη βάση στήριξης.

Συμπέρασμα.

Συμπερασματικά από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας προκύπτει ότι η αύξηση της ηλικίας κατά την γήρανση επιδρά σε καθοριστικό βαθμό στη ταλάντωση θέσης του ΚΒ στη βάση ισορροπίας, η οποία μεγαλώνει με τον βαθμό δυσκολίας της δοκιμασίας

της στατικής ισορροπίας. Δεν υπάρχουν διακριτές διαφορές ανάμεσα στα δύο φύλα όταν αυξάνεται ο βαθμός δυσκολίας της ισορροπίας και η ηλικία, με εξαίρεση την δοκιμασία της ταυτόχρονης μέτρησης που φαίνεται να επηρεάζει τις γυναίκες + 75, υιοθετώντας στρατηγική ισχίου. Επίσης φαίνεται ό,τι η δυσκολία της δοκιμασίας και η αισθητηριακή διαταραχή επηρεάζει περισσότερο τους άνδρες και των δύο ηλικιακών κατηγοριών που εξετάστηκαν. Η μέγιστη δύναμη των μυών της ποδοκνημικής δεν φαίνεται να επιδρά αρνητικά στη διατήρηση του KB στη βάση στήριξης, γεγονός που αναδεικνύει την ικανότητα της στατικής ισορροπίας ως μια πολύπλοκη και πολυπαραγοντική διαδικασία, της οποίας η έκπτωση δεν ερμηνεύεται μόνο από την επίδραση ενός παράγοντα.

Περιορισμοί της Έρευνας

1. Δεν ελέγχθηκε η ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα και η ενεργοποίηση των μυών κατά τη διάρκεια των δοκιμασιών ισορροπίας και δύναμης, συνεπώς δεν είμαστε σε θέση να κατανοήσουμε τη συμμετοχή τους στις δοκιμασίες ισορροπίας.
2. Δεν πραγματοποιήθηκε κινηματική ανάλυση κατά τη διάρκεια των δοκιμασιών ισορροπίας και άρα δεν μπορούμε να εξάγουμε ασφαλή συμπεράσματα για τις ροπές γύρω από το ισχίο, το γόνατο και την ποδοκνημική άρθρωση.
3. Ένα μεγαλύτερο δείγμα θα μπορούσε καλύτερα να περιγράψει τις διαφορές των δύο φύλων και να δώσει καλύτερη εικόνα της επιβάρυνσης στην στατική ισορροπία με την αύξηση της ηλικίας.

Βιβλιογραφία.

Abrahamová, D. and Ka, F.H.Č. (2008) ‘Age-Related Changes of Human Balance during Quiet Stance’, 8408, pp. 957–964.

Alcock, L., Brien, T.D.O. and Vanicek, N. (2018) ‘Health Care for Women International Association between somatosensory , visual and vestibular contributions to postural control , reactive balance capacity and healthy ageing in older women’, *Health Care for Women International*, 39(12), pp. 1368–1382. Available at: <https://doi.org/10.1080/07399332.2018.1499106>.

Amiridis, I. *et al.* (2005) ‘Static balance improvement in elderly after dorsiflexors electrostimulation training’, *Eur J Appl Physiol*, 94(4), pp. 424–433. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00421-005-1326-3>.

Amiridis, I.G., Hatzitaki, V. and Arabatzi, F. (2003) ‘Age-induced modifications of static postural control in humans’, *Neuroscience Letters*, 350(3), pp. 137–140. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(03\)00878-4](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(03)00878-4).

Balasubramaniam, R. and Wing, A.M. (2002) ‘The dynamics of standing balance’, 6(12), pp. 531–536.

Barbado, D. *et al.* (2012) ‘Human Movement Science Effect of increasing difficulty in standing balance tasks with visual feedback on postural sway and EMG : Complexity and performance’, *Human Movement Science*, 31(5), pp. 1224–1237. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.humov.2012.01.002>.

Bellew, J.W. and Fenter, P.C. (2006) ‘Control of Balance Differs After Knee or Ankle Fatigue in Older Women’, 87(November), pp. 1486–1489. Available at:

<https://doi.org/10.1016/j.apmr.2006.08.020>.

Billot, M. *et al.* (2010) 'Age-related relative increases in electromyography activity and torque according to the maximal capacity during upright standing', pp. 669–680. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1397-7>.

Boisgontier, M.P. *et al.* (2013) 'Neuroscience and Biobehavioral Reviews Age-related differences in attentional cost associated with postural dual tasks: Increased recruitment of generic cognitive resources in older adults', *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 37(8), pp. 1824–1837. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.07.014>.

Bok, S., Lee, T.H. and Lee, S.S. (2013) 'The Effects of Changes of Ankle Strength and Range of Motion According to Aging on Balance', 37(1), pp. 10–16.

Brand, C. *et al.* (2015) 'The effect of tooth loss on gait stability of community-dwelling older adults', *Gerodontology*, 32(4), pp. 296–301. Available at: <https://doi.org/10.1111/ger.12136>.

Bull, F.C. *et al.* (2020) 'World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour', *British Journal of Sports Medicine*, 54(24), pp. 1451–1462. Available at: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102955>.

Cattagni, T. *et al.* (2016) 'The involvement of ankle muscles in maintaining balance in the upright posture is higher in elderly fallers', *EXG*, 77, pp. 38–45. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.exger.2016.02.010>.

Cho, K.H. *et al.* (2012) 'Effect of Lower Limb Strength on Falls and Balance of the Elderly', pp. 386–393.

Choy, N.L., Brauer, S. and Nitz, J. (2003) 'Changes in Postural Stability in Women Aged 20 to 80 Years', 58(6), pp. 525–530.

Danneskiold-Samsøe, B. *et al.* (2009) 'Isokinetic and isometric muscle strength in a healthy population with special reference to age and gender', *Acta Physiologica*, 197(SUPPL. 673), pp. 1–68. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.2009.02022.x>.

Desforges, J.F., Tinetti, M.E. and Speechley, M. (1989) 'Prevention of Falls among the Elderly', *New England Journal of Medicine*, 320(16), pp. 1055–1059. Available at: <https://doi.org/10.1056/nejm198904203201606>.

Doherty, T.J., Vander, A.A. and Brown-, W.F. (1993) 'Effects of Ageing on the Motor Unit : A Brief Review'.

Donath, L. *et al.* (2016) 'Leg and trunk muscle coordination and postural sway during increasingly difficult standing balance tasks in young and older adults', *Maturitas*, 91, pp. 60–68. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2016.05.010>.

Enoka, M. (2018) 'Reduced Control of Motor Output in a Human Hand Muscle of Elderly Subjects During Submaximal Contractions', 69(6).

Geriatr, J.A. (1987) 'R 0 1987', pp. 13–20.

Granacher, U. *et al.* (2009) 'Resistance Training and Neuromuscular Performance in Seniors', pp. 652–657. Available at: <https://doi.org/10.1055/s-0029-1224178>.

Granacher, U., Gollhofer, A. and Kressig, W. (2011) 'An Intergenerational Approach in the Promotion of Balance and Strength for Fall Prevention – A Mini-Review', pp. 304–315. Available at: <https://doi.org/10.1159/000320250>.

Haynes, E.M.K. *et al.* (2020) 'Age and sex-related decline of muscle strength across the adult lifespan: A scoping review of aggregated data', *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 45(11), pp. 1185–1196. Available at: <https://doi.org/10.1139/apnm-2020-0081>.

Horak, F.B. (2006) 'Postural orientation and equilibrium: What do we need to know about neural control of balance to prevent falls?', *Age and Ageing*, 35(SUPPL.2), pp. 7–11. Available at: <https://doi.org/10.1093/ageing/afl077>.

Horak, F.B., Frank, J. and Nutt, J. (1996) 'Effects of dopamine on postural control in parkinsonian subjects: Scaling, set, and tone', *Journal of Neurophysiology*, 75(6), pp. 2380–2396. Available at: <https://doi.org/10.1152/jn.1996.75.6.2380>.

Isableu, B., Ohlmann, T. and Cremieux, J. (2010) 'INDIVIDUAL DIFFERENCES IN THE ABILITY TO IDENTIFY , SELECT AND USE APPROPRIATE FRAMES OF REFERENCE FOR PERCEPTUO-MOTOR CONTROL', *NSC*, 169(3), pp. 1199–1215. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2010.05.072>.

Jeon, H., Hwang, S. and Woo, Y. (2013) 'The Knee The effect of ankle and knee immobilization on postural control during standing', *The Knee*, 20(6), pp. 600–604. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.knee.2012.09.001>.

Kahya, M. *et al.* (2022) 'Brain activity during dual - task standing in older adults', *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 3, pp. 1–11. Available at: <https://doi.org/10.1186/s12984-022-01095-3>.

Kaplanski, I.M.N.B.J. (2001) 'Age-Related Changes of Postural Control: Effect of Cognitive Tasks', pp. 189–194.

Keller, K. and Engelhardt, M. (2013) 'Strength and muscle mass loss with aging

process. Age and strength loss', *Muscles, Ligaments and Tendons Journal*, 3(4), pp. 346–350. Available at: <https://doi.org/10.11138/mltj/2013.3.4.346>.

Kellis, E. *et al.* (2007) 'Tensile properties of the in vivo human gastrocnemius tendon', *J Appl Physiol* (1985). 2007/01/16. Edited by P.F. Perugia L Ippolito E, 24(1), pp. 1–8. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2006.09.081>.

Laughton, C.A. *et al.* (2003) 'Aging , muscle acti v ity , and balance control: physiologic changes associated with balance impairment', 18, pp. 101–108. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0966-6362\(02\)00200-X](https://doi.org/10.1016/S0966-6362(02)00200-X).

Lexell, J. and Suppl, M. (2018) 'Symposium : Sarcopenia : Diagnosis and Mechanisms Evidence for Nervous System Degeneration with Advancing Age 1', (May), pp. 1011–1013.

Lexell, J., Taylor, C.C. and Sj, M. (1988) 'What is the cause of the ageing atrophy? Total number , size and proportion of different fiber types studied in whole vastus lateralis muscle from 15- to 83-year-old men', pp. 275–294.

Li, J. *et al.* (2020) 'Dynamical Analysis of Standing Balance Control on Sloped Surfaces in Individuals with Lumbar Disc Herniation', pp. 1–9. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58455-z>.

Masani, K. *et al.* (2007) 'Larger center of pressure minus center of gravity in the elderly induces larger body acceleration during quiet standing', *Neuroscience Letters*, 422(3), pp. 202–206. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2007.06.019>.

Masui, T. *et al.* (2005) 'Gender differences in platform measures of balance in rural community-dwelling elders', *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 41(2), pp. 201–209. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.archger.2005.02.003>.

Mcisaac, T.L. *et al.* (2018) ‘Cognitive-Motor Interference in Neurodegenerative Disease : A Narrative Review and Implications for Clinical Management’, 9(October), pp. 1–9. Available at: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02061>.

Melzer, I. *et al.* (2003) ‘Postural stability in the elderly : a comparison between fallers and non-fallers’, pp. 602–607. Available at: <https://doi.org/10.1093/ageing/afh218>.

Muehlbauer, T., Gollhofer, A. and Granacher, U. (2015) ‘Associations Between Measures of Balance and Lower-Extremity Muscle Strength / Power in Healthy Individuals Across the Lifespan: A Systematic Review and Meta-Analysis’, *Sports Medicine*, 45(12), pp. 1671–1692. Available at: <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0390-z>.

Muehlbauer, T. and Wehrle, A. (2012) ‘Relationship between Strength , Power’. Available at: <https://doi.org/10.1159/000341614>.

N.R. Colledge; P. Cantley; I. Peaston; H. Brash; S. Lewis; J.A. Wilson (1994) ‘Ageing and Balance: The Measurement of Spontaneous Sway by Posturography’, *Gerontology*, 40(5), pp. 273–278.

Nagaia, K. *et al.* (2018) ‘Physical activity combined with resistance training reduces symptoms of frailty in older adults : A randomized controlled trial’, *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 76(February), pp. 41–47. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.archger.2018.02.005>.

Narici, M. V *et al.* (2004) ‘Muscular adaptations to resistance exercise in the elderly’, *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2004/12/24, 4(2), pp. 161–164. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15615118>.

Ohansson, J.O.J. *et al.* (2017) ‘Increased postural sway during quiet stance as a risk

factor for prospective falls in community-dwelling elderly individuals’, pp. 1–6.
Available at: <https://doi.org/10.1093/ageing/afx083>.

Orr, R. (2010) ‘E IN YR T IN YR’, 46(2), pp. 183–220.

Oskouei, S.T. *et al.* (2021) ‘Is Ankle Plantar Flexor Strength Associated With Balance and Walking Speed in Healthy People ? A Systematic Review and Meta-Analysis’, pp. 1–12. Available at: <https://doi.org/10.1093/ptj/pzab018>.

Ozsoy, I. *et al.* (2019) ‘Factors Influencing Activities of Daily Living in Subjects With COPD’, (September 2016), pp. 189–195. Available at: <https://doi.org/10.4187/respcare.05938>.

Pajala, S. *et al.* (2008) ‘Force Platform Balance Measures as Predictors of Indoor and Outdoor Falls in Community-Dwelling Women Aged 63 – 76 Years’, 63(2), pp. 171–178.

Panzer, V.P. (2015) ‘Balance in the’.

Pollock, A.S., Durward, B.R. and Rowe, P.J. (2000) ‘What is balance ?’, 2155(October 1999), pp. 402–406.

Røgind, H., Lykkegaard, J.J. and Bliddal, H. (2003) ‘Postural sway in normal subjects aged 20 – 70 years’, pp. 171–176.

Samuel, A.J., Solomon, J. and Mohan, D. (2015) ‘A Critical Review on the Normal Postural Control A Critical Review on the Normal Postural Control’, (June). Available at: <https://doi.org/10.21088/potj.0974.5777.8215.4>.

Šarabon, N., Kozinc, Ž. and Marković, G. (2022a) ‘Effects of age, sex and task on postural sway during quiet stance’, *Gait & Posture*, 92, pp. 60–64. Available at:

<https://doi.org/10.1016/J.GAITPOST.2021.11.020>.

Šarabon, N., Kozinc, Ž. and Marković, G. (2022b) 'Effects of age, sex and task on postural sway during quiet stance', *Gait and Posture*, pp. 60–64. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.11.020>.

Shapiro, J. *et al.* (2014) 'Importance of Body Sway Velocity Information in Controlling Ankle Extensor Activities During Quiet Stance Importance of Body Sway Velocity Information in Controlling Ankle Extensor Activities During Quiet Stance', (August 2003), pp. 3774–3782. Available at: <https://doi.org/10.1152/jn.00730.2002>.

Simoneau, E., Martin, A. and Hoecke, J. Van (2005) 'Muscular Performances at the Ankle Joint in Young and Elderly Men', 60(4), pp. 439–447.

Skeparianos, A. *et al.* (2023) 'Association between ankle muscle strength and postural sway in older adults', *Journal of Physical Education and Sport*, 23(10), pp. 2592–2600. Available at: <https://doi.org/10.7752/jpes.2023.10297>.

Soriano, T; DeCherrie, L; Tomas, D. (2007) 'Falls in the community-dwelling older adult: A review for primary-care providers', *Clinical Interventions in Aging*, 2(4), pp. 545–553.

Stavropoulos, V.E. (2005) 'Static balance improvement in elderly after dorsiflexors electrostimulation training', pp. 424–433. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00421-005-1326-3>.

Trajković, N. *et al.* (2021) 'Relationship between ankle strength and range of motion and postural stability during single - leg quiet stance in trained athletes', *Scientific Reports*, pp. 1–8. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91337-6>.

Tsabalaki, Z. *et al.* (2023) ‘Age-induced modifications in postural control and lower limb strength’, (November). Available at: <https://doi.org/10.7752/jpes.2023.07188>.

Verhaeghen, P. *et al.* (2003) ‘Aging and Dual-Task Performance : A Meta-Analysis’, 18(3), pp. 443–460. Available at: <https://doi.org/10.1037/0882-7974.18.3.443>.

Vieira, T.M.M. *et al.* (2011) ‘Postural activation of the human medial gastrocnemius muscle : are the muscle units spatially localised?’, 2, pp. 431–443. Available at: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2010.201806>.

Vito, G. De, Ditroilo, M. and Pesce, C. (2014) ‘Measures of static postural control moderate the association of strength and power with functional dynamic balance’. Available at: <https://doi.org/10.1007/s40520-014-0216-0>.

Wajda, D.A. *et al.* (2017) ‘Expert Review of Neurotherapeutics Intervention modalities for targeting cognitive- motor interference in individuals with neurodegenerative disease : a systematic review with neurodegenerative disease : a systematic review’, *Expert Review of Neurotherapeutics*, 17(3), pp. 251–261. Available at: <https://doi.org/10.1080/14737175.2016.1227704>.

Wiacek, M. *et al.* (2009) ‘Correlations between postural stability and strength of lower body extremities of women population living in long-term care facilities’, 48, pp. 346–349. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.archger.2008.02.019>.

Woollacott, M.H., Shumway-cook, A. and Nashner, L.M. (1986) ‘AGING AND POSTURE CONTROL : CHANGES IN SENSORY ORGANIZATION AND MUSCULAR COORDINATION *’, 23(2). Available at: <https://doi.org/10.2190/VXN3-N3RT-54JB-X16X>.

Wu, F. *et al.* (2017) ‘Both Baseline and Change in Lower Limb Muscle Strength in

Younger Women Are Independent Predictors Prospective Study’, 32(6), pp. 1201–1208. Available at: <https://doi.org/10.1002/jbmr.3103>.

Wu, H. *et al.* (2021) ‘Characteristics of balance performance in the Chinese elderly by age and gender’, *BMC Geriatrics*, pp. 1–11. Available at: <https://doi.org/10.1186/s12877-021-02560-9>.

Yu, E. *et al.* (2008) ‘Evaluation of Postural Control in Quiet Standing Using Center of Mass Acceleration : Comparison Among the Young , the Elderly , and People With Stroke’, 89(June), pp. 1133–1139. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2007.10.047>.