



UNIVERSITY *of* NICOSIA

Ερευνητική διατριβή στο πλαίσιο του διδακτορικού προγράμματος
σπουδών στην Επιστήμη της Άσκησης και της Φυσικής Αγωγής

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΠΡΟΠΟΝΗΣΗΣ ΥΨΗ-
ΛΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΣΤΗ ΣΩΜΑΤΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ, ΣΩΜΑΤΙΚΗ
ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΜΥΪΚΗΣ ΒΛΑΒΗΣ ΚΑΙ ΦΛΕΓ-
ΜΟΝΗΣ**

Τμήμα Επιστημών Ζωής
Σχολή Επιστημών Ζωής και Υγείας

Γεώργιος Ποσνακίδης

Δεκέμβριος 2023
Λευκωσία, Κύπρος

Ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλα, εκφράζω τις θερμές μου ευχαριστίες στους επιβλέποντες της διατριβής μου, Δρ Γρήγορη Μπογδάνη, Δρ Γιώργο Αφάμη και Δρ Χριστόφορο Γιαννάκη για την εξαιρετική καθοδήγηση, την αμέριστη εμπιστοσύνη και τη συνεχή υποστήριξή τους καθ' όλη τη διάρκεια της ερευνητικής διαδικασίας. Η εμπειρογνομosύνη τους και η ανεκτίμητη ανατροφοδότησή τους συνέβαλαν σημαντικά στην επιτυχία αυτής της διατριβής. Θα ήθελα επίσης να αναγνωρίσω τις θετικές παρεμβάσεις του καθηγητή Δρ Βασίλη Μούγιου κατά τη διάρκεια της έρευνας, οι οποίες εμπλούτισαν περαιτέρω τα αποτελέσματα.

Είμαι απεριόριστα ευγνώμων στο Πανεπιστήμιο Λευκωσίας για την παραχώρηση πρόσβασης στο εργαστήριο ανθρώπινης αξιολόγησης και τη δυνατότητα χρήσης του γυμναστηρίου UFIT. Αυτοί οι πόροι έπαιξαν ζωτικό ρόλο στη διεξαγωγή των απαραίτητων πειραμάτων και τη συλλογή των σχετικών δεδομένων.

Θα ήθελα να εκφράσω τη βαθύτατη εκτίμησή μου στον Άρη Χατζηπαναγή, τον εργοδότη μου, ο οποίος μου παρείχε αμέριστη υποστήριξη και διευκόλυνε τη χρήση του πανεπιστημιακού γυμναστηρίου UFIT. Η βοήθειά τους ήταν καθοριστική για τη διατήρηση ενός ευνοϊκού περιβάλλοντος για την έρευνά μου.

Θερμές ευχαριστίες οφείλω επίσης στους εθελοντές που συμμετείχαν πρόθυμα στις μελέτες. Η ανεκτίμητη συμβολή και η συνεργασία τους ήταν καθοριστικής σημασίας για την επιτυχή διεξαγωγή της παρούσας έρευνας. Είμαι εξίσου ευγνώμων στο αφοσιωμένο προσωπικό του UFIT, ιδιαίτερα στον Μάριο Χατζηστυλλή, για τη βοήθεια και τη συνεργασία τους καθ' όλη τη διάρκεια της ερευνητικής διαδικασίας.

Τέλος, θέλω να εκφράσω την ειλικρινή μου ευγνωμοσύνη στην αναντικατάστατη μητέρα μου, την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την αμέριστη υποστήριξη και έμπνευσή τους καθ' όλη τη διάρκεια αυτού του ταξιδιού. Η ενθάρρυνση και η κατανόησή τους έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στο να διατηρήσω το κίνητρο και την αυτοσυγκέντρωσή μου.

Συνολικά, ευχαριστώ τον Θεό και είμαι πραγματικά ευγνώμων για τις συλλογικές προσπάθειες όλων όσοι συνέβαλαν σε αυτή τη διατριβή και η υποστήριξή τους ήταν καθοριστική για την επιτυχή ολοκλήρωσή της.

Πίνακας περιεχομένων

Πίνακας περιεχομένων	3
• Ευχαριστίες.....	2
• Περίληψη	9
• Abstract.....	11
• Συντομογραφίες.....	13
<i>Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή και Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας</i>	16
• Επίδραση της άσκησης στην υγεία και οι διαφορετικές μορφές άσκησης.....	17
Χαρακτηριστικά ενός προγράμματος άσκησης	18
• Διάρκεια της άσκησης	18
• Ένταση της άσκησης	19
• Συχνότητα της άσκησης	19
Προπόνηση αντοχής.....	20
• Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου.....	20
• Αναερόβιο ή Γαλακτικό Κατώφλι	21
Προπόνηση δύναμης.....	23
• Μέγιστη δύναμη	23
• Μυϊκή ισχύς	23
• Μυϊκή αντοχή	24
Διαλειμματική προπόνηση υψηλής έντασης	25
• Ορισμός	25
• Είδη διαλειμματικής άσκησης υψηλής έντασης	26
• Καρδιοαναπνευστικές επιδράσεις.....	30
• Μεταβολικές επιδράσεις.....	31
• Επίδραση της διαλειμματικής άσκησης υψηλής έντασης στην απόδοση και στην υγεία	32

Λειτουργική άσκηση υψηλής έντασης.....	34
• Προέλευση και ορισμός της λειτουργικής άσκησης υψηλής έντασης.....	34
• Διαφορές διαλειμματικής και λειτουργικής άσκησης υψηλής έντασης.....	36
• Εφαρμογή λειτουργικής άσκησης υψηλής έντασης σε γενικό πληθυσμό	38
• Εφαρμογή λειτουργικής άσκησης υψηλής έντασης σε αθλητές	40
• Πλεονεκτήματα της λειτουργικής άσκησης υψηλής έντασης, έναντι άλλων μορφών άσκησης	42
• Επίδραση της HIFT στην καρδιοαναπνευστική ικανότητα.....	44
• Επίδραση στην σύσταση σώματος.....	45
• Επίδραση στην μυϊκή δύναμη	46
• Επιβάρυνση και μυϊκοί τραυματισμοί.....	47
Μυϊκή βλάβη και φλεγμονή κατά την άσκηση υψηλής έντασης	49
Μυϊκή βλάβη.....	49
• Ορισμός	49
• Αίτια πρόκλησης της μυϊκής βλάβης	50
Αιματολογικοί δείκτες μυϊκής βλάβης.....	51
• Γαλακτική Αφυδρογονάση (LDH).....	51
• Μυοσφαιρίνη (MYO).....	52
• Κρεατινική κινάση (CK)	53
• Δομικές προσαρμογές του σκελετικού μύος ως απόκριση στην ασκησιογενή μυϊκή βλάβη	54
• Πρόκληση μυϊκής βλάβης σε προγράμματα άσκησης υψηλής έντασης	55
• Επίδραση μυϊκής βλάβης στην αθλητική απόδοση	57
Φλεγμονή κατά την άσκηση υψηλής έντασης	58
Δείκτες φλεγμονής	58
• C - αντιδρώσα πρωτεΐνη (CRP).....	58
• Ιντερλευκίνη-1 (IL-1).....	59

• Παράγοντας νέκρωσης όγκων-α (TNF-α)	60
• Ιντερλευκίνη-6 (IL-6)	62
Σημασία δεικτών φλεγμονής στην άσκηση	63
• Επίδραση της φλεγμονής στην αθλητική απόδοση	63
• Φλεγμονή και μυϊκοί τραυματισμοί	64
• Απόκριση κυτταροκινών σε πρόγραμμα υψηλής έντασης	65
• Επίδραση προγραμμάτων υψηλής έντασης σε δείκτες φλεγμονής	66
Επίδραση αντιοξειδωτικών βιταμινών στους δείκτες μυϊκής βλάβης, και φλεγμονής	67
Αντιοξειδωτικές βιταμίνες	67
• Ρόλος και λειτουργία των αντιοξειδωτικών βιταμινών	67
• Αντιοξειδωτική δράση των βιταμινών A, C και E στην υγεία	68
• Επίδραση των βιταμινών A, E και C στην αθλητική απόδοση και στην αποκατάσταση	69
• Επίδραση των βιταμινών A, E και C στη μυϊκή βλάβη και σε δείκτες οξειδωτικού στρες και φλεγμονής	71
Ωμέγα λιπαρά οξέα	72
• Ορισμός και επίδραση των Ω-3 και Ω-6 στον οργανισμό	72
• Επίδραση των Ω-3 και Ω-6 στην υγεία	73
• Επίδραση των EPA, DHA, ALA σε δείκτες φλεγμονής και μυϊκής βλάβης	74
• Επίδραση των Ω-3 και Ω-6 σε DOMS, δείκτες απόδοσης και σωματικής σύστασης	75
• Επίδραση των Ω-3 και Ω6 στην αποκατάσταση	77
• Σημασία των μονοακόρεστων (MUFA) και κορεσμένων (SFA) λιπαρών οξέων στην αθλητική απόδοση	79
<i>Κεφάλαιο 2 - Η λειτουργική προπόνηση υψηλής έντασης βελτιώνει την καρδιοαναπνευστική ικανότητα και τη νευρομυϊκή απόδοση χωρίς φλεγμονή ή μυϊκή βλάβη</i>	<i>81</i>
• Εισαγωγή	82
Μέθοδοι	83

• Πειραματική προσέγγιση του προβλήματος	83
• Συμμετέχοντες	84
• Διαδικασίες	84
• Ανθρωπομετρική αξιολόγηση	85
• Αξιολόγηση καρδιοαναπνευστικής ικανότητας.....	85
• Επίδοση κατακόρυφου άλματος	86
• Μυϊκή αντοχή	87
• Πρωτόκολλο λειτουργικής προπόνησης υψηλής έντασης.....	87
• Καταγραφή καρδιακής συχνότητας	88
• Στατιστικές αναλύσεις.....	89
• Αποτελέσματα.....	89
• Σύσταση σώματος	89
• Καρδιοαναπνευστική ικανότητα.....	90
• Μυϊκή δύναμη, μυϊκή αντοχή και κατακόρυφο άλμα.....	90
• Απόδοση κατά τη διάρκεια των λειτουργικών προπονήσεων υψηλής έντασης.....	90
• Ανταπόκριση καρδιακού ρυθμού κατά τη διάρκεια λειτουργικής προπόνησης υψηλής έντασης	92
• Βιοχημικές παράμετροι.....	97
• Συζήτηση.....	97
• Συμπέρασμα.....	101
• Πρακτικές εφαρμογές	101
<i>Κεφάλαιο 3 - Η προσθήκη ασκήσεων αντίστασης υψηλού φορτίου σε λειτουργική προπόνηση υψηλής έντασης προκαλεί περαιτέρω βελτιώσεις στη σύσταση του σώματος και τη δύναμη: Μια τυχαιοποιημένη δοκιμή</i>	
• Εισαγωγή.....	103
Υλικά και μέθοδοι.....	105
• Συμμετέχοντες	105

• Αξιολόγηση ανθρωπομετρικών στοιχείων και σύστασης σώματος	107
• Αξιολόγηση καρδιοαναπνευστικής ικανότητας.....	107
• Αξιολόγηση ισοκινητικής ροπής.....	108
• Απόδοση κατακόρυφου άλματος.....	108
• Αξιολόγηση της δύναμης του άνω μέρους του σώματος	108
• Αξιολόγηση της αντοχής των μυών του άνω μέρους του σώματος	109
• Παρακολούθηση καρδιακού ρυθμού.....	109
• Στατιστικές αναλύσεις	109
• Αποτελέσματα.....	110
• Ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά και σωματική σύσταση	110
• Καρδιοαναπνευστική ικανότητα.....	111
• Δύναμη κάτω και άνω σώματος.....	112
• Αντοχή των μυών του άνω μέρους του σώματος	114
• Ανταπόκριση καρδιακών παλμών κατά τη διάρκεια προπονητικών συνεδριών.....	115
• Απόδοση κατά τη διάρκεια των εκπαιδευτικών συνεδριών	115
• Συζήτηση.....	117
• Συμπέρασμα	120
• Γενικά Συμπεράσματα	120
<i>Κεφάλαιο 4 – Οι επιδράσεις συγκεκριμένων ωμέγα-3 και ωμέγα-6 πολυακόρεστων λιπαρών οξέων και αντιοξειδωτικών βιταμινών σε συνδυασμό με λειτουργική προπόνηση υψηλής έντασης στην απόδοση κατά την άσκηση και τη φλεγμονή σε υγιείς νεαρούς ενήλικες.....</i>	
• Εισαγωγή	122
Υλικά και μέθοδοι • Συμμετέχοντες	124
• Σχεδιασμός μελέτης	125
• Ανθρωπομετρική αξιολόγηση και αξιολόγηση της σύστασης του σώματος	126
• Αξιολόγηση καρδιοαναπνευστικής ικανότητας.....	126

• Αξιολόγηση ισοκινητικής δύναμης.....	126
• Απόδοση κατακόρυφου άλματος.....	127
• Δύναμη του άνω μέρους του σώματος.....	127
• Πρωτόκολλο HIFT.....	128
• Συμπλήρωμα ιχθυελαίου ωμέγα - <i>Neuroaspis PLP10</i>	129
• Βιοχημικές παράμετροι.....	129
• Αποτελέσματα.....	130
• Σύσταση σώματος.....	132
• Καρδιοαναπνευστικές παράμετροι.....	134
• Βιοχημικές παράμετροι.....	137
Πίνακας 4. Μέση διαφορά στην ημερήσια τιμή της Κρεατινικής Κινάσης (CK) μεταξύ των ομάδων.....	138
Πίνακας 5. Μέση διαφορά στην ημερήσια τιμή της C-αντιδρώσας πρωτεΐνης μεταξύ των ομάδων.....	139
• Συζήτηση.....	140
• Συμπέρασμα.....	144
Γενική συζήτηση.....	145
• Περιορισμοί της διατριβής.....	150
• Επίλογος.....	151
• Παραρτήματα.....	153
• Έντυπα συγκατάθεσης συμμετεχόντων.....	155
• Βιβλιογραφία.....	156

Περίληψη

Η παρούσα διατριβή παρέχει εμπειριστατωμένη ανάλυση τριών μελετών που αξιολογούν τις επιδράσεις της λειτουργικής προπόνησης υψηλής έντασης (HIFT) σε διάφορες πτυχές της σωματικής απόδοσης και της φλεγμονής σε νέους ανθρώπους. Η πρώτη μελέτη εξετάζει τον αντίκτυπο της HIFT στην καρδιοαναπνευστική ικανότητα, τη νευρομυϊκή απόδοση, τη φλεγμονή και τη μυϊκή βλάβη, με έμφαση στο κατά πόσον αυτές οι βελτιώσεις συμβαίνουν χωρίς να προκαλούν φλεγμονή ή μυϊκή βλάβη. Τα ευρήματα υποδηλώνουν ότι το HIFT είναι μια αποτελεσματική μέθοδος προπόνησης για τη βελτίωση τόσο της καρδιοαναπνευστικής ικανότητας και της σύστασης του σώματος, όσο και για τη βελτίωση της νευρομυϊκής απόδοσης, χωρίς να προκαλεί υπερβολική φλεγμονή ή μυϊκή βλάβη. Αυτό αναδεικνύει την πολυδιάστατη φύση της HIFT και τις θετικές επιδράσεις του τόσο στους δείκτες απόδοσης όσο και στους δείκτες υγείας.

Η δεύτερη μελέτη εμβαθύνει στην ενσωμάτωση ασκήσεων αντίστασης με υψηλά φορτία στην HIFT, με στόχο να διαπιστωθεί εάν ο συνδυασμός αυτός οδηγεί σε περαιτέρω βελτιώσεις στη σύσταση του σώματος και τη δύναμη. Αντικαθιστώντας μία άσκηση για το άνω και μία για το κάτω μέρος του σώματος ενός τυπικού προγράμματος HIFT με παρόμοιες ασκήσεις με υψηλά φορτία (80% της μέγιστης επανάληψης), διερευνήθηκαν οι επιδράσεις στη μυϊκή μάζα και τη δύναμη. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι η συμπερίληψη ασκήσεων αντίστασης υψηλού φορτίου στην HIFT ενισχύει σημαντικά την καρδιοαναπνευστική ικανότητα αλλά και τη δύναμη του σώματος, παρέχοντας πολύτιμες πληροφορίες για τη βελτιστοποίηση των προπονητικών πρωτοκόλλων για την επίτευξη βέλτιστων σωματικών αποτελεσμάτων. Αυτό αναδεικνύει τα πιθανά οφέλη του συνδυασμού διαφορετικών τρόπων άσκησης στο πλαίσιο προγραμμάτων HIFT.

Η τρίτη μελέτη διερευνά τις επιδράσεις της χορήγησης συγκεκριμένων ωμέγα-3 και ωμέγα-6 πολυακόρεστων λιπαρών οξέων και αντιοξειδωτικών βιταμινών, σε συνδυασμό με λειτουργική προπόνηση άσκησης υψηλής έντασης στην δύναμη, τη μυϊκή αντοχή και την καρδιοαναπνευστική ικανότητα. Η μελέτη εξέτασε επίσης τις επιδράσεις αυτών των συμπληρωμάτων στη φλεγμονή που προκαλείται κατά την άσκηση αυτή σε υγιείς νεαρούς ενήλικες. Οι συμμετέχοντες χωρίστηκαν σε δύο ομάδες: την ομάδα ωμέγα (OG) που λάμβανε λιπαρά οξέα και αντιοξειδωτικές βιταμίνες και την ομάδα εικονικού φαρμάκου (PG) που λάμβανε

φυσικό ελαιόλαδο με γεύση εσπεριδοειδών. Και οι δύο ομάδες ακολούθησαν ένα πρωτόκολλο HIFT που αποτελούνταν από εννέα ασκήσεις, με την OG να λαμβάνει τα συμπληρώματα. Τα αποτελέσματα δείχνουν βελτιώσεις στη δύναμη του άνω μέρους του σώματος, την αντοχή και την καρδιοαναπνευστική ικανότητα, καθώς και μείωση του σωματικού λίπους και για τις δύο ομάδες. Ωστόσο, μόνο η ομάδα OG παρουσίασε αύξηση της μυϊκής μάζας σε σύγκριση με την ομάδα PG. Είναι σημαντικό ότι η παρέμβαση δεν επέφερε σημαντική αύξηση στους βιοχημικούς δείκτες φλεγμονής, όπως η C-αντιδρώσα πρωτεΐνη (CRP) που παρέμεινε σε χαμηλά επίπεδα (OG = $1,43 \pm 0,47 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ και PG = $1,31 \pm 0,5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$). Δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά στα επίπεδα CRP μεταξύ των δύο ομάδων ($p = 0,865$). Το ίδιο ισχύει και για την κρεατινική κινάση (CK), η οποία διατηρήθηκε στα επίπεδα OG = $209 \pm 33 \text{ U}\cdot\text{L}^{-1}$ και PG = $171 \pm 35 \text{ U}\cdot\text{L}^{-1}$ χωρίς στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους ($p = 0,444$). Αυτά τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η προπόνηση HIFT, ακόμη και σε υψηλή ένταση, είναι ασφαλής και δεν προκαλεί υπερβολική φλεγμονή ή μυϊκή βλάβη. Συνολικά, τα ευρήματα αυτών των τριών μελετών καταδεικνύουν την αποτελεσματικότητα του HIFT στη βελτίωση της σωματικής απόδοσης, της σύστασης του σώματος και της δύναμης χωρίς να προκαλεί φλεγμονή ή μυϊκή βλάβη. Η ενσωμάτωση ασκήσεων αντίστασης υψηλής φόρτισης και η προσθήκη ειδικών συμπληρωμάτων δεν οδηγούν σε δυσμενείς επιδράσεις στη φλεγμονή ή στη μυϊκή βλάβη. Αυτό υπογραμμίζει την ασφάλεια και τα οφέλη της HIFT ως μεθόδου προπόνησης υψηλής έντασης για νεαρούς ενήλικες, αναδεικνύοντας τις δυνατότητές του για τη βελτιστοποίηση των επιδόσεων και των αποτελεσμάτων υγείας. Περαιτέρω έρευνα στον τομέα αυτό μπορεί να παράσχει πρόσθετες γνώσεις σχετικά με τους μηχανισμούς που διέπουν τις θετικές επιδράσεις του HIFT και τις βέλτιστες στρατηγικές για την εφαρμογή του.

Λέξεις κλειδιά: Λειτουργική προπόνηση υψηλής έντασης, λιπαρά οξέα, ωμέγα 3, ωμέγα 6, αντιοξειδωτικές βιταμίνες, αντιφλεγμονώδη δράση, C-αντιδρώσα πρωτεΐνη, κρεατινική κινάση, δύναμη, μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου.

Abstract

This thesis provides in-depth analyses of three studies evaluating the impact of high-intensity functional training (HIFT) on several facets of physical performance and inflammation in young people. The first study examined the impact of HIFT on cardiorespiratory fitness, neuromuscular performance, inflammation, and muscle damage, with a focus on whether these improvements occur without causing excessive inflammation or muscle damage. The findings suggest that HIFT is an effective training method for improving both cardiorespiratory capacity and body composition, as well as enhancing neuromuscular performance, without inducing inflammation or muscle damage. This highlights the multidimensional nature of HIFT and its positive effects on both performance and health indicators.

This one study delved into the incorporation of high-load resistance exercises into HIFT, aiming to determine if this combination leads to further improvements in body composition and strength. By replacing one upper and one lower body exercise of a standard HIFT program with similar high-load exercises (80% of one repetition maximum), investigated the effects on muscle mass and strength. The results demonstrate that including high-load resistance exercises in HIFT significantly enhances cardiorespiratory fitness and body strength, providing valuable insights for optimizing training protocols to achieve optimal physical outcomes. This highlights the potential benefits of combining different exercise modalities within HIFT programs.

The third study explored the effects of specific omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids and antioxidant vitamins, in combination with functional high-intensity exercise training. The study examined the effects of these supplements on exercise-induced inflammation in healthy young adults. The participants were divided into two groups: the omega group (OG) receiving fatty acids and antioxidant vitamins, and the placebo group (PG) receiving natural olive oil with a citrus taste. Both groups followed a HIFT protocol consisting of nine exercises, with the OG receiving the supplementation. The results show improvements in upper body strength, endurance, and cardiorespiratory fitness, as well as a decrease in body fat for both groups. However, only the OG group exhibits an increase in muscle mass compared to the PG group. Importantly, the intervention did not lead to an important increase in biochemical markers of inflammation, such as C-reactive protein (CRP) which remained at low levels (OG = 1.43 ± 0.47 mg/L and PG = 1.31 ± 0.5 mg/L). No significant difference was observed in CRP levels between the two groups ($p = 0.865$). The same was true for CK,

which remained at moderate levels ($OG = 209 \pm 33 \text{ U-L}^{-1}$ και $PG = 171 \pm 35 \text{ U-L}^{-1}$, with no difference between groups ($p = 0.444$). These results indicate that HIFT training, even at high intensity, is safe and does not cause excessive inflammation or muscle damage.

Overall, the findings from these three studies demonstrate the effectiveness of HIFT in improving physical performance, body composition, and strength without causing inflammation or muscle damage. The incorporation of high-load resistance exercises and the addition of specific supplements do not lead to adverse effects on inflammation or muscle damage. This underscores the safety and benefits of HIFT as a high-intensity training method for young adults, highlighting its potential for optimizing performance and health outcomes. Further research in this field may provide additional insights into the mechanisms underlying the positive effects of HIFT and the optimal strategies for its implementation.

Keywords: High-intensity functional training, fatty acids, omega 3, omega 6, antioxidant vitamins, anti-inflammatory action, C-reactive protein (CRP), creatine kinase (CK), strength, maximum oxygen uptake ($VO_2 \text{ max}$).

Συντομογραφίες

ME	Μέγιστη Επανάληψη
ADA	Απαμινάση Αδενοσίνης
AerT	Εντάσεις στο Αερόβιο Κατώφλι
ALA	Α-Λιποϊκό Οξύ
AMRAP	As Many Reps As Possible
AT	Αναερόβιο Κατώφλι
CK	Κρεατινική Κινάση
CK-BB	Κρεατινική Κινάση (ισομορφή εγκεφάλου)
CK-MB	Κρεατινική Κινάση Δείκτης της Βλάβης Καρδιακού Μυ
CK-MM	Κρεατινική Κινάση (ισομορφή σκελετικού μυός)
CMJ	Άλμα με Αντίθετη Προπαρασκευαστική Κίνηση Ελεύθερων Χεριών
CO₂	Συνολικό Εμπνεόμενο Οξυγόνο
CRP	C-Αντιδρώσα Πρωτεΐνη
DHA	Δοκοσαεξανοϊκό Οξύ
DOMS	Καθυστερημένη Έναρξη Μυϊκού Πόνου
EPA	Εικοσιπεντανοϊκό Οξύ
HDL	Λιποπρωτεΐνη Υψηλής Πυκνότητας
HIFT	Λειτουργική Προπόνηση Υψηλής Έντασης
HIIT	Διαλειμματική Άσκηση Υψηλής Έντασης
HR	Καρδιακή Συχνότητα
HRavg	Μέση Καρδιακή Συχνότητα
HRmax (%)	Μέγιστη Καρδιακή Συχνότητα (Ποσοστό)
HRpeak (bpm)	Μέγιστη Καρδιακή Συχνότητα (παλμούς)
I	Ίνες Βραδείας Συστολής
IIa	Οξειδωγλυκολυτικές ίνες Ταχείας Συστολής
IIb	Γλυκολυτικές Ίνες Ταχείας Συστολής
IL-1	Ιντερλευκίνη -1
IL-6.	Ιντερλευκίνη-6

K+	Κάλιο
LA	Γαλακτικό Αίματος
LDH	Γαλακτική Αφυδρογονάση
LDL	Λιποπρωτεΐνη Χαμηλής Πυκνότητας
MEF	Απαραίτητη φυσική κατάσταση για στρατιωτικές αποστολές
MUFA	Μονοακόρεστα λιπαρά οξέα
Na+	Νάτριο
OG	Omega Group
PG	Placebo Group
pVO₂max	Δύναμη στην Μέγιστη Πρόσληψη Οξυγόνου
RC	Σημείο Αναπνευστικής Αντιστάθμισης
RE	Δρομική Οικονομία
SFA	Κορεσμένα λιπαρά οξέα
SJ	Άλμα από Ημικάθισμα
T90	Χρόνος Καρδιακή Συχνότητα Πάνω από το 90% της HRmax
tlim	χρόνος μέχρι την εξάντληση στην vVO ₂ max
TNF-α	Παράγοντας Νέκρωσης Όγκων-α
VE	Πνευμονικός Αερισμός
VE	Πνευμονικός Αερισμός
VO₂max	Μέγιστη Πρόσληψη Οξυγόνου
vVO₂max	Ταχύτητα στην Μέγιστη Πρόσληψη Οξυγόνου
AK	Αναπνευστικό Αναερόβιο Κατώφλι
AK	Αναπνευστικό Αναερόβιο Κατώφλι
ATP	Τριφωσφορική Αδενοσίνη
ATPάσης	Φωσφατάση της τριφωσφορικής Αδενοσίνης
ΔΜΣ	Δείκτης Μάζας Σώματος
ΜΥΟ	Μυοσφαιρίνη
vAT	Ταχύτητα στο Αναερόβιο Κατωφλιού
O₂	Οξυγόνο
O₂	Οξυγόνο



Κεφάλαιο 1
Εισαγωγή και Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας

UNIVERSITY of ILLICOSSIA

• Επίδραση της άσκησης στην υγεία και οι διαφορετικές μορφές άσκησης

Η σωματική αδράνεια ως παράγοντας κίνδυνου είναι υπεύθυνη σε μεγάλο βαθμό για καρδιαγγειακές παθήσεις και άλλες χρόνιες παθήσεις, όπως ο σακχαρώδης διαβήτης, η παχυσαρκία, η υπέρταση αλλά και προβλήματα στην ψυχολογική κατάσταση του ατόμου όπως το άγχος και η κατάθλιψη. Από την άλλη, η βελτίωση της φυσικής κατάστασης έχει άμεση συσχέτιση με την μειωμένη θνησιμότητα. Υπάρχει μια αντίστροφη σχέση όπου μειώνονται τα ποσοστά της θνησιμότητας, όταν η φυσική κατάσταση παρουσιάζει αύξηση. Η συμβολή της αυξημένης φυσικής κατάστασης επηρεάζει εξίσου σημαντικά την ποιότητα ζωής όπου παρουσιάζεται σημαντικά βελτιωμένη. Έρευνες σε άτομα που διάγουν καθιστική ζωή, αναφέρουν ότι μέτριες βελτιώσεις στη φυσική κατάσταση συσχετίζεται με μεγάλες βελτιώσεις στην κατάσταση της υγείας.

Οι ασκήσεις κατηγοριοποιούνται σε δυο τύπους και διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην υγεία. Στον πρώτο τύπο ορίζονται οι αερόβιας μορφής ασκήσεις οι οποίες αποτελούνται από τρέξιμο, ποδηλασία, κολύμβηση, περπάτημα κ.α., και επιδρούν ευεργετικά στο καρδιαγγειακό σύστημα, και στον δεύτερο τύπο ορίζονται οι ασκήσεις αντίστασης, που εμπεριέχουν το στοιχείο της ενδυνάμωσης, στοχεύοντας στην βελτίωση και την ανάπτυξη του μυοσκελετικού συστήματος. Μελέτες αναφέρουν πως αυτά τα είδη ασκήσεων έχουν αποδειχθεί ότι σχετίζονται με μειωμένο κίνδυνο του διαβήτη τύπου 2 και άλλων παθήσεων.

Μελέτες, επίσης, αναφέρονται στην αύξηση της αερόβιας άσκησης που επιδρά σημαντικά στο αναπνευστικό σύστημα, με αποτέλεσμα να υπάρχει μια αντιστροφή στις πιθανότητες επικινδυνότητας για εμφάνιση στεφανιαίας νόσου. Τονίζεται ότι η αερόβια άσκηση είναι υπεύθυνη για την πρόκληση μεγάλων μεταβολών στο καρδιαγγειακό και μεταβολικό σύστημα όπου ασκούμενα άτομα παρουσίασαν 20 καρδιακούς παλμούς λιγότερους σε σύγκριση με μη ασκούμενα άτομα στην κατάσταση ηρεμίας. Επιπλέον οφέλη της αερόβιας άσκησης είναι η συμβολή στην μείωση της συστολικής αρτηριακής πίεσης, χωρίς την μεταβολή της διαστολικής. Οι προσαρμογές της αερόβιας άσκησης δεν περιορίζονται μόνο στο καρδιοαναπνευστικό σύστημα, αλλά διευρύνονται και στην σύσταση του σώματος.

Έρευνες τονίζουν την ευεργετική επίδραση της αερόβιας άσκησης στο λιπιδαιμικό προφίλ(1), ενώ η υψηλή αερόβια ικανότητα έχει ως αποτέλεσμα οι μεταβολικές καύσεις κατά την άσκηση να πραγματοποιούνται εντονότερα και συμβάλλουν στη μείωση του λιπώδους ιστού(2). Έτσι η επίδραση της αερόβιας άσκησης στην απώλεια σωματικού βάρους προϋποθέτει καθημερινή δραστηριοποίηση με διάρκεια τουλάχιστον 60 λεπτών(3).

Η απήχηση της αερόβιας άσκησης συνδέεται θετικά με ένα ευρύ φάσμα της ανθρώπινης

υγείας. Ωστόσο σημαντική συμβολή στην ανθρώπινη υγεία, πέραν της αερόβιας άσκησης, παραμένουν κι οι ασκήσεις μυϊκής ενδυνάμωσης. Σε πολλές μελέτες αναφέρεται η προπόνηση δύναμης με αντιστάσεις, η οποία συντελεί στην βελτίωση της μυϊκής δύναμης, της μυϊκής αντοχής και της υπερτροφίας(4, 5), τα οποία έχουν άμεση και θετική σχέση με τους παράγοντες που αφορούν την υγεία και τις χρόνιες παθήσεις. Έχει εδραιωθεί η σημαντικότητα της προπόνησης με αντιστάσεις ως απαραίτητο συστατικό της φυσικής κατάστασης σε ενήλικες όλων των ηλικιών(6), ωστόσο ο συνδυασμός με την αερόβια άσκηση φαίνεται να προσφέρει ακόμα περισσότερα οφέλη στην φυσική κατάσταση και υγεία των ασκούμενων(7). Αξίζει να αναφερθεί πως οι ασκήσεις αντιστάσεων σε συνδυασμό με την αερόβια άσκηση συμβάλλουν στην διατήρηση του σωματικού βάρους, βελτιώνοντας την σχετική δύναμη η οποία συντελεί στην ανεξαρτησία στην κίνηση κι ως εκ τούτου προλαμβάνονται οι πτώσεις στους ηλικιωμένους(8, 9). Σε άτομα με προβλήματα καρδιάς ή αδυναμίας όπως κι οι ηλικιωμένοι και οι ασθενείς, υπάρχουν ιδιαίτερα θετικά αποτελέσματα στην ποιότητα ζωής όταν συμπεριλαμβάνονται οι προπονήσεις με αντιστάσεις του πάνω και κάτω μέρους του σώματος στο ημερήσιο πρόγραμμα τους.

Ενσωμάτωση πλήρους προγράμματος προπονήσεων με αντιστάσεις βελτιώνει σημαντικά την καρδιαγγειακή λειτουργία(10) με αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση των παραγόντων κινδύνου που σχετίζονται με την στεφανιαία νόσο(11, 12). Επίσης γίνεται αναφορά για πιθανή μείωση του καρκίνου του παχέος εντέρου(13), του σωματικού βάρους και η πρόληψη της οστεοπόρωσης(14), δημιουργεί δυναμική σταθερότητα και βοηθάει την λειτουργική ικανότητα και ψυχική υγεία του ανθρώπου(15).

Χαρακτηριστικά ενός προγράμματος άσκησης

• Διάρκεια της άσκησης

Η ένταση, η συχνότητα και το είδος, ως μεταβλητές της άσκησης, επιφέρουν προσαρμογές στην φυσική κατάσταση με θετικά οφέλη στην υγεία, ωστόσο η διάρκεια της άσκησης παραμένει αμφιλεγόμενη. Σε μελέτη που διεξήγαγε το Αμερικανικό Κολέγιο Αθλητιατρικής (ACSM) συστήνεται τουλάχιστον 30 λεπτά άσκησης μέτριας έντασης τις περισσότερες ημέρες της εβδομάδας για την βελτίωση της υγείας(16). Την ίδια δοσολογία άσκησης προτείνει και η υγειονομική υπηρεσία των Ηνωμένων Πολιτειών(17). Οι περισσότερες οργανώσεις υγείας συμφωνούν ότι το 150-200 λεπτά εβδομαδιαίως, σωματικής δραστηριότητας μειώνουν τον κίνδυνο εμφάνισης όλων των αιτιών που σχετίζονται με την θνησιμότητα λόγω καρδιαγγειακών παθήσεων(18).

Για τη διατήρηση του σωματικού βάρους συστήνονται 60 λεπτά άσκησης τις περισσότερες ημέρες της εβδομάδας(19). Ωστόσο σε μελέτη που σύγκρινε τα δυο χρονικά διαστήματα 30 έναντι 60 λεπτών άσκησης επί 12 εβδομάδες, δεν παρουσιάστηκε καμία σημαντική διαφορά μεταξύ τους,(20). Οι αμφιλεγόμενες συστάσεις έχουν οδηγήσει σε έρευνα όπου παρουσιάζεται εάν περισσότερη σωματική δραστηριότητα από την προτεινόμενη θα αποφέρει πρόσθετα οφέλη(21).

• Ένταση της άσκησης

Η προπόνηση με αντιστάσεις προκαλεί θετικές προσαρμογές στο μυϊκό σύστημα(22). Η μεταβολή του φορτίου και ο ορισμός της έντασης της προπόνησης βασίζονται στην μια μέγιστη επανάληψη (1ΜΕ). Η αύξηση του φορτίου ή ο καθορισμός των επαναλήψεων με συγκεκριμένο φορτίο υπολογίζονται βάση της 1ΜΕ.

Σε μελέτη με απροπόνητα άτομα η αύξηση της δύναμης επιτυγχάνεται με επιβάρυνσης 49%-60% της ΜΕ τα οποία θεωρούνται σχετικά χαμηλά(23). Η ένταση της άσκησης συνδέεται άμεσα με την αύξηση της μυϊκής υπερτροφίας, η οποία ουσιαστικά αποτελείται από ένα φάσμα συνδυασμών έντασης και όγκου(24). Σε άλλη μελέτη με μέτρια προπονημένους, συνιστάται επιβάρυνση 60%-70% της 1 ΜΕ για την πρόκληση προσαρμογών(23). Έτσι σε προπόνηση με αντιστάσεις σε ένταση μεγαλύτερης του 70% 1ΜΕ φαίνεται να αυξάνεται η δύναμη και η μυϊκή υπερτροφία(25). Ωστόσο, σε μια διαφορετική έρευνα με συμμετέχοντες που είχαν λιγότερη εμπειρία, η ένταση του φορτίου αυξήθηκε σε τουλάχιστον 80% της 1ΜΕ προκειμένου να προαχθεί περισσότερη προσαρμογή(26). Τέλος, συνιστάται τα ποσοστά της 1ΜΕ να κυμαίνονται μεταξύ 80% και 100% του 1ΜΕ για άτομα με προχωρημένη εμπειρία για τη μεγιστοποίηση της δύναμης(27).

• Συχνότητα της άσκησης

Η πρόοδος της φυσικής κατάστασης έχει άμεσα συσχετιστεί με την συχνότητα των προπονητικών μονάδων, η οποία αφορά τον αριθμό των προπονητικών μονάδων που εκτελούνται σε μια δεδομένη περίοδο και γενικά εκφράζονται σε εβδομαδιαία βάση(28). Είναι σημαντικό να υπάρχει μια ισορροπία μεταξύ της συχνότητας, του όγκου και της έντασης της άσκησης για να αποφευχθεί τυχόν υπερπροπόνηση και κόπωση(29). Για αγύμναστους χωρίς προηγούμενη εμπειρία στις ασκήσεις αντιστάσεων, η συχνότητα προπόνησης 2-3 φορές την εβδομάδα έχει θετικά αποτελέσματα στην ανάπτυξη της υπερτροφίας(30). Ενώ για τους ήδη

ασκούμενους(31) και προχωρημένους η συχνότητα που επιφέρει ανάπτυξη είναι 4-6 προπονητικές μονάδες ανά εβδομάδα(25).

Προπόνηση αντοχής

• Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου

Ως μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (VO_2max) ορίζεται ο μέγιστος όγκος οξυγόνου που μπορεί να καταναλώσει το σώμα ανά λεπτό, και είναι ο κύριος δείκτης καρδιοαναπνευστικής ικανότητας και αερόβιας αντοχής. Έχει ταυτιστεί με τον καθορισμό της έντασης της αερόβιας άσκησης, καθώς όσο αυξάνεται η ένταση τόσο αυξάνεται και η κατανάλωση οξυγόνου. Η βελτίωση της VO_2max προκαλείται μέσω της αύξησης της πυκνότητας των τριχοειδών, του μεγέθους των μιτοχονδρίων και του όγκου παλμού.

Το επίπεδο VO_2max πέραν από τους εξωγενείς παράγοντες(32) επηρεάζεται και από την γενετικούς παράγοντες, αφού η κληρονομικότητα μπορεί να αντιπροσωπεύει έως και το 25-50% της διακύμανσης που παρατηρείται μεταξύ των ατόμων. Αν και στη βιβλιογραφία είναι παραδεκτό ότι η καρδιακή παροχή είναι ο κύριος παράγοντας που περιορίζει τη πρόσληψη οξυγόνου πέρα ενός ορίου για κάθε άνθρωπο(33), άλλες μελέτες τονίζουν την έλλειψη ε-παρκών οξειδωτικών ενζύμων στα μιτοχόνδρια του κυττάρου.

Οι μέγιστες τιμές του VO_2max διαφέρουν στους αθλητές ανάλογα από τις απαιτήσεις της φυσικής δραστηριότητας-αθλήματος, όπου παρουσιάζονται διαφορετικές μέγιστες τιμές. Οι υψηλότερες τιμές σε άνδρες και γυναίκες που έχουν ποτέ καταγραφεί είναι στο άθλημα του σκι αντοχής με 94 ml/kg/min και 77 ml/kg/min αντίστοιχα(34).

Μελέτες αναφέρονται στη βελτίωση του VO_2max στα ανενεργά άτομα, όπου με προπόνηση σε ένταση 75% της αερόβιας ισχύος για 30 λεπτά, 3 φορές την εβδομάδα για 6 μήνες φαίνεται να αυξάνει τη VO_2max κατά μέσο όρο 15-20%(35). Ωστόσο η βελτίωση δεν παρουσιάζεται το ίδιο για όλους, και μεταξύ μια ομάδας ανθρώπων υπάρχουν άτομα που δεν επηρεάζονται εξίσου θετικά από το ίδιο πρωτόκολλο άσκησης που ακολουθούν. Επίσης, η μεγιστοποίηση των τιμών της VO_2max επιτυγχάνεται θεωρητικά εντός μιας περιόδου 8 έως 18 μηνών(32).

• Αναερόβιο ή Γαλακτικό Κατώφλι

Το γαλακτικό κατώφλι αναφέρεται στο σημείο έντασης της άσκησης όπου αρχίζει να συσσωρεύεται γαλακτικό οξύ στο αίμα. Συμβαίνει όταν η παραγωγή γαλακτικού οξέος υπερβαίνει την απομάκρυνσή του από τον οργανισμό.

Ο οργανισμός μπορεί να παράγει ενέργεια κατά τη διάρκεια αερόβιας δραστηριότητας χαμηλής έντασης μέσω της αερόβιας αναπνοής, η οποία προκαλεί την παραγωγή μικρής ποσότητας γαλακτικού οξέος. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια άσκησης υψηλότερης έντασης, ενεργοποιείται η αναερόβια γλυκολυτική οδός, με αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγής γαλακτικού οξέος, καθώς η αναερόβια παρέχει ATP πολύ πιο γρήγορα. Οι εντάσεις που προκαλούν μεταβολές στις τιμές του γαλακτικού οξέος (LA), δεν αντανakλούν απαραίτητα την υποξία των ιστών, αλλά πιθανώς μια ανισορροπία μεταξύ της παραγωγής πυροσταφυλικού οξέος και της οξειδωσης, έτσι οι ασκήσεις που πραγματοποιούνται μέσα σε αυτό το εύρος χαρακτηρίζονται ως εντάσεις στο αναερόβιο κατώφλι (AT). Η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (VO_2max) το AT και η οικονομία της άσκησης, η οποία αναφέρεται ως δρομική οικονομία (RE), είναι παράμετροι αξιολόγησης της αερόβιας ικανότητας που χρησιμοποιούνται στην προπονητική πρακτική(36). Ο συνδυασμός της VO_2max και του αναερόβιου κατωφλιού επηρεάζουν την απόδοση στα αθλήματα αντοχής μεσαίας και μεγάλης διάρκειας.

Μελέτες αναφέρονται σε μυϊκές προσαρμογές στο AT όπου προκαλούνται προσαρμογές στην αύξηση της πυκνότητας των τριχοειδών, του μεγέθους των μιτοχονδρίων, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται ο όγκος παλμού της καρδιάς. Επιπλέον αξίζει να σημειωθεί, πως σε διαφορετικές μελέτες αναφέρονται σε μείωση της καρδιακής συχνότητας σε ηρεμία και σε υπομέγιστες εντάσεις, όπου οι επιπλέον προσαρμογές που προκαλούνται στο AT και παρουσιάζονται σε 3-6 εβδομάδες(37)

Έτσι οι πιο πάνω προσαρμογές δημιουργούν αυξημένη ανταλλαγή θρεπτικών ουσιών και οξυγόνου στο μυϊκό ιστό, με αποτέλεσμα το AT γυμνασμένων ατόμων να είναι κατά 30% τουλάχιστον, σε σχέση με τους αγύμναστους(38). Απροπόνητα άτομα με χαμηλότερες τιμές VO_2max δύναται να παρουσιάζουν μεγαλύτερη αύξηση σε σχέση με προπονημένα άτομα, ενώ τα αποτελέσματα της βελτίωσης εμφανίζονται εντός 2-3 μηνών, ειδικότερα όταν αρχική VO_2max είναι $50-60 \text{ ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$.

Σε μετα-ανάλυση 34 μελετών ο Londeree (1997) εξέτασε την αποτελεσματικότητα της προπόνησης με ένταση στο γαλακτικό ή αναπνευστικό αναερόβιο κατώφλι, παρουσιάζοντας αποτελέσματα που κατέδειξαν ότι τα απροπόνητα άτομα παρουσίασαν σημαντική βελτίωση

σε σχέση με τα μη ασκούμενα άτομα, ωστόσο όχι και με τα προπονημένα άτομα. Συμπέρανε πως προπόνηση με ένταση κοντά στο γαλακτικό ή αναπνευστικό ΑΤ αποτελεί επαρκές ερέθισμα για την βελτίωση του ΑΤ σε απροπόνητα άτομα. Για προπονημένα άτομα διαπίστωσε πως απαιτείται υψηλότερη ένταση. Ακόμα, η αποχή από τις προπονήσεις οδηγεί σε πτώση του γαλακτικού και αναπνευστικού ΑΤ.

Την ερμηνεία της μειωμένης απόδοσης στην αναερόβια φάση μελέτησαν οι Finke, E., et al (1996) όπου συμπέρανε πως η μείωση της ποσότητας οξυγόνου (O_2) στα μιτοχόνδρια, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση και την παραγωγή της τροφωσφορικής αδενοσίνης (ΑΤΡ). Έτσι προκαλείται η έντονη ενεργοποίηση του αναερόβιου μηχανισμού παραγωγής ενέργειας, αλλά και η σταδιακή μείωση της απόδοσης. Αργότερα σε άλλη μελέτη για την βελτίωση της αναερόβιας ικανότητας, οι Sugawara, J., et al. (2001) αναφέρουν πως προπόνηση έντασης στο 70% της VO_{2max} για 60 min την ημέρα από 3-4 φορές την εβδομάδα ήταν αρκετό για να επιφέρει βελτίωση στο ΑΤ. Για την επίτευξη βελτίωσης του αναερόβιου κατώφλιού ο Kintermann et al. (1978) αναφέρει πως οι τιμές διαφέρουν μεταξύ των αθλητών, όπου οι καλοί αθλητές αερόβιων αθλημάτων υψηλού επιπέδου, έχουν αναερόβιο κατώφλι που φτάνει και το 85%-95% της VO_{2max} , ενώ μέτρια προπονημένοι εμφανίζουν τιμές ίσες με 70%-80% της VO_{2max} , τη στιγμή που σε απροπόνητους το αναερόβιο κατώφλι κυμαίνεται από 50%-70% της VO_{2max} . Επίσης οι Acavedo et al. (1989) έχουν διενεργήσει αρκετές μελέτες όπου ενσωμάτωσαν στην προπόνηση τη μέθοδο Fartlek τρεις φορές την εβδομάδα, σε εντάσεις κοντά στη ταχύτητα του αναερόβιου κατώφλιού (vAT) παρουσιάζοντας σημαντική βελτίωση στο ΑΤ. Με αυτά τα αποτελέσματα συμφωνούν και άλλοι ερευνητές όπου πρόσθεσαν στο εβδομαδιαίο πρόγραμμα, μια προπονητική μονάδα 20 λεπτών συνεχόμενου τρεξίματος με ταχύτητα που αντιστοιχεί στο ΑΚ, ωστόσο απουσίαζε η βελτίωση στο VO_{2max} .

Τέλος και ο Belcamino, (1994) μελετώντας δυο τύπους διαλειμματικής προπόνησης (σε δυο ομάδες), όπου η πρώτη περιλάμβανε ερεθίσματα 30 δευτερολέπτων και η δεύτερη ερεθίσματα 2 λεπτών, η αναλογία διατηρήθηκε με επιβάρυνση: διάλειμμα 1:1. Διαπίστωσαν πως το αναπνευστικό αναερόβιο κατώφλι των ατόμων της πρώτης ομάδας βελτιώθηκε κατά 19.5%, της δεύτερης ομάδας κατά 18.5% ενώ το γαλακτικό αναερόβιο κατώφλι βελτιώθηκε 19.5% και 22.4% αντίστοιχα στη πρώτη και δεύτερη ομάδα. Έτσι φαίνεται πως η διαλειμματική προπόνηση μεσαίου όσο και μικρού χρόνου με ταχύτητες πάνω από το ΑΤ επιδρούν θετικά και αυξάνουν θετικά το αναερόβιο κατώφλι. Έτσι φαίνεται πως και οι δυο μέθοδοι προπόνησης μεσαίου και μικρού χρόνου, όταν εκτελούνται σε εντάσεις πάνω από την ταχύτητα του ΑΚ αυξάνουν σημαντικά την vAT

Προπόνηση δύναμης

• Μέγιστη δύναμη

Ως μέγιστη μυϊκή δύναμη εκφράζεται η μεγαλύτερη δύναμη που δύναται να παράγει μια ομάδα μυών ή ένας μυς κατά την εκούσια μέγιστη συστολή, η οποία μπορεί να αυξηθεί σημαντικά τις πρώτες εβδομάδες προπόνησης με αντιστάσεις. Διαχρονικά υπήρξαν διαφορετικές ερμηνείες της μέγιστης δύναμης, όπου έρευνες αναφέρουν πως αποτελεί λειτουργικό συστατικό του νευρομυϊκού συστήματος, όπως η ταχυδύναμη και η τοπική μυϊκή αντοχή(39). Σε μια άλλη μελέτη η μέγιστη δύναμη ορίζεται ως ικανότητα του νευρομυϊκού συστήματος να παράγει υψηλή δύναμη κατά τη διάρκεια αργής έκκεντρης, σύγκεντρης ισομετρικής συστολής(40). Η εκτίμηση της μέγιστης δύναμης μπορεί να εκτιμηθεί με τη μια μέγιστη επανάληψη (1RM), δηλαδή τη μεγαλύτερη σύγκεντρη μυϊκή συστολή για την υπερνίκηση της μεγαλύτερης αντίστασης. Εναλλακτικά άλλοι ερευνητές αναφέρουν πως η μέγιστη δύναμη εκφράζεται ως η ποσότητα δύναμης που παράγεται από μια μυϊκή ομάδα σε μια συγκεκριμένη κίνηση και ταχύτητα(41). Στον καθορισμό της μυϊκής δύναμης κυρίαρχο ρόλο διαδραματίζει η συστατικότητα των μυϊκών ινών και η ποικιλομορφία έκφρασης, που σχετίζεται με τις μορφολογικές φυσιολογικές και βιοχημικές ιδιότητες της.

Κατά την παραγωγή της μέγιστης δύναμης στην σύγκεντρη φάση σύσπασης, ο μυς παράγει 5% έως 15% μικρότερη δύναμη από αυτή που μπορεί να παραχθεί στην μέγιστη ισομετρική σύσπαση. Ωστόσο, το αντίθετο συμβαίνει στην έκκεντρη φάση σύσπασης όπου ο μυς παράγει τη μεγαλύτερη ποσότητα δύναμης από τα άλλα δύο είδη (ισομετρική και σύγκεντρη) μυϊκής σύσπασης, και 30% έως 40% μεγαλύτερη από αυτή της σύγκεντρης σύσπασης(42). Επίσης οι Paschalis et al., (2005) αναφέρουν πως παρουσιάζεται πιο έντονα καθυστερημένος μυϊκός πόνος και μεγαλύτερη μυϊκή βλάβη όταν συγκρίνονται η έκκεντρη με την σύγκεντρη σύσπαση.

• Μυϊκή ισχύς

Μυϊκή ισχύς είναι το έργο που παράγεται από ένα μυ ή μια ομάδα μυών στη μονάδα του χρόνου ή αλλιώς το γινόμενο της μυϊκής δύναμης και της ταχύτητα της κίνησης. Η σχέση που συνδέει τη μυϊκή δύναμη και την ταχύτητα της κίνησης, είναι η ταχυτητοδυναμική σχέση και η σχέση δύναμης ή ταχύτητας και ισχύος. Περίοπτη θέση στον αθλητισμό καταλαμβάνει η μυϊκή ισχύς, αφού αποτελεί την βασική παράμετρο στην απόδοση σε αθλήματα γρήγορης εναλλαγής κατεύθυνσης που περιλαμβάνουν μέγιστες ταχύτητες και άλματα.

Μελέτες έχουν δείξει την θετική επίδραση της προπόνησης με αντιστάσεις στην μυϊκή ισχύ, και την εξάρτηση της παραγομένης μυϊκής ισχύος από την αύξηση της μυϊκής δύναμης(43). Η προτεινομένη αντίσταση – φορτίο της προπονητικής μονάδας τείνει να είναι χαμηλή για την επίτευξη υψηλής ισχύος. Αυτό αναφέρεται σε έρευνα των Wilson, et. al, (1993) όπου άλματα από βαθύ κάθισμα με φορτίο που χρησιμοποιήθηκε μόλις στο 30% της μιας μέγιστης επανάληψης (1ΜΕ), έχει δείξει ότι επιτυγχάνεται αύξηση στο κατακόρυφο άλμα περισσότερο από απλά καθίσματα και από τις πλειομετρικές ασκήσεις(44). Ωστόσο σε άλλη έρευνα γίνεται αναφορά για την μείωση της παραγομένης ισχύος στην προπόνηση αντιστάσεων με μεγάλα φορτία, εκτός και αν συνοδεύονται από εκρηκτικές κινήσεις. Έτσι οι Hakkinen et. al., (1985) έχουν συμπεράνει πως για την επίτευξη υψηλής ισχύος σε προγράμματα προπόνησης, προτιμότερο είναι η χρήση ελαφριών βαρών τα οποία είναι και πιο αποτελεσματικά στην βελτίωση του κατακόρυφου άλματος από την προπόνηση δύναμης. Τέλος, πέραν από το ποσοστό της επιβάρυνσης στην προπόνηση ισχύος, σε έρευνα ο Kawamori & Haff, (2004) προτείνει τις πολυαρθρικές ασκήσεις (, ως αποτελεσματικότερες, οι οποίες καλύπτουν το σύνολο του σώματος και είναι προτιμότερες για την παραγωγή εκρηκτικής δύναμης(45) και ισχύος(46).

• Μυϊκή αντοχή

Στην αξιολόγηση της φυσικής κατάστασης, σημαντική παράμετρος αποτελεί η μυϊκή αντοχή, η οποία είναι η ικανότητα παραγωγής και διατήρησης παραγομένης δύναμης σε συγκεκριμένο αριθμό επαναλήψεων. Εκφράζεται ως η μέγιστη ποσότητα επαναλήψεων που μπορεί να εκτελέσει ο ασκούμενος μέχρι την εξάντληση, δηλαδή ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων εντός χρονικής περιόδου, με ένταση, σχετικά με το ποσοστό της 1ΜΕ(47). Πολυαρθρικές ασκήσεις όπως οι κάμψεις στο έδαφος, οι έλξεις στο μονόζυγο και τα καθίσματα, πέραν το ότι είναι από τις ευρέως χρησιμοποιούμενες ασκήσεις, αποτελούν και πολύ καλά διαγνωστικά τεστ της μυϊκής αντοχής.

Έχουν διενεργηθεί προσπάθειες απλοποίησης της αξιολόγησης των παραμέτρων της φυσικής κατάστασης μέσω των χαρακτηριστικών του σώματος. Τα ευρήματα της έρευνας αναφέρονται σε θετική συσχέτιση του σωματικού βάρους και συγκεκριμένα η άλιπη σωματική μάζα με την δύναμη, ενώ σε αντίθεση με την μυϊκή αντοχή όπου παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με το σωματικό λίπος. Μια από τις πρώτες μελέτες πραγματοποιήθηκαν το 1969, βρέθηκε θετική σχέση μεταξύ της μέγιστης δύναμης και της μυϊκής αντοχής, κι ως εκ τούτου από την έρευνα συμπεράθηκε πως ένα ισχυρό άτομο έχει μεγαλύτερη ικανότητα να εκτελεί

φυσικό έργο για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα(48). Έτσι η προπόνηση με αντιστάσεις έχει αποδειχθεί πως βελτιώνει την μυϊκή αντοχή πέραν των υπολοίπων προσαρμογών που επιφέρει στην μυϊκή δομή και μυϊκή δύναμη(49). Οι επιπλέον προσαρμογές της προπόνησης αντιστάσεων είναι η πρόκληση αύξησης της τοπικής μυϊκής αντοχής και τον μέγιστο αριθμό επαναλήψεων που εκτελούνται με ένα συγκεκριμένο φορτίο.

Άλλες έρευνές αναφέρονται στην αποτελεσματική δράση των προπονήσεων με χαμηλή αντίσταση και πολλές επαναλήψεις, ως κατάλληλες για την βελτίωση της τοπικής μυϊκής αντοχής(50, 51). Ωστόσο για υψηλού επιπέδου αθλητές αντοχής έρευνα παρουσιάζει ότι υψηλή ένταση και λίγες επαναλήψεις στην προπόνηση είναι πιο αποτελεσματικές.

Διαλειμματική προπόνηση υψηλής έντασης

• Ορισμός

Η διαλειμματική προπόνηση εκφράζεται ως η συνεχής εναλλαγή άσκησης/αποκατάστασης (παθητική ή ενεργητική) με διαφορές παραλλαγές εντάσεων οι οποίες διαφοροποιούν την συνολική επιβάρυνση.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται ως μακρόχρονη προπονητική παρέμβαση για να επιτευχθούν προσαρμογές στο αερόβιο σύστημα, είτε για σύγκριση με άλλες μεθόδους προπόνησης, έτσι ώστε να διαπιστωθεί η επίδραση της στην οξεία απόκριση διάφορων φυσιολογικών παραμέτρων κατά τη διάρκεια της άσκησης(52). Σε έρευνες παρουσιάζεται ως μια από τις αποτελεσματικότερες μεθόδους βελτίωσης της αερόβιας ικανότητας σε σύγκριση με την συνεχή προπόνηση σε αθλητές (π.χ. δρομείς) όλων των επίπεδων. Τα πλεονεκτήματα της διαλειμματικής άσκησης χαρακτηρίζονται τόσο από μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα, όπου οι θετικές προσαρμογές και βελτιώσεις στη φυσική κατάσταση εμφανίζονται σε μικρότερη χρονική διάρκεια σε σύγκριση με τη συνεχόμενη προπόνηση. Λόγω της υψηλής έντασης και των διαστημάτων ανάπαυσης, επιτυγχάνονται παρόμοια ή και καλύτερα αποτελέσματα σε παραμέτρους όπως καρδιαγγειακή λειτουργία, την αυξημένη καύση θερμίδων, μεταβολικά οφέλη, διατήρηση μυϊκής μάζας, και οι συμμετέχοντες δηλώνουν ότι απολαμβάνουν αυτή τη μορφή άσκησης, καθιστώντας την μια ευέλικτη και συναρπαστική μέθοδο προπόνησης. Η υψηλή ένταση είναι το κύριο στοιχείο της επιβάρυνσης και το βασικό συστατικό των διαλειμματικών πρωτοκόλλων(53). Με βάση την ένταση και την διάρκεια της επιβάρυνσης σε αναλογία της περιόδου αποκατάστασης, υπάρχει η δυνατότητα να τροποποιηθεί η διαλειμματική μέθοδος και να εφαρμοστεί σε μεγάλη ποικιλία συνδυασμών αυξάνοντας την

πρακτικότητα της. Η διαλειμματική άσκηση υψηλής έντασης τα τελευταία χρόνια έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να επιφέρει θετικές βελτιώσεις της αναπνευστικής και καρδιαγγειακής λειτουργίας τόσο σε υγιείς αλλά και σε και κλινικούς πληθυσμούς.

• Είδη διαλειμματικής άσκησης υψηλής έντασης

Με βάση το χρόνο που διαρκούν τα διαστήματα της άσκησης η διαλειμματική μέθοδος διακρίνεται: Σε (i) διαλειμματική μικρής διάρκειας (15 s - 1 min) και έντασης 100-140% $\dot{V}O_{2max}$, για παράδειγμα: 15 επαναλήψεις των 30 s. με διάλειμμα 30 s. και ένταση στο 110% της $\dot{V}O_{2max}$ και αποκατάσταση στο 60% (15x30:30s με 110%:60%). (ii) Σε διαλειμματική μεσαίας διάρκειας (2 - 4 min) και έντασης 90-95% $\dot{V}O_{2max}$, για παράδειγμα: 5 επαναλήψεις των 3 λεπτών με ενδιάμεσο διάλειμμα 3 λεπτά. Η ένταση της άσκησης στο 90% της $\dot{V}O_{2max}$ και του διαλείμματος στο 45% της $\dot{V}O_{2max}$ (5 x 3:3 λεπτά με 90% : 45%)(54-56). (iii) Σε διαλειμματική μεγάλης διάρκειας, διάρκειας (5-8 min) και έντασης 85-90% $\dot{V}O_{2max}$, για παράδειγμα 4 επαναλήψεις των 6 λεπτών με ενδιάμεσο διάλειμμα 4 λεπτά. Η άσκηση στο 90% της $\dot{V}O_{2max}$ και το διάλειμμα στο 35% της $\dot{V}O_{2max}$ ή 4x6:4 λεπτά (90% :35%)(57, 58).

Σε μελέτη των Christensen et al. (1960), αναφέρονται σε μεταβολικές προσαρμογές κατά την διάρκεια διαλειμματικής άσκησης μικρής διάρκειας 5 s. έως 30 s., όπου οι δρομείς εκτελούν άσκηση διάρκειας 15 s με 15 s. ανάπαυλα, με ένταση στο 100% $\dot{V}O_{2max}$, φτάνοντας στο 100% της $\dot{V}O_{2max}$ με συνολική διάρκεια τα 30 λεπτά. Οι ίδιοι δρομείς εκτέλεσαν ένα δεύτερο πρόγραμμα με ένταση 95% της $\dot{V}O_{2max}$, όπου ο χρόνος εκτέλεσης παρέμεινε στα 15 s. και μειώθηκε η διάρκεια του διαλείμματος στα 10 s. το πρόγραμμα διατηρήθηκε για 18 λεπτά. Αργότερα σε άλλη μελέτη οι Edwards et al., (1973) παρατήρησαν ότι διαστήματα επιβάρυνσης 30 s. σε διάδρομο με ένταση στο 100% της $\dot{V}O_{2max}$ και ενεργητικό διάλειμμα διάρκειας 60 s. προκάλεσαν την παραμονή της $\dot{V}O_2$ σε υψηλό επίπεδο στα πρώτα 20 s. του διαλλείματος. Σημαντική μείωση παρουσίασε μόνο μετά από 30 s. από το τέλος της περιόδου άσκησης. Ωστόσο σε άλλη μελέτη, επιβαρύνσεις 30 s. στο 120% της $\dot{V}O_{2max}$, με παθητικό διάλειμμα ίσης διάρκειας, οι συμμετέχοντες κατά την διάρκεια της άσκησης έφτασαν μόνο στο 70% της ατομικής του $\dot{V}O_{2max}$ (59). Η διαλειμματική μικρού χρόνου έχει αποδειχθεί αποτελεσματικότερη στη χρήση λιπιδίων, λόγω των μικρών διαλειμμάτων που διέπονται το οποίο επιτρέπει ένα μέρος την διατήρηση μέρος του γλυκογόνου σε σχέση με την υψηλή συνεχή συνεχομένη. Αυτή η διαφορά μεταξύ των δυο μορφών άσκησης αποτρέπει την μείωση γλυκογόνου έναντι της συνεχομένης άσκησης. Αυτό συμπέραινε σε ερευνά

του ο Eseen το (1978) όπου μεταξύ συνεχόμενης άσκησης υψηλής έντασης (100-102% $\dot{V}O_2\max$) μέχρι την εξάντληση και διαλειμματική μικρού χρόνου και συνολικής διάρκειας 60 λεπτά, με επιβάρυνση 15 s. στο 112% με ισόχρονο παθητικό διάλειμμα, δεν παρουσίασαν τον ίδιο τρόπο μείωσης του γλυκογόνου. Σε νεότερες έρευνες γίνονται αναφορές για τις επιδράσεις της διαλειμματικής μικρού χρόνου στην αερόβια ικανότητα. Επιβαρύνσεις διάρκειας από 15 έως 30 s. με ένταση μεγαλύτερη της $v\dot{V}O_2\max$ και ενεργητικά διαλείμματα αντίστοιχης διάρκειας, είναι η πλέον αποτελεσματική μέθοδος που αποβλέπει στη βελτίωση. Ο Tardieu-Berger, et. al. 2004 στην έρευνα τους προτείνουν την διαλειμματική 30:30 s. ως αναλογία που χρησιμοποιείται συχνότερα στα αθλήματα αντοχής για τη βελτίωση της απόδοσης(60). Με το πιο πάνω ισχυρισμό συμφωνούν και οι Midgley και McNaughton, (2006) όπου διαπίστωσαν πως εντάσεις από 90% έως 105% της $v\dot{V}O_2\max$ σε διαλειμματική άσκηση μικρού χρόνου πρέπει να διαρκούν από 15 έως 30 s. για την διατήρηση της $\dot{V}O_2\max$ σε υψηλά ποσοστά. Σε παρόμοια ευρήματα αναφέρονται οι Demarie et. al. (2000) όπου είχε παρουσιαστεί η αποτελεσματικότητα του πρωτοκόλλου 30:30 στη διατήρηση υψηλών ποσοστών της $\dot{V}O_2$ κατά την διάρκεια της άσκησης, και αργότερα σε μακροχρόνια εφαρμογή προγραμμάτων(61).

Η διαλειμματική μεσαίου και μακρού χρόνου μελετήθηκε και αναπτύχθηκε από τον Per Olof Astrand (1960) (107) όπου χρησιμοποίησε ένταση 90-95% της $v\dot{V}O_2\max$ σε ενήλικους αθλητές ακολουθώντας πρωτόκολλα διαλειμματικής άσκησης διάρκειας 3 λεπτών στο 90-92% της $v\dot{V}O_2\max$ και ισόχρονο διάλειμμα όπου πέτυχαν το $\dot{V}O_2\max$ στις τελευταίες επαναλήψεις. Τα αποτελέσματα θεωρήθηκαν ενθαρρυντικά και θεωρήθηκε μια από τις κατάλληλες μορφές βελτίωσης της $\dot{V}O_2\max$, αφού παράλληλά ενεργοποιήθηκαν μέγιστα οι καρδιοαναπνευστικές παράμετροι. Επίσης στην ίδια έρευνα έγινε αναφορά για επίτευξη μόνο του 65% της $\dot{V}O_2\max$, σε διαλειμματική άσκηση στην $v\dot{V}O_2\max$ με σύντομα διαστήματα άσκησης (15 s) και ενδιάμεσα παθητικά διαλείμματα(62). Σε μια άλλη έρευνα ο Daniels και ο Scardina (1984) (97) συμφωνούν ότι το διάστημα 3-5 λεπτών επιφέρει την πλέον κατάλληλη βελτίωση των αερόβιων παραμέτρων. Νωρίτερα οι Fox et. al. (1975) (112) αναφέρθηκαν στην αποτελεσματικότερη βελτίωση της προπόνησης δρομέων μεσαίων αποστάσεων, όπου υποστήριξαν την διαλειμματική προπόνηση με επαναλαμβανόμενες επιβάρυνσης διάρκειας 1-8 λεπτών στο 90-100% της $v\dot{V}O_2\max$ (63).

Αρκετοί ερευνητές αξιολογούν την διάρκεια της διαλειμματικής μεσαίου χρόνου με βάση την διάρκεια τρεξίματος στην μέγιστη ένταση (100%) της $v\dot{V}O_2\max$ μέχρι την πλήρη εξάντληση (tlim). Σε έρευνα τους σε δρομείς υψηλού επιπέδου οι Billat et. al. (1994) (115)

σύγκριναν τις φυσιολογικές αποκρίσεις στην άσκηση μέχρι την τελική εξάντληση σε δυο διαφορετικά πρωτόκολλα διαλειμματικής άσκησης μεσαίου χρόνου με ένταση 100% της vVO_{2max} και ενδιάμεσα διαλείμματα 60% της vVO_{2max} . Το πρώτο πρωτόκολλο περιλάμβανε ερεθίσμα διάρκειας 2 λεπτών με ισόχρονα διαλείμματα, ενώ στο δεύτερο πρωτόκολλο η επιβάρυνση προσδιορίστηκε με βάση το $tlim$, και η διάρκεια διαλείμματος καθορίστηκε στο 50% του $tlim$. Τα αποτελέσματα έδειξαν αυξημένο συνολικό χρόνο της άσκησης κατά 2,5 φορές σε σύγκριση με το πρώτο πρωτόκολλο, παρουσιάζοντας πως στο δεύτερο πρωτόκολλο όλοι οι δρομείς ήταν σε θέση να τρέξουν 5 φορές με διάρκεια 50% του $tlim$ (64). Έτσι εάν η ένταση της άσκησης προκαλέσει εμφάνιση της VO_{2max} από την πρώτη προσπάθεια, τότε η διάρκεια της άσκησης πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με το 50% του $tlim$.

Για την βελτίωση του αναπνευστικού κατωφλιού, του $tlim$, και τις επιδόσεις στα μεσαία αγωνίσματα αντοχής οι Smith et.al (2003) στην ερευνά τους διαπίστωσαν πως το πρόγραμμα διαλειμματικής άσκησης μεσαίου χρόνου διάρκειας έντασης 60% του $tlim$, με διαλείμματα διπλάσιας διάρκειας, ήταν αρκετό για την πρόκληση προσαρμογών σε προπονημένους αθλητές αντοχής. Λίγο αργότερα ο Esfarjani και Laursen (2007) συμπέραναν πως η διαλειμματική άσκηση μεσαίου χρόνου με διάρκεια διαλειμμάτων 3.5 ± 0.7 λεπτών και ερεθίσματα διάρκειας 60% του $tlim$, δημιουργεί προϋποθέσεις για την ανάπτυξη της VO_{2max} και της ικανότητας αντοχής(65). Αντιθέτως οι Millet et. al. (2003) διαπίστωσαν ενώ είναι αποδεκτή η χρησιμοποίηση της διάρκειας του $tlim$ για το καθορισμό της διάρκειας των επαναλήψεων, ωστόσο η χρήση του δεν οδήγησε στην διατήρηση υψηλών ποσοστών της VO_{2max} για περισσότερο χρόνο από ότι παρατηρήθηκε με τη χρησιμοποίηση σταθερού χρόνου άσκησης.

• Φυσιολογικές επιδράσεις διαλειμματικής άσκησης υψηλής έντασης

Η διαλειμματική προπόνηση στοχεύει στην βελτίωση του αναερόβιου μηχανισμού, έτσι εφαρμόζεται με πολύ υψηλή ένταση και με διαλείμματα μεγάλης διάρκειας(66). Ωστόσο είναι γνωστό πως η μέθοδος διάρκειας υψηλής έντασης θα ελαχιστοποιήσει την διάρκεια της άσκησης, λόγω της αυξημένης έντασης με αποτέλεσμα τον περιορισμό φορτιού του καρδιοαναπνευστικού συστήματος.

Οι φυσιολογικές προσαρμογές που προκαλούνται εξαρτώνται από την φύση του ερεθίσματος δηλαδή τη συχνότητα, την ένταση και τον όγκο της άσκησης. Έτσι σε αντίθεση με άλλες κατηγορίες ασκήσεων, η ενέργεια της διαλειμματικής άσκησης υψηλής έντασης (HIIT), μπορεί να διαφέρει σημαντικά ανάλογα την διάρκεια και την ένταση κάθε προσπάθειας, το

συνολικό αριθμό προσπαθειών όπως επίσης και την διάρκεια ανάκαμψης μεταξύ των προσπαθειών(67). Οι Parolin et al., (1999) αναφέρουν στη μελέτη τους ότι κατά την διάρκεια μιας μέγιστης προσπάθειας στην ποδηλασία 30 s το 20% της παροχής ενέργειας προέρχεται από οξειδωτικό αερόβιο μεταβολισμό. Ωστόσο αυτό αλλάζει αν η άσκηση επαναληφθεί 3 φορές, με ανάκαμψη τεσσάρων λεπτών διάλειμμα μεταξύ των προσπαθειών. Τότε παρατηρείται αλλαγή στην παροχή των ATP όπου κατά τη διάρκεια της τελευταίας προσπάθειας, το σύνολο της προέχεται από το οξειδωτικό μεταβολισμό. Οι Parolin και συνεργάτες τους (1999) στην ανάλυσή τους για την αυξημένη συμβολή του οξειδωτικού μεταβολισμού κατά τη διάρκεια επαναλαμβανόμενων προσπαθειών υψηλής έντασης, καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι αυτή η αύξηση οφείλεται τόσο στην αυξημένη χρήση οξυγόνου και στη μείωση της ικανότητας διέγερσης του υποστρώματος μέσω της υδρόλυσης της φωσφοκρεατίνης και της γλυκόλυσης(68). Επομένως η διαλειμματική άσκηση υψηλής έντασης είναι μοναδική, διότι η κυτταρική ενέργεια κατά την διάρκεια της προπόνησης μπορεί να προέρχεται τόσο από αναερόβιο αλλά και από οξειδωτικό μεταβολισμό.

Συνεπώς η βελτίωση στα ΗΠΤ σχετίζεται με την αυξημένη δραστηριότητα των ενζύμων που ρυθμίζουν την παροχή μη οξειδωτικής ενέργειας (π.χ. φωσφορυλάση γλυκογόνου, φωσφοφρουκτοκινάση), και την βελτιωμένη ικανότητα των μυών να ρυθμίζονται και να προσαρμόζονται κατάλληλα σε διάφορες συνθήκες και απαιτήσεις, όπως επίσης ιοντικές προσαρμογές συμπεριλαμβανομένης της αυξημένης περιεκτικότητας και λειτουργίας της ΑΤΡάσης νατρίου-καλίου ($\text{Na}^+-\text{K}^+-\text{ATPase}$)(67, 69).

Σε μελέτη οι Tabata et. al (1996) διαπίστωσαν υψηλότερες τιμές στο VO_2 αλλά και μεγαλύτερη συμμετοχή του αναερόβιου μηχανισμού με πρόγραμμα εκτέλεσης 6-7 x 20 s στο 170% της $\text{VO}_2 \text{ max}$ με διάλειμμα 10 s πάρα σε αντίστοιχο με πρόγραμμα 4-5 x 30 s στο 200% της $\text{VO}_2 \text{ max}$ με διάλειμμα 2 λεπτά(70). Η πρόκληση υψηλότερων τιμών VO_2 στο πρώτο πρόγραμμα, μπορεί να αποδοθεί στο ρολό της μυοσφαιρίνης. Το δεσμευόμενο από την μυοσφαιρίνη οξυγόνο είναι αυτό που χρησιμοποιείται κατά την αρχική φάση της άσκησης. Σε αυτή την φάση παρατηρούνται οι μέγιστες ελλείψεις οξυγόνου αφού η πρόσληψη δεν επαρκεί για τις ανάγκες της άσκησης. Η έλλειψη αντιπροσωπεύει περίπου το 10% του μέγιστου συσσωρευμένου ελλείμματος οξυγόνου, μετά από έντονη άσκηση διάρκειας 2 λεπτών(71).

Σε σχέση με άλλες προσαρμογές που προκαλούνται, η σύσταση των μυϊκών ινών, λειτουργεί ως αμφίδρομη μετατόπιση προς τον τύπο Ια ($\text{I} \rightarrow \text{Ia} \leftarrow \text{Ib}$), κάτι το οποίο παρατηρείται τόσο στην προπόνηση αντοχής όσο και στην προπόνηση δύναμης(67). Ωστόσο το ΗΠΤ δεν έχει σημαντική επίδραση στο μέγεθος της μυϊκής μάζας, ειδικά συγκρίνοντας την με την

προπόνηση αντίστασης βαριάς μορφής, πάρα μόνο μερικές μελέτες όπου αναφέρεται μέτρια αλλά σημαντική υπερτροφία στους ίνες τύπου I και II μετά από πολλούς μήνες ΗΠΤ(67).

Πέραν από τις προσαρμογές στην σύσταση και το μέγεθος της μυϊκών ινών, το πρόγραμμα ΗΠΤ έχει από καιρό αναγνωριστεί πως συμβάλλει στην αύξηση της οξειδωτικής ικανότητας και την απόδοση των μυών κατά την διάρκεια εργασιών που βασίζονται κυρίως στο αερόβιο ενεργειακό μεταβολισμό(72). Οι MacDougall et al. (1998) σε μελέτη τους ανέφεραν πως αυξημένη δραστηριότητα αρκετών μιτοχονδριακών ενζύμων μετά από 7 εβδομάδες ΗΠΤ με βάση το Wingate, όπου ακολουθήθηκε πρωτόκολλο εκτέλεσης 4-10 προσπαθειών και προπόνηση τρεις φορές την εβδομάδα(73).

Τέλος, οι Burgomaster et al., (2005, 2006) σε μελέτες τους αναφέρουν αυξημένη οξειδωτική ικανότητα των μυών (εκτιμάται χρησιμοποιώντας τη μέγιστη δραστηριότητα ή την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες των μιτοχονδριακών ενζύμων) που κυμαίνεται από <15-35%, μετά από 6 προπόνησης ΗΠΤ και πέραν των 2 εβδομάδων.

• Καρδιοαναπνευστικές επιδράσεις

Η φιλοσοφία της μεθόδου διαλειμματικής άσκησης υψηλής έντασης έγκειται στην εντονότερη δραστηριοποίηση του αναπνευστικού, του καρδιαγγειακού και μυϊκού συστήματος, από αυτή που παρατηρείται κατά τη συνεχόμενη μέθοδο. Οι υψηλές εντάσεις των ερεθισμάτων απαιτούν υπομέγιστη ή ακόμη και μέγιστη δραστηριοποίηση του συστήματος μεταφοράς και κατανάλωσης O_2 . Η απαίτηση αυτή οδηγεί σε συν-ενεργοποίηση του αερόβιου και αναερόβιου μηχανισμού παραγωγής ενέργειας, συστράτευση όλων των τύπων μυϊκών ινών (I, IIa, IIb), έντονη διαταραχή της οξεοβασικής ισορροπίας και απότομη αύξηση της συγκέντρωσης του γαλακτικού οξέος.

Σε ερευνά του ο Grosser, (2000) μελετώντας την επίδραση του «αμειβόμενου» διαλείμματος, το οποίο εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως ο στόχος της προπόνησης, το επίπεδο της φυσικής κατάστασης του ατόμου και η συνολική διάρκεια της προπόνησης. Δεν υπάρχει αυστηρός κανόνας για τη διάρκεια του «αμειβόμενου διαλείμματος, καθώς αυτό μπορεί να προσαρμοστεί ανάλογα με τις ατομικές ανάγκες και τις συνθήκες σε σχέση με το πλήρες διάλειμμα. Έτσι το «αμειβόμενο» διάλειμμα μπορεί να θεωρηθεί το ακανόνιστο μεταβαλλόμενο στον χρόνο διάλειμμα. Στην ερευνά του διαπίστωσε ότι ενώ κατά την διάρκεια της επιβάρυνσης προκαλείται αύξηση της καρδιακής πίεσης που έχει ως συνέπεια την υπερτροφία του καρδιακού μυός, ενώ κατά το αμειβόμενο πλήρες διάλειμμα δημιουργούνται συνθήκες για διεύρυνση των κοιλιών με αποτέλεσμα την αύξηση του όγκου παλμού(74).

Έτσι οι ευνοϊκές προκλήσεις καρδιακών προσαρμογών ωφελούν ιδιαίτερα τα δρομικά αγωνίσματα μεσαίων και μεγάλων αποστάσεων όπου οι ανάγκες παροχής αίματος στο υπόλοιπο σώμα είναι μεγαλύτερες. Σε μια άλλη έρευνα για την δραστηριότητα του οξυγόνου ο Edwards et al. (1973) χρησιμοποιώντας μια από τις δημοφιλέστερες διαλειμματικές προπονήσεις μικρού χρόνου (διάρκεια ερεθίσματος 30s. ένταση 100% της pVO_{2max} , με αναλογία διαλείμματος: ερεθίσματος 1:1, ενεργητικό διάλειμμα στο 50% pVO_{2max}) αναφέρει ότι τα πρώτα 20s. του διαλείμματος, η VO_2 παραμένει υψηλή και δεν έπεφτε αισθητά έως τα 30s. μετά το τέλος της τελευταίας προσπάθειας(59). Μερικά χρόνια αργότερα ο Fox et al. (1977) εφαρμόζοντας παρόμοιο πρωτόκολλο διαλειμματικής προπόνησης (με αυξημένη ένταση στο 120% της vVO_{2max}) διατηρώντας την διάρκεια ερεθίσματος (30s), παρατήρησε ότι η VO_2 έφτασε μόνο στο 70% της VO_{2max} κατά την διάρκεια εφαρμογής αυτού του πρωτοκόλλου διαλειμματικής προπόνησης(75).

Τα πρωτόκολλα διαλειμματικής προπόνησης προκαλούν περιφερειακές προσαρμογές, όπου μελέτες παρουσιάζουν ευεργετικές αλλαγές στην αρτηριακή πίεση κατά την διάρκεια της ηρεμίας, όπως επίσης αλλαγή στην μορφολογία της αριστερής κοιλίας(76). Ως αποτέλεσμα παρουσιάζονται βελτιώσεις στους μηχανισμούς, όπως η ενδοθηλιακή λειτουργία όπου αξιολογείται με την διαστολή της βραχιόνιας αρτηρίας, και είναι υπεύθυνη για τη ρύθμιση του αγγειακού τόνου μέσω της παραγωγής μιας πλειάδας αγγειοδραστικών ουσιών με κυριότερο εκπρόσωπο το μονοξείδιο του αζώτου. Μεγαλύτερος βαθμός βελτίωσης παρουσιάζεται με τα πρωτόκολλα διαλειμματικής προπόνησης, σε σύγκριση με την συνεχή προπόνηση μέτριας έντασης.. Το HIIT έχει αποδειχθεί πως βελτιώνει την καρδιοαναπνευστική ικανότητά σε ένα εύρος πληθυσμών, συμπεριλαμβανομένων εκείνων με στεφανιαία νόσο, ατόμων με καρδιακή ανεπάρκεια, ατόμων με μεταβολικό σύνδρομο όπως επίσης και παχύσαρκων ατόμων. Τέλος, η πολυδιάστατη ικανότητα των προγραμμάτων διαλειμματικής προπόνησης να βελτιώνουν καρδιοαναπνευστικές παραμέτρους την αποτελεσματικότητά της.

• **Μεταβολικές επιδράσεις**

Τα πρωτόκολλα διαλειμματικής προπόνησης υψηλής έντασης πέραν από των πολυδιάστατους ρόλο που απολαμβάνουν την τελευταία δεκαετία στην βιομηχανία της φυσικής κατάστασης(77), παρέχουν πολλά οφέλη στην υγεία και απόδοση των ασκούμενων σε αποδοτικό χρόνο. Τα πρωτόκολλα αυτά συνήθως περιλαμβάνουν άσκηση μικρής διάρκειας (από 6 δευτερόλεπτα έως 4 λεπτά) με υψηλή ένταση (μεγαλύτερη από ή ίση με 90% μέγιστης αερόβιας ικανότητας) όπου εναλλάσσονται με διαλείμματα διαφορετικής διάρκειας.

Σε μελέτες τους οι Boutcher (2011) και Kessler et al. (2012) σε πρωτόκολλα διαλειμματικής άσκησης υψηλής έντασης διάρκειας 2 έως 16 εβδομάδων δείχνουν ότι είναι αρκετό το διάστημα αυτό ώστε να αυξηθεί η ευαισθησία των ιστών στην ινσουλίνη, η οποία μπορεί να βελτιωθεί από 23% έως 58% (78, 79). Για την βελτίωση αυτή ευθύνεται κυρίως η αύξηση των μεταφορέων της γλυκόζης (γνωστοί ως μεταφορείς GLUT4). Ο πολυδιάστατος ρόλος της διαλειμματικής άσκησης υψηλής έντασης έχει θετικό αντίκτυπο και στα επίπεδα χοληστερόλης όπου οι Kessler et al., (2012) συνοψίζοντας 14 μελέτες έχουν παρατηρήσει σημαντική βελτίωση στα επίπεδα χοληστερόλης HDL μετά από τουλάχιστον 8 εβδομάδες προπόνησης (79). Επιπλέον ο συνδυασμός διαλειμματικής άσκησης μαζί με την μέτρια μείωση του σωματικού λίπους έχουν θετική επίδραση (μείωση) στα επίπεδα της ολικής χοληστερόλης, της LDL χοληστερόλης και των τριγλυκεριδίων στο αίμα.

Μια άλλη παράμετρος όπου επίσης εμφανίζει θετική επίδραση η διαλειμματική προπόνηση, είναι η αρτηριακή πίεση. Σε ανασκόπηση όπου διενέργησαν οι Kessler et al. (2012) κατέληξαν πως 10 εβδομάδες δεν είναι αρκετές για την επίτευξη σημαντικής μείωσης στην αρτηριακή πίεση σε άτομα με υπέρταση. Ωστόσο στην πραγματικότητα οι ερευνητές εισηγούνται πως τουλάχιστον 12 εβδομάδες διαλειμματικής προπόνησης είναι επαρκείς για την παρουσία αισθητής μείωσης (από 2% έως 8%) τόσο στη συστολική όσο και στη διαστολική αρτηριακή πίεση (79). Πέραν από τις ευεργετικές επιδράσεις στην λειτουργία ινσουλίνης - γλυκόζης, χοληστερόλης και αρτηριακής πίεσης, τα πρωτόκολλα διαλειμματικής προπόνησης εμφανίζουν άμεσες φυσιολογικές αποκρίσεις με την αυξητική ορμόνη να παρουσιάζει αύξηση έως και 10 φορές σε σχέση με την αρχική τιμή πριν την άσκησης. Η αυξητική ορμόνη συνδέεται με τη μυϊκή ανάπτυξη μέσω της αύξησης του ινσουλινομιμητικού παράγοντα 1 (IGF-1), και την χρησιμοποίηση ελευθέρων λιπαρών οξέων από τη διάσπαση των τριγλυκεριδίων.

• Επίδραση της διαλειμματικής άσκησης υψηλής έντασης στην απόδοση και στην υγεία

Τα προγράμματα διαλειμματικής άσκησης υψηλής έντασης πέραν από τα παραπάνω οφέλη, βελτιώνουν και την γενικότερη υγεία. Αρκετά ευρήματα παρουσιάζουν παράλληλα με τη βελτίωση της VO_{2max} βελτιώσεις στην λειτουργία της καρδιάς και στο καρδιαγγειακό σύστημα, καθιστώντας τη VO_{2max} ως σημαντικό προγνωστικό δείκτη για τις καρδιαγγειακές παθήσεις περισσότερο από οπουδήποτε άλλο παράγοντα κίνδυνου. Σε ερευνά τους οι Cox et al. (1986) εφάρμοσαν 7 εβδομάδες έντονης προπόνησης αντοχής σε αδρανή άτομα. Το

πρόγραμμα άσκησης εφαρμόζοντας έξι ημέρες την εβδομάδα, και περιλάμβανε συνεχή ποδηλασία (40 λεπτά) και στη συνέχεια διαλειμματική άσκηση υψηλής έντασης (5 × 5 min στο 85% -90% της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου [VO_{2max}]). Τα αποτελέσματα έδειξαν αλλαγές στις διαστάσεις της αριστερής κοιλίας (LV). Σε μια άλλη μελέτη με υγιείς άνδρες, οι βελτιώσεις στο VO_{2max} και τον όγκο παλμού ήταν μεγαλύτερες σε άσκηση με υψηλή ένταση (90% -95% του μέγιστου καρδιακού ρυθμού) σε σύγκριση με την επίδραση προγραμμάτων άσκησης μεγαλύτερης διάρκειας με χαμηλότερη ένταση. Επίσης διαφαίνεται πως τα προγράμματα διαλειμματικής άσκησης υψηλής έντασης στο 90% -95% του μέγιστου καρδιακού ρυθμού (~4 × 4 λεπτά) αύξησε το VO_{2max} κατά 18% και την μάζα της LV κατά 12% όπως επίσης αύξηση παρουσιάστηκε στην συσταλτικότητα της LV κατά τη διάρκεια άσκησης κατά 13% σε γυναίκες που δεν είχαν ασκηθεί ποτέ στο παρελθόν(80). Η διαφοροποίηση των προγραμμάτων διαλειμματικής υψηλής έντασης μικρής διάρκειας σε σύγκριση με τα προγράμματα μέτριας έντασης στην βελτίωση της αερόβιας ικανότητας δείχνουν να είναι πιο αποτελεσματικά. Τα ευρήματα είναι σύμφωνα με τα αποτελέσματα και άλλων ερευνητών. Οι πλείστες έρευνες χρησιμοποιούν ένα μοντέλο ποδηλασίας, ωστόσο αλλά μοντέλα παραδοσιακής άσκησης ολόκληρου του σώματος είναι πιθανό να παρουσιαστούν εξίσου αποτελεσματικά.

Η διαλειμματική άσκηση υψηλής έντασης περιλαμβάνει ευρεία ποικιλία μοντέλων, ωστόσο ένα από τα συνηθισμένα μοντέλα που χρησιμοποιείται είναι η δοκιμασία στο Wingate (εξειδικευμένο εργόμετρο) το οποίο χρησιμοποιείται για μελέτες διαλειμματικών ασκήσεων υψηλής έντασης χαμηλού όγκου κι αποτελείται από 30 δευτερόλεπτα ποδηλασίας με μέγιστη ένταση ("all out"). Σε έρευνες αναφέρεται πως υγιή άτομα σε καθιστική βάση σε μόλις 6 προπονήσεις αυτού του τύπου σε διάστημα δυο εβδομάδων, ήταν αρκετό για να προκαλέσει αύξηση της οξειδωτικής ικανότητας των σκελετικών μυών, όπως αντανακλάται από την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες διάφορων μιτοχονδριακών ενζύμων(81, 82). Σε άλλες έρευνες γίνεται αναφορά για την αποτελεσματικότητα των μοντέλων διαλειμματικής άσκησης όπου παρά την μείωση κατά 90% του όγκου προπόνησης σε σχέση με τα παραδοσιακά πρόγραμμα άσκησης, εντούτοις τα μοντέλα διαλειμματικής άσκησης παρουσιάζουν παρόμοια αύξηση στην VO_{2max} σε πρόγραμμα 6 εβδομάδων(83, 84).

Επιπλέον, τα πρωτόκολλα διαλειμματικής άσκησης υψηλής έντασης δεν περιορίζονται μόνο στις καρδιοαναπνευστικές παραμέτρους, αλλά επιφέρουν θετικά αποτελέσματα στην ευαισθησία της ινσουλίνης. Σε μελέτες με σύντομα πρωτόκολλα με βάση το Wingate, αναφέρονται βελτιώσεις στην ευαισθησία στην ινσουλίνη με την χρησιμοποίηση της μεθόδου ανοχής

της γλυκόζης σε υγιείς άνδρες(85) και υπέρβαρα άτομα(86), καθώς επίσης και με την χρήση της υπερινσουλιναιμικής ευγλυκαιμικής μεθόδου σε ασκούμενους άνδρες και γυναίκες(87). Επίσης οι Stavrinou et. al. (2018) παρουσίασε τις επιδράσεις της διαλειμματικής προπόνησης υψηλής έντασης (HIIT) στην παρουσίασε υγεία και ποιότητα ζωής σε 35 υγιείς ανενεργούς ενήλικες όπου με συχνότητα 3 φορές την εβδομάδα παρουσίασαν πρόσθετες βελτιώσεις στους δείκτες σωματικής σύστασης και χοληστερόλης σε σχέση με τους αδρανείς ενήλικες(88) Αναφορές για βελτιώσεις στη σύσταση του σώματος παρουσιάζουν και οι Trapp και συνεργάτες του, όπου αναφέρουν σημαντική απώλεια σωματικού λίπους σε νεαρές γυναίκες μετά από 15 εβδομάδες διαλειμματικής άσκησης η οποία συνίστατο από 8 s "all out" σπριντ ακολουθούμενη από αποκατάσταση 12s για 20 λεπτά(89). Αργότερα εκτελέστηκε το ίδιο πρωτόκολλο για 12 εβδομάδες όπου παρουσιάστηκε μειωμένη μάζα λίπους ολόκληρου του σώματος και αυξημένη άλιπη μάζα στα πόδια και τον κορμό σε υπέρβαρους νέους άνδρες(90).

Λειτουργική άσκηση υψηλής έντασης

• Προέλευση και ορισμός της λειτουργικής άσκησης υψηλής έντασης

Η λειτουργική προπόνηση υψηλής έντασης (HIIT) είναι μια πρωτοποριακή τεχνική προπόνησης που αναπτύχθηκε στους τομείς της στρατιωτικής εκπαίδευσης και της αθλητικής επιστήμης. Οι απαρχές της μπορούν να συνδεθούν με την απαίτηση για προπόνηση που είναι πρακτική, προσαρμόσιμη και αποτελεσματική.

Οι στόχοι της HIIT είναι η ενίσχυση της αθλητικής απόδοσης, της φυσικής κατάστασης, της δύναμης, της ευλυγισίας και της αντοχής. Οι λειτουργικές ασκήσεις, όπως το τρέξιμο, τα άλματα, τα σπριντ, η άρση βαρών, οι ελιγμοί και άλλες δυναμικές κινήσεις, αποτελούν το θεμέλιο αυτής της προπονητικής προσέγγισης. Η αυξημένη αναερόβια και αναερόβια αντοχή, η βελτιωμένη ισορροπία και σταθερότητα, η αυξημένη μυϊκή δύναμη και αντοχή και η βελτιωμένη μεταβολική υγεία και σύσταση σώματος είναι οι πρωταρχικοί στόχοι της HIIT.

Σε πρόσφατη μελέτη διαπιστώθηκε πως άτομα χρησιμοποιώντας μόνο πολυαρθρικές ασκήσεις (burpees, jumping jacks, mountain climbers, squat thrusts) σε 8 × 20 s με 10 s ανάπαυλα με 4 φορές την εβδομάδα για 4 εβδομάδες αυξήσαν το VO_{2max} στον ίδιο βαθμό με μια ομάδα που πραγματοποίησε 30 λεπτά παραδοσιακής άσκησης αντοχής. Με την παρέλευση του χρόνου παρουσιάζονται νέες προκλήσεις στην φυσική ικανότητα των σωμάτων ασφάλειας (στρατιωτική, πυροσβεστική υπηρεσία, κ.λπ.) όπου απαιτείται περισσότερη απόδοση στο

πεδίο. Έτσι οι ανάγκες προπόνησης έχουν αλλάξει με την πάροδο του χρόνου, με κύριο στόχο τη μέγιστη απόδοση στην εκτέλεση των καθηκόντων (π.χ. διάσωση)(91). Στην πυροσβεστική υπηρεσία και στην αστυνομία υπήρξε μια στροφή προς την ανάπτυξη ετοιμότητας και ευκινησίας, τα οποία προσομοιάζονται με πραγματικές συνθήκες εργασίας και όχι με παραδοσιακές δοκιμασίες της φυσικής κατάστασης οι οποίες συνήθως περιλαμβάνουν τρέξιμο, ασκήσεις με το βάρος του σώματος (push-ups κλπ.). Παράλληλα διάφορα εξειδικευμένα προγράμματα τακτικής άσκησης έχουν αναπτυχθεί για τον στρατό, την πυροσβεστική υπηρεσία και την υπηρεσία επιβολής του νόμου(92). Στις κύριες χαρακτηριστικές κινητικές απαιτήσεις περιλαμβάνονται οι άρσεις αντικειμένου από το έδαφος και πέραν του ύψους της κεφαλής, πιέσεις, έλξεις, αναρριχήσεις, στροφές, άλματα, τρέξιμο με αλλαγές κατευθύνσεις. Ερευνητές αξιολογώντας τις σύγχρονες απαιτήσεις και λαμβάνοντας υπόψη τις ανάγκες τους, συγκρίναν τα αποτελέσματα ενός παραδοσιακού στρατιωτικού προγράμματος φυσικής ικανότητας με ένα πρόγραμμα λειτουργικής άσκησης υψηλής έντασης (HIFT) το οποίο ονομάζεται Mission Essential Fitness (MEF). Τα αποτελέσματα μεταξύ των δυο προγραμμάτων μετά από 8 εβδομάδες εκπαίδευσης έδειξαν πως η ομάδα MEF αύξησε σημαντικά τη δύναμή της, την αερόβια ικανότητα και την ευελιξία σε σύγκριση με το παραδοσιακό πρόγραμμα φυσικής ικανότητας(93). Ωστόσο, τα σώματα ασφάλειας δεν ασκούνται με γνώμονα μόνο την βελτίωση των αερόβιων παραμέτρων ή παραμέτρων αντοχής, καθώς οι απαιτήσεις μια επιχειρησιακής αποστολής απαιτεί ένα ευρύ φάσμα τομέων της φυσικής κατάστασης(94). Στην αναζήτηση ενός αποτελεσματικότερου προγράμματος άσκησης το οποίο θα καλύπτει τις ανάγκες των σωμάτων ασφάλειας, ερευνητές προτείνουν πως συνδυασμός προγραμμάτων αντιστάσεων με αερόβια άσκηση και ασκήσεις με το σωματικό βάρος έχουν εξαιρετικές προοπτικές στην βελτίωση της αερόβιας όσο και της αναερόβιας ικανότητας σε λιγότερο χρόνο και όγκο προπόνησης σχέση με την παραδοσιακή στρατιωτική εκπαίδευση(91, 92, 95). Σε έρευνα ο Heinrich και οι συνάδελφοι εφαρμόζοντας το πρόγραμμα HIFT σε ασκούμενους σύγκρινε τους δείκτες απόλαυσης και προσήλωσης μεταξύ των ατόμων που ακολουθούν το πρόγραμμα HIFT και αυτών που ακολουθούν την παραδοσιακή αερόβια άσκηση μέτριας έντασης με αντιστάσεις. Μετά από οκτώ εβδομάδες προπόνησης διαπίστωσαν πως εκείνοι στην ομάδα HIFT όχι μόνο ξόδεψαν σημαντικά λιγότερο χρόνο άσκησης (μόνο 39 λεπτά την εβδομάδα, σε σύγκριση με 189), αλλά είχαν επίσης υψηλότερη απόλαυση άσκησης και πρόθεση να συνεχίσουν (100%) από ό, τι η παραδοσιακή ομάδα (56%)(96). Τα ευρήματα αυτά παρέχουν σημαντικά στοιχεία πως το HIFT μπορεί να είναι ένα σημαντικό εργαλείο αξιοποίησης για την βελτίωση της δημοσίας υγείας. Ο μειωμένος

χρόνος δέσμευσης σε συνδυασμό με τα θετικά οφέλη που προσφέρει έναντι της παραδοσιακής άσκησης δημιουργεί το περιβάλλον προσέλκυσης περισσότερου κοινού κι υιοθέτησης του.

• Διαφορές διαλειμματικής και λειτουργικής άσκησης υψηλής έντασης

Οι δυο μορφές άσκησης, η λειτουργική άσκηση και η διαλειμματική άσκηση μοιράζονται και συνδέονται εννοιολογικά, ωστόσο παρουσιάζουν διακριτές διαφορές στις μεθοδολογίες τους. Η χρήση λειτουργικών κινήσεων και ασκήσεις που βασίζονται σε αντιστάσεις καθώς και τα προκαθορισμένα διαστήματα ανάπαυσης αποτελούν τις σημαντικότερες διαφορές τους. Τα πρωτόκολλα διαλειμματικής άσκησης συνήθως αποτελούνται από απλές ασκήσεις (π.χ. τρέξιμο, ποδηλασία, κωπηλασία), ενώ τα πρωτόκολλα λειτουργικής άσκησης αποτελούνται από συνδυασμούς λειτουργικών ασκήσεων, όπου περιλαμβάνουν ολόκληρο το σώμα ενεργοποιώντας πολλαπλά επίπεδα κίνησης όπως τα deadlifts, thrusters, push-ups και πολλά άλλα(92, 93, 96). Στην παραδοσιακή άσκηση ενώ αυτοί οι τύποι άσκησης, άρσης βαρών και ασκήσεις γυμναστικής υπάρχουν και εκτελούνται με προκαθορισμένα σετ και επαναλήψεις με μεγάλο χρόνο ανάκαμψης, φαίνεται πως δεν οδηγούν σε σημαντική καρδιαγγειακή ανταπόκριση. Ωστόσο όταν αυτά ακολουθούν μορφή συνεχούς άσκησης χωρίς συγκεκριμένα διαστήματα ανάπαυσης και διεξάγονται σε υψηλή ένταση, μπορούν να προκαλέσουν ισχυρά ερεθίσματα όχι μόνο στην βελτίωση της μυϊκής δύναμης αλλά και στις καρδιαγγειακές αερόβιες και αναερόβιες προσαρμογές(97).

Εάν άλλο σημαντικό στοιχείο που διαχωρίζει τα πρωτόκολλα HIFT από τα παραδοσιακά HIIT είναι ο καθορισμός των διαστημάτων ανάπαυσης. Τα πρωτόκολλα HIFT βασίζονται στην εκτέλεση ενός αριθμού επαναλήψεων στο γρηγορότερο δυνατό χρόνο ή στην ολοκλήρωση μιας σειράς των ασκήσεων μέσα σε ένα δεδομένο χρονικό πλαίσιο για όσο το δυνατόν περισσότερες επαναλήψεις. Τα διαστήματα ανάπαυσης εξαρτώνται από την δυνατότητα του εκάστοτε ασκούμενου και στην τρέχουσα φυσική κατάσταση του, έτσι τα διαλείμματα ανάπαυσης-ανάκαμψης δεν ορίζονται εξ αρχής. Σε αντίθεση με τα πρωτόκολλα HIIT όπου τα διαστήματα αποκατάστασης ορίζονται σε συγκεκριμένα χρονικά σημεία, τα οποία συνήθως είναι μεγαλύτερα. Για παράδειγμα ένα πολύ διαδεδομένο πρωτόκολλο HIIT είναι η επαναλαμβανομένη δοκιμασία στο Wingate, όπου ολοκληρώνονται πολλαπλά διαστήματα σπριντ "all-out" 30 s σε εργομετρικό ποδήλατο κάθε 4,5 λεπτά για 4-6 γύρους, όπου το διάστημα αποκατάστασης είναι προκαθορισμένο(98). Ο χρόνος αποκατάστασης μεταξύ των πρωτοκόλλων μπορεί να προκαλέσει σημαντικές συνέπειες στην πρόκληση των προσαρμογών.

Αυτό διερευνήθηκε από τον Cochran et al., (2014) όπου σε έρευνα δυο μερών συγκρίναν τις οξείες αποκρίσεις τεσσάρων επαναλαμβανομένων δοκιμασιών με μια συνεχή περίοδο υψηλής έντασης άσκηση (τέσσερα λεπτά all-out εργομετρικό ποδήλατο)(99) όπου διαπίστωσαν παρόμοιες μιτοχονδριακές προσαρμογές. Ωστόσο σε αντίθεση με άλλες έρευνες, όπου σημαντικές βελτιώσεις παρουσίασαν τα μιτοχονδριάκα ένζυμα μόνο μετά από χρόνια εφαρμογή των πρωτοκόλλων ΗΠΤ(84, 100). Ως συνέχεια της έρευνας τους οι Cochran et al., (2014) μελέτησαν τις χρόνιες προσαρμογές, σε έξι εβδομάδες προπόνησης χρησιμοποιώντας μόνο το συνεχές πρωτόκολλο, όπου και ανέφεραν την απουσία σημαντικών μιτοχονδριακών προσαρμογών τα οποία συνήθως εμφανίζονται με την προπόνηση ΗΠΤ(99). Ενώ ήταν απύσες οι σημαντικές μιτοχονδριακές αλλαγές μετά από έξι εβδομάδες προπόνησης, η ομάδα της συνεχούς άσκησης έδειξε σημαντικές αυξήσεις στην απόδοση του χρόνου της ποδηλασίας και μέγιστη αερόβια ικανότητα τα οποία είναι παρόμοια με τα πρωτόκολλα ΗΠΤ(99). Η ασυμφωνία ως προς τις μιτοχονδριακές προσαρμογές οδήγησε των Butcher και τους συνεργάτες του στην διεξαγωγή μελέτης όπου συγκρίναν δυο πρωτόκολλα HIFT (5 έλξεις, 10 κάμψεις, και 15 καθίσματα με το σωματικό βάρος για 21 λεπτά) με πρωτόκολλο ΗΠΤ (8 πιέσεις πάγκου, 10 έλξεις, και πλειομετρικά άλματα για 60 s, με χρόνο αποκατάστασης 3 λεπτά για 6 σετ) διαπίστωσαν πως οι αποκρίσεις του καρδιακού ρυθμού ήταν αρκετά διαφορετικές(101). Στο πρωτόκολλο HIFT ο καρδιακός ρυθμός διατηρήθηκε γύρω στο 90% του προβλεπόμενου για την ηλικία μέγιστου ρυθμού καθ' όλη τη διάρκεια της προπόνησης 21 λεπτών, σε αντίθεση με το πρωτόκολλο ΗΠΤ όπου μέσος όρος καρδιακού ρυθμού ήταν περίπου στο 76% προβλεπόμενου για την ηλικία. Αυτό υποδηλώνει ότι ένα πρόγραμμα HIFT θα παρείχε μεγαλύτερο φυσιολογικό ερέθισμα σε μια προπόνηση 21 λεπτών, από ένα πρωτόκολλο ΗΠΤ συγκρίσιμων χρόνων.

Σε μια άλλη έρευνα οι Kliszczewicz et al (2015) εξέτασαν το οξειδωτικό στρες μεταξύ μια προπόνησης HIFT (20 λεπτών - 5 έλξεις, 10 κάμψεις, και 15 καθίσματα με το σωματικό βάρος) και προπόνησης ΗΠΤ υψηλής έντασης σε διάδρομο για 20 λεπτά με μέγιστο καρδιακό ρυθμό στο 90%. Αν και υπήρξε σημαντική αύξηση στους δείκτες οξειδωτικού στρες και στα δυο πρωτόκολλα, ωστόσο απουσίαζε η σημαντική διαφορά μεταξύ τους. Αυτό οδήγησε στο συμπέρασμα πως όταν 20 λεπτό πρόγραμμα HIFT συνδυάζεται με χρόνο και ένταση τότε παράγεται μια φυσιολογική απόκριση στρες παρόμοια με αυτή της 20 λεπτής υψηλής έντασης διαλειμματικής προπόνησης στο διάδρομο(102). Πέραν από τις καρδιαγγειακές προσαρμογές που προκαλούν τα πρωτόκολλα HIFT παρουσιάζουν και έντονη

δράση σε μεταβολικούς δείκτες. Σε πρόσφατη έρευνα οι Kliszczewicz et al. (2017) σε σύγκριση μεταξύ ενός μικρού (<5 λεπτά) και ενός μακρού (15 λεπτά) προπόνησης HIIT παρήρτησαν σημαντικές αλλαγές σε μεταβολικούς δείκτες πλάσματος, όπου η γλυκόζη, η ινσουλίνη, η επινεφρίνη και η νορεπινεφρίνη είχαν σημαντική μεταβολή. Σημαντικό γεγονός αναφέρεται πως μεταξύ των δυο πρωτοκόλλων δεν παρουσιάζεται σημαντική διαφορά. Η απουσία διαφοράς υποδηλώνει πως ίσως και ακόμη λιγότερα από πέντε λεπτά προπόνησης HIIT μπορεί να είναι επωφελής για εκείνους με διαταραχή στον μεταβολισμό γλυκόζης(103). Επιπλέον μετά από 1 ώρα άσκησης μόνο ο δείκτης της ινσουλίνης παρέμεινε σε χαμηλότερα επίπεδα προ-άσκησης. Υπάρχουν πολλά στοιχεία που υποδηλώνουν τις διαφορές στις οξείες και χρόνιες αποκρίσεις μεταξύ των παραδοσιακών πρωτοκόλλων HIIT και HIIT. Φαίνεται ότι τα πρωτόκολλα HIIT πλεονεκτούν επιτρέποντας πολλαπλές επιδόσεις και φυσιολογικές προσαρμογές τα οποία απουσιάζουν στα πρωτοκολλά HIIT.

• Εφαρμογή λειτουργικής άσκησης υψηλής έντασης σε γενικό πληθυσμό

Η μειωμένη φυσική δραστηριότητα αποτελεί σημαντικό παράγοντα αύξησης πολλών ασθενειών που συνδέονται με τη σωματική αδράνεια. Είναι γεγονός ότι λιγότερο από το 21% των ενήλικων των Ηνωμένων Πολιτειών πληρούν τις τρέχουσες κατευθυντήριες γραμμές για την αερόβια και μυϊκή ενίσχυση της σωματικής δραστηριότητας. Επίσης, σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία, μόνο τέσσερις στους δέκα ενήλικες στην Ευρωπαϊκή Ένωση (δηλ. το 38%, συμμετέχουν σε φυσικές δραστηριότητες, σε οργανωμένη άσκηση ή αθλητισμό τουλάχιστον μία φορά την εβδομάδα. Ωστόσο, η αυξημένη δημοτικότητα που παρουσιάζουν τα προγράμματα HIIT και το ερευνητικό ενδιαφέρον γύρω από αυτή την μορφή άσκησης, δείχνουν ότι μπορεί να προσφερθεί ως μια εναλλακτική μορφή εκγύμνασης που μπορούν να ακολουθήσουν άτομα διαφορετικής ηλικίας και επιπέδου φυσικής κατάστασης. Πάρα την υψηλή ένταση των προγραμμάτων HIIT, όπου θα μπορούσε να λειτουργήσει ως αποτρεπτικός παράγοντας, αυτή η μορφή άσκησης χρησιμοποιείται με επιτυχία σε άτομα με χαμηλή φυσική κατάσταση ή ακόμα και σε ασθενείς. Πιθανότερη ερμηνεία τέτοιας συμπεριφοράς αποδίδεται στο γεγονός ότι η ικανοποίηση των ψυχολογικών αναγκών είναι προϊόν εγγενώς παρακείμενων συμπεριφορών(104), ενώ αντίθετα οι εξωγενείς παράγοντες μπορεί να υπονομεύσουν τα εγγενή κίνητρα(105). Έτσι η προσκόλληση στην άσκηση και συνολικά στα HIIT προγράμματα μπορεί αποδοθεί στους εγγενώς παρακινημένες συμπεριφορές οι οποίες λειτουργούν ως ισχυροί παράγοντες(106).

Σε περαιτέρω ανάλυση ο Heinrich et al. (2014) μελετώντας τους δείκτες απόλαυσης και

προσκόλλησης στην άσκηση, μεταξύ ενός προγράμματος HIFT και παραδοσιακής άσκησης μέτριας αερόβιας έντασης με συνδυασμό αντιστάσεων, διαπίστωσαν πως μετά από οκτώ εβδομάδες προπόνησης οι ασκούμενοι στην ομάδα HIFT όχι μόνο ξοδέψαν λιγότερο χρόνο άσκησης αλλά δήλωσαν υψηλότερη απόλαυση άσκησης με προθέσεις να συνεχίσουν, σε αντίθεση με την παραδοσιακή ομάδα(96). Επιπλέον τα άτομα με εγγενή κίνητρα προσκολλήθηκαν στην άσκηση δημιουργώντας συναισθήματα υψηλής απόλαυσης με κοινωνικές συνδέσεις και ταυτόχρονα παρουσίασαν χαμηλό δείκτη άγχους για την δραστηριότητα(107). Έτσι η προσκόλληση στα προγράμματα HIFT έχει συσχετιστεί θετικά με την απόλαυση(108) και την κοινωνική υποστήριξη(109) και τα εγγενή κίνητρα.

Η πολυμορφικότητα των προγραμμάτων HIFT πέραν από την κάλυψη των εγγενών αναγκών προσφέρει και βελτίωση των παραμέτρων φυσικής ικανότητας, των παραγόντων που σχετίζονται με την υγεία και τις λειτουργικές δεξιότητες, τα οποία από μόνα τους αποτελούν κίνητρα συμμετοχής σε HIFT(108, 110). Εγγενείς στόχοι και η ικανοποίηση των αναγκών προβλέπουν θετικά την συχνότητα συμμετοχής, σε αντίθεση με τους εξωγενείς παράγοντες οι οποίοι λειτουργούσαν αρνητικά(111). Οι συμμετέχοντες στο HIFT παρουσίασαν βελτιώσεις των βασικών ψυχολογικών αναγκών και της αυτονομίας. Σε αντίθεση ο Köteles, F. et al., (2016) αναφέρουν πως εβδομαδιαία συμμετοχή στο HIFT δεν έχει σημαντική επίδραση στην ευεξία, κάτι το οποίο αντικρούει η Bycura και οι συνεργάτες της όπου, ανέφεραν πως παράγοντες όπως η απόλαυση κι ο ανταγωνισμός συσχετίζονται με την διάρκεια και την συχνότητα συμμετοχής στο HIFT(108).

Η βελτίωση των φυσικών ικανοτήτων και των παραγόντων που σχετίζονται με την υγεία έχει αναφερθεί ως ένα από τα βασικότερα κίνητρα συμμετοχής σε HIFT(108, 110). Επίσης, η απόλαυση και οι προκλήσεις που παρουσιάζονται στα προγράμματα HIFT αποτελούν ισχυρά κίνητρα συμμετοχής, σε σύγκριση με διαφορετικούς τύπους άσκησης, όπως για παράδειγμα με την καθοδήγηση προσωπικού γυμναστή(112).

Τα γυμναστήρια ως κοινωνικός χώρος προσφέρουν τη δυνατότητα για αλληλεπιδράσεις μεταξύ ατόμων, ενώ συμβάλλουν και ενισχύουν την αίσθηση του «ανήκειν». Παρόλη την συνύπαρξη πολλών ατόμων στο χώρο του γυμναστηρίου, πολλές φορές υπάρχει περιορισμός της κοινωνικοποίησης λόγω των συνθηκών που δημιουργούν οι ασκούμενοι, είτε ορίζοντας των δικό τους χώρο είτε ακούγοντας μουσική(113). Διαφοροποίηση συμπεριφοράς παρουσιάζουν οι συμμετέχοντες των προγραμμάτων HIFT, όπου στα προγράμματα αυτά δημιουργούνται ευνοϊκότερες συνθήκες επικοινωνίας μέσω καθορισμού κοινής ταυτότητας, κοινών κανόνων, ενδυμασίας και κοινής γλώσσας όπως συμβαίνουν στα προγράμματα

CrossFit, που σε αυτή την βελτιωμένη επικοινωνία μεταξύ τους, συμβάλλει ο ελάχιστος εξοπλισμός που ενθαρρύνει την αλληλεπίδραση. Η διάταξη του χώρου των εγκαταστάσεων HIFT διαφέρει από εκείνες των παραδοσιακών γυμναστηρίων δίνοντας αξία στον χώρο και στον κινητό εξοπλισμό, σε αντίθεση με τα σταθερά μηχανήματα αντιστάσεων. Σε έρευνα στο Ηνωμένο Βασίλειο, ιθρευνητές συνέκριναν το περιβάλλον του παραδοσιακού γυμναστηρίου με το περιβάλλον της HIFT, και διαπίστωσαν ότι η κοινωνικότητα και η αίσθηση της επικοινωνίας ήταν σημαντικά υψηλότερη στους συμμετέχοντες των HIFT προγραμμάτων από εκείνους που ακολουθούσαν τα παραδοσιακά γυμναστήρια(114). Η HIFT θεωρείται όχι μόνο μια μορφή εξάσκησης αλλά και ως ένα άθλημα στο οποίο μπορεί να γίνει καταγραφή και δημοσιοποίηση των προπονήσεων(115). Έτσι η καταγραφή των αποτελεσμάτων των HIFT προγραμμάτων προσφέρουν ευκαιρίες δημιουργίας κοινωνικών σχέσεων μεταξύ των συμμετεχόντων οι οποίοι μοιράζονται τα αποτελέσματα της προπόνησης, ισχυροποιώντας το ενδιαφέρον. Ο Heinrich και οι συνεργάτες εξετάζοντας τους παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν στην συμμετοχή στο HIFT από την άποψη των προπονητών, παρουσίασαν ευρήματα τα οποία δείχνουν ότι το περιβάλλον και οι κοινωνικοί παράγοντες μαζί με τις σωματικές και ψυχολογικές αλλαγές που βιώνουν οι ασκούμενοι, αποτελούν ισχυρούς παράγοντες που επηρεάζουν την προσκόλληση στην άσκηση. Έτσι τα προγράμματα CrossFit ως μορφή HIFT δημιουργούν περιβάλλον εντόνου ενδιαφέροντος – ανταγωνισμού με πιθανό αποτέλεσμα την προσέλκυση περισσότερων συμμετεχόντων. Οι συμμετέχοντες μέσα από τα προγράμματα CrossFit βλέπουν το σώμα τους ως μέσο το οποίο τους προσφέρει την δυνατότητα απόκτησης θετικών εμπειριών από τον ανταγωνισμό. Πρόσφατες έρευνες έδειξαν πως οι συμμετέχοντες στο CrossFit πιθανόν να εμφανίζουν υψηλά επίπεδα εθισμού ή εμμονικής ανάγκης για ολοκλήρωσης του προγράμματος πάρα την εμφανιζόμενη κόπωση. Παρόλα αυτά μεταξύ των 603 συμμετεχόντων (55% άνδρες), οι άνδρες με τον υψηλότερο όγκο προπόνησης πιθανόν να εμφάνιζαν εθισμό στην άσκηση, ωστόσο ο συνολικός αυτό-αναφερόμενος αριθμός ατόμων εθισμού στην άσκηση ήταν 5%, παρόμοιος με αλλά αθλήματα(116) και ελαφρώς χαμηλότερος από αλλά αθλήματα όπως το ποδόσφαιρο (7,1%) ή την άσκηση στο γυμναστήριο (9,7%).

• Εφαρμογή λειτουργικής άσκησης υψηλής έντασης σε αθλητές

Η δημοφιλία του κάθε αθλήματος διαφέρει όπως οι ανάγκες και οι ιδιαιτερότητες του. Μερικά αθλήματα πάρα την αυξημένη δημοφιλία που παρουσιάζουν, εμφανίζουν σημαντικές διαφορές στις φυσιολογικές απαιτήσεις τους. Η απόδοση καθορίζεται συνήθως από έναν

βέλτιστο συνδυασμό αερόβιου και αναερόβιου μεταβολισμού, μυϊκής δύναμης, ταχύτητας και ευελιξίας. Πολλοί προπονητές έρχονται αντιμέτωποι με διάφορες στρατηγικές αναζητώντας μεθόδους μεγιστοποίησης της απόδοσης των αθλητών τους. Από τις πολλές στρατηγικές προπόνησης που εφαρμόζονται με στόχο τη βελτίωση της αθλητικής απόδοσης, οι προπονήσεις με αντιστάσεις παίζουν τον βασικό ρόλο σε όλα τα αθλήματα.

Πολυμορφικά προγράμματα σύμφωνα με τον Feito et al. (2018) ορίζονται τα HIFT όπου ενσωματώνουν μια ποικιλία λειτουργικών κινήσεων, που εκτελούνται σε υψηλή ένταση, βελτιώνουν τις παραμέτρους της γενικής φυσικής κατάστασης (καρδιαγγειακή αντοχή, δύναμη, σύσταση σώματος, ευελιξία κλπ.)(117), και πιθανόν μπορούν να ανταποκριθούν στις ιδιαίτερες ανάγκες των αθλητών. Η ιδιαιτερότητα αυτή των προγραμμάτων HIFT αυξάνει την αποδοχή, απόλαυση, καθώς και την προσκόλληση από τους αθλητές(96).

Στην πλειονότητα οι λειτουργικές κινήσεις προσφέρουν πλεονεκτήματα, έναντι άλλων μονοδιάστατων προγραμμάτων υψηλής έντασης. Τα προγράμματα HIFT, παρουσιάζουν μια πλούσια ποικιλία ασκήσεων ενσωματώνοντας ασκήσεις της άρσης βαρών με ολυμπιακή μπάρα (π.χ. αρασέ, deadlift), με το σωματικό βάρος (π.χ. push-ups, burpees), και καρδιαγγειακές ασκήσεις (π.χ. τρέξιμο, εσωτερική κωπηλασία) προσφέροντας βελτίωση της σύστασης του σώματος(118), των καρδιαγγειακών, των μεταβολικών παραμέτρων, καθώς και της λειτουργικής φυσικής κατάστασης. Χάρη στα χαρακτηριστικά του, το HIFT προκαλεί πολλαπλές προσαρμογές σε μόνο μια προπόνηση, ως εκ τούτου οι αθλητές παρουσιάζουν φυσιολογικά χαρακτηριστικά που είναι το κλειδί σε διαφορετικά αθλήματα. Τα αυτό-επιλεγμένα επίπεδα έντασης που οι συμμετέχοντες μπορούν ορίσουν, προσφέρουν την δυνατότητα της αυξομείωσης της έντασης προπόνησης ανάλογα με το επίπεδο της φυσικής κατάστασης για την βελτίωση της και για την αποφυγή τραυματισμών και δυσπροσαρμοστών συνθηκών.

Οι λειτουργικές ασκήσεις κινητοποιούν μεγάλα τμήματα του σώματος προκαλώντας πολυδιάστατες προσαρμογές(96). Σε έρευνα οι Westcott et al., (2007), διαπίστωσαν ότι τα 75 λεπτά την εβδομάδα προγράμματος HIFT οδήγησε σε βελτιώσεις (κάμψεις, ροκανίσματα κοιλιακών σε ένα λεπτό, περιφέρεια μέσης και τρέξιμο σε 1,5 μίλια) σε αντίθεση με τους συμμετέχοντες σε ένα παραδοσιακό πρόγραμμα που δεν έδειξαν βελτιώσεις παρά την καταγραφή 240 έως 300 λεπτών άσκησης την εβδομάδα(119). Η αποτελεσματικότητα των προγραμμάτων HIFT στην διαχείριση του χρόνου προπόνησης κρίνεται εξίσου σημαντική, αφού σε κάθε άθλημα ο χρόνος προπόνησης είναι περιορισμένος. Η εφαρμογή των προγραμμάτων HIFT κρίνεται ως απαραίτητη προϋπόθεση βελτίωσης της απόδοσης σε καταστάσεις

όταν υπάρχει ανάγκη για ταυτόχρονη βελτίωση της μυϊκής δύναμης, της αντοχής και της αερόβιας και αναερόβιας ικανότητας(120). Πρόσφατα οι Hermassi et al (2019) αναφέρουν την αποτελεσματικότητα των λειτουργικών ασκήσεων σε αθλητές υψηλού επιπέδου, δείχνοντας σημαντικές βελτιώσεις στη μυϊκή δύναμη, την αντοχή στην δύναμη και την ταχύτητα ρίψης σε μια ομάδα παικτών χάντμπολ πάνω από 10 εβδομάδες της ανταγωνιστικής περιόδου. Επιπλέον η ενσωμάτωση ασκήσεων από το HIFT όπου περιλαμβάνουν ολόκληρο το σώμα και είναι έντονες, σύντομες και εκτελούνται σε πολλαπλά επίπεδα κίνησης προσφέρουν την δυνατότητα για μια ισορροπημένη και ολοκληρωμένη μορφή προπόνησης(117, 121). Παρά τις ομοιότητες με την διαλειμματική προπόνηση υψηλής έντασης, η HIFT είναι μοναδική στο γεγονός ότι χρησιμοποιεί ένα συνδυασμό διαφορετικών ασκήσεων και πολλαπλών τρόπων εξάσκησης. Το βασικότερο πλεονέκτημα της HIFT είναι το γεγονός της επιβάρυνσης πολλαπλών συστημάτων του σώματος σε μια προπόνηση, με δυνατότητα αύξησης αερόβιας, αναερόβιας ικανότητας, της μυϊκής αντοχής, της δύναμης με θετικές επιδράσεις και στην σύσταση του σώματος(117, 121, 122). Παρόμοιες παρεμβάσεις έχουν δείξει θετικά αποτελέσματα σε αθλητές(123). Σε πρόσφατη μελέτη τα προγράμματα HIFT έδειξαν ότι επιφέρουν βελτίωση της απόδοσης στα 5 χλμ σε δρομείς αναψυχής με μικρότερη δέσμευση χρόνου.

• Πλεονεκτήματα της λειτουργικής άσκησης υψηλής έντασης, έναντι άλλων μορφών άσκησης

Τα HIFT ως πολυμορφικά προγράμματα περιλαμβάνουν κινήσεις από ένα μεγάλο φάσμα διαφορετικών προγραμμάτων άσκησης. Λόγω της ομοιότητας με την υψηλή διαλειμματική άσκηση, προκαλείται σύγχυση για τις ξεχωριστές επιδράσεις της. Ωστόσο η μεθοδολογία που ακολουθείται στο HIFT οδηγεί σε φυσιολογικές αποκρίσεις οι οποίες είναι σημαντικά διαφορετικές. Κύριο χαρακτηριστικό των προγραμμάτων είναι η χρήση πολλαθρικών κινήσεων και ασκήσεων με αντιστάσεις, καθώς επίσης και το διάστημα ανάπαυσης το οποίο είναι σύντομο. Στα παραδοσιακά προγράμματα που περιλαμβάνουν ασκήσεις άρσης βαρών αλλά και ασκήσεις γυμναστικής, τηρούνται σταθερά διαλείμματα με μεγάλο χρόνο αποκατάστασης τα οποία δεν οδηγούν σε σημαντική καρδιαγγειακή απόκριση(97). Ωστόσο, στα προγράμματα HIFT τα οποία έχουν μορφή συνεχούς ροής και εκτελούνται σε υψηλή ένταση, η φυσιολογική επιβάρυνση αποτελεί ισχυρό ερέθισμα όχι μόνο για την βελτίωση της μυϊκής δύναμης, αλλά και για την βελτίωση της αερόβιας και αναερόβιας ικανότητας.

Παρά την περιορισμένη έρευνα γύρω από τα προγράμματα HIFT, υπάρχουν μελέτες που

παρουσιάζουν σημαντικές βελτιώσεις στην σύσταση του σώματος, την μυϊκή δύναμη(124) καθώς και την αερόβια ικανότητα(96). Σε πρόσφατη μελέτη παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα σύγκρισης της HIFT με πρόγραμμα διαλειμματικής άσκησης υψηλής έντασης (HIIT). Οι δυο ομάδες ακολούθησαν διάρκεια προπόνησης έξι εβδομάδων, με συχνότητα τρεις φορές την εβδομάδα. Το πρωτόκολλο της ομάδας HIFT περιλάμβανε ασκήσεις υψηλής ισχύος (καθίσματα, άρσεις θανάτου, πιέσεις στήθους, κ.λπ.) ασκήσεις μέτριας ισχύος (προβολές, κάμψεις στήθους, πιέσεις ωμών κ.λπ.) και ασκήσεις με το βάρος του σώματος (άλματα σε κιβώτια, ρίψεις σάκους από άμμο, κ.λπ.). Σε αντίθεση το πρωτόκολλο της ομάδας HIIT περιλάμβανε κωπηλασία σε εργόμετρο. Και οι δυο ομάδες ολοκλήρωσαν έξι γύρους διάρκειας ενός λεπτού με "all-out" τρόπο, με ενδιάμεσο παθητικό διάλειμμα τριών λεπτών. Ενώ και οι δυο ομάδες βελτίωσαν την αερόβια (7% έναντι 5%, αντίστοιχα), και αναερόβια ικανότητα (15% έναντι 12%, αντίστοιχα), ωστόσο μόνο η ομάδα HIFT βελτιώθηκε στην μυϊκή αντοχή και παρουσίασε βελτίωση στις ασκήσεις καθίσματα, άρσεις θανάτου, πιέσεις στήθους.(125). Ως εκ τούτου φαίνεται πως η HIFT παρέχει μεν παρόμοιες βελτιώσεις στην αερόβια και αναερόβια ικανότητα όπως τα παραδοσιακά προγράμματα HIIT, αλλά επίσης παρέχει πρόσθετο όφελος την σημαντική βελτίωση των μυών που δεν παρατηρούνται με HIIT, είτε με συνεχή αερόβια άσκηση(125, 126).

Σημαντικό πλεονέκτημα που αποκτούν τα πρωτόκολλα HIFT έναντι των παραδοσιακών προγραμμάτων είναι ο σύντομος χρόνος άσκησης και αποκατάστασης. Οι προπονήσεις HIFT βασίζονται στην ολοκλήρωση ενός συγκεκριμένου αριθμού επαναλήψεων στο γρηγορότερο δυνατό χρόνο ή στην ολοκλήρωση μια σειράς ασκήσεων σε ένα δεδομένο χρονικό πλαίσιο με όσο το δυνατό περισσότερες επαναλήψεις. Η ανάπαυση στα άτομα που ασκούνται ορίζεται με βάση τα τρέχοντα επίπεδα φυσικής κατάστασης τους, ως εκ τούτου τα διαλείμματα αυτά είναι συχνά σύντομα και ορίζονται με βάση την διάρκεια της άσκησης. Αυτό διαφέρει σημαντικά από τα υπόλοιπα προγράμματα άσκησης π.χ. σε πρωτόκολλα με αντιστάσεις όπου τα διαλείμματα είναι συγκεκριμένα και μεγαλύτερα. Σε έρευνα τους ο Butcher και οι συνεργάτες του συγκρίναν πρωτόκολλο HIFT (AMRAP των 5 pull-ups, 10 push-ups, και 15 body weight squats, για 21 λεπτά) με ένα πρωτόκολλο HIIT συνδυαστικών ασκήσεων (8 bench press, 10 pull-ups, και box jumps για διάστημα 60 δευτερολέπτων με χρόνο αποκατάστασης 3 λεπτών για 6 σετ). Στη συγκεκριμένη έρευνα διαπίστωσαν πως ο ρυθμός προσπάθειας των ασκήσεων ήταν παρόμοιος μεταξύ των δυο πρωτοκόλλων, ενώ οι αποκρίσεις του καρδιακού ρυθμού αρκετά διαφορετικές. Αυτό υποδηλώνει ότι σε διάρκεια προπόνησης

21 λεπτών, μεταξύ των πρωτοκόλλων HIFT και HIIT συνδυαστικών ασκήσεων, το πρωτόκολλο HIFT θα παρείχε μεγαλύτερο φυσιολογικό ερέθισμα. Επιπλέον η διατήρηση υψηλού καρδιακού ρυθμού για μεγάλο χρονικό διάστημα έχει ως αποτέλεσμα χρόνιες καρδιοαγγειακές προσαρμογές, οι οποίες μειώνουν τους παράγοντες ασθένειας και των κίνδυνο θνησιμότητας(127). Σε μια άλλη ερευνά οι Kliszczewicz et al. (2015) εξέτασαν το οξειδωτικό στρες μεταξύ ενός πρωτοκόλλου HIFT 20 λεπτών (5-pull-ups, 10 push-ups, and 15 air-squats), και ενός πρωτοκόλλου συνεχούς τρέξιματος σε εσωτερικό διάδρομο υψηλής έντασης στο 90% του καρδιακού ρυθμού για 20 λεπτά. Αν και διαπίστωσαν σημαντικές αυξήσεις στους δείκτες οξειδωτικού στρες και στα δυο πρωτόκολλα, ωστόσο δεν παρατήρησαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δυο. Έτσι κατέληξαν στο συμπέρασμα πως εάν πρωτοκόλλου HIFT 20 λεπτών όταν συνδυάζεται με χρόνο και ένταση παράγει παρόμοια φυσιολογική απόκριση όπως ένα συνεχόμενο τρέξιμο υψηλής έντασης στο 90% του καρδιακού ρυθμού(102).

• Επίδραση της HIFT στην καρδιοαναπνευστική ικανότητα

Όπως αναφέρθηκε, ο σχεδιασμός των πρωτοκόλλων HIFT στηρίζεται κυρίως στην υψηλή ένταση δίνοντας έμφαση στις λειτουργικές πολυαρθρικές κινήσεις εμπλέκοντας τόσο τον αερόβιο όσο και τον αναερόβιο ενεργειακό μεταβολισμό. Τα οφέλη στις παραμέτρους της φυσικής κατάστασης ποικίλουν ανάλογα από το ποσοστό της έντασης που καταβάλλει ο κάθε ασκούμενος. Η υψηλή ένταση της άσκησης δημιουργεί ευνοϊκό περιβάλλον για θετικές προσαρμογές στην καρδιοαγγειακή ικανότητα, παρέχοντας οφέλη στα καρδιακά κύτταρα, η οποία βελτιώνει τη λειτουργική ικανότητα της καρδιάς και την ικανότητα μεταφοράς και χρησιμοποίησης οξυγόνου από την περιφέρεια. Τα πρωτόκολλα HIFT βελτιώνουν τη VO_2max , η οποία αποτελεί από τους σημαντικότερους παράγοντες βελτίωσης της απόδοσης σε δρομικά αλλά και σε άλλα αερόβια αθλήματα. Σε πρόσφατες μελέτες ερευνητές εξέτασαν την αποτελεσματικότητα των προγραμμάτων HIFT στη VO_2max και βρήκαν ότι μετά από 16 εβδομάδες προπόνησης HIFT, η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου αυξήθηκε κατά 12%. Η επίδραση των HIFT πρωτοκόλλων στην βελτίωση της καρδιοαναπνευστικής ικανότητας επιβεβαιώθηκε και σε μια άλλη μελέτη όπου το HIFT προκάλεσε βελτίωση σε απόδοση 5 χιλιομέτρων σε δρομείς αναψυχής με μικρότερη χρονική δέσμευση.

Η HIFT μπορεί να προσαρμοστεί σε οποιοδήποτε επίπεδο φυσικής κατάστασης και μέσω των επαναλαμβανόμενων ασκήσεων να βελτιώσει την καρδιοαγγειακή αντοχή. Σε μελέτες τονίζονται οι επιδράσεις των συντόμων εντόνων προγραμμάτων που διαρκούν 20 δευτερόλεπτα έως 4 λεπτά, όπου τα διαστήματα αυτά είναι αποτελεσματικά όχι μόνο στην βελτίωση

της αναερόβιας ισχύος αλλά και της αερόβιας ικανότητας. Οι Carnes και Mahoney συγκρί-
ναν την αποτελεσματικότητα του HIFT στο VO_{2max} και στην απόδοση στα 5 χλμ, με ένα
πρόγραμμα προπόνησης αντοχής σε ομάδα από ερασιτέχνες δρομείς. Σε αντίθεση με την
ομάδα αντοχής, η οποία ακολούθησε ένα συμβατικό πρόγραμμα τρεξίματος, η ομάδα HIFT
συμμετείχε σε μια ακολουθία δραστηριοτήτων υψηλής έντασης που περιλάμβανε σύντομες
περιόδους (30-60 δευτερόλεπτα) κατά τη διάρκεια 12 εβδομάδων προπόνησης. Ενώ και οι
δύο ομάδες παρουσίασαν βελτίωση, η ομάδα αντοχής παρουσίασε μεγαλύτερη βελτίωση
στη VO_{2max} . Ωστόσο, στη δοκιμασία των 5 χιλιομέτρων, και οι δυο ομάδες είχαν την ίδια
επίδοση. Η εικόνα αυτήν παρουσιάζει τα προγράμματα HIFT ως μια εναλλακτική μορφή
βελτίωσης του VO_{2max} αλλά και γενικότερα της απόδοσης στα 5 χλμ, στους ερασιτέχνες
δρομείς. Ακόμα και στη στρατιωτική εκπαίδευση τα προγράμματα HIFT παρέχουν πλεονε-
κτήματα όπου σε μελέτες, οι Haddock et al (2016), και Poston (2016) περιγράφουν πως
προγράμματα που συνδυάζουν ασκήσεις αντίστασης, αερόβιες ασκήσεις και ασκήσεις με το
σωματικό βάρος έχουν εξαιρετικές δυνατότητες βελτίωσης τόσο της αερόβιας όσο και της
αναερόβιας ικανότητας σε πιο αποδοτικό χρόνο έναντι παραδοσιακών στρατιωτικών προ-
πονήσεων.

• Επίδραση στη σύσταση σώματος

Η HIFT επιφέρει σημαντική βελτίωση στην σύσταση του σώματος. Αν και αυτή η μορφή
άσκησης υιοθετήθηκε πρόσφατα (μετά το 2010) στον τρόπο εκγύμνασης, ωστόσο έχει πε-
ριορισμένα μελετηθεί. Μερικές από τις έρευνες αναφέρουν σημαντικές μειώσεις του σωμα-
τικού λίπους (~ 8%)(128), αποτέλεσμα το οποίο παρουσιάζει και ο Feito et al. (2018) σε
έρευνα 16 εβδομάδων με HIFT όπου βρέθηκε σημαντική μείωση του ποσοστού σωματικού
λίπους (~ 6,5%) σε μια ομάδα υγιών ενηλίκων(129). Σε μια άλλη μελετη ο Heinrich et al.
(2014) σε μια προσπάθεια ανάλυσης των επιδράσεων του HIFT, σύγκρινε δυο ομάδες για
διάρκεια οκτώ εβδομάδων όπου η πρώτη ομάδα ακολούθησε την HIFT προπόνηση και η
δεύτερη ομάδα ακολούθησε αερόβια προπόνηση όπου περιελάμβανε ασκήσεις αντίστασης
μέτριας έντασης. Παρόλο που δεν παρουσιάστηκε σημαντική μεταβολή στη σύσταση του
σώματος, ωστόσο οι συμμετέχοντες στο HIFT δήλωσαν υψηλή προτίμηση και προσκόλληση
σε αυτή τη μορφή άσκησης. Μελλοντικά η προτίμηση αυτή και η προσήλωση στα προγράμ-
ματα HIFT θα μπορούσε να λειτουργήσει ως ευεργετική στρατηγική για την καταπολέμηση
της παχυσαρκίας με αποτέλεσμα την βελτίωση της σύστασης του σώματος. Αργότερα οι

Nieuwoudt et al. (2017) σε μελέτη για την επίδραση της HIFT στον διαβήτη τύπου 2, διαπίστωσαν πως πέραν από τις υπόλοιπες θετικές προσαρμογές που προκαλεί, επιπλέον επιφέρει και σημαντική μείωση στο σωματικό λίπος σε συνδυασμό με μη στατιστικές μεταβολές στο σωματικό βάρος(130). Παρόμοια αποτελέσματα παρουσίασαν οι Fealy et al. (2018) σε μια προσπάθεια εξέτασης των επιπτώσεων των HIFT προγραμμάτων στην ευαισθησία ινσουλίνης όπου, ανέφεραν πως πέραν της βελτίωσης (~15%) επιτεύχθηκε μείωση της συνολικής μάζας του λίπους, με την ταυτόχρονη διατήρηση της άλιπης μάζας η οποία έχει αποδειχθεί σημαντική στη ρύθμιση της γλυκόζης. Παρόλα τα υπάρχοντα δεδομένα δεν υπάρχουν διαθέσιμες πληροφορίες στην βιβλιογραφία για πιθανές συσχετίσεις μεταξύ της σύστασης του σώματος και της ποσότητας άσκησης.

• Επίδραση στην μυϊκή δύναμη

Η εύρεση αποτελεσματικών τρόπων για την ταυτόχρονη ανάπτυξη των φυσικών ικανοτήτων αποτελούν μια πρόκληση την οποία οι αθλητές και προπονητές αντιμετωπίζουν με συνέπεια(131). Οι κυκλικές προπονήσεις που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη της μυϊκής δύναμης, της αντοχής, της αερόβιας και αναερόβιας ικανότητας αποτελούν μέρος της λύσης για προπονητές και αθλητές(120).

Σε έρευνες που πραγματοποιήθηκαν αποδείχθηκε πως μεγάλος αριθμός επαναλήψεων και η έντονη φύση των ασκήσεων σε προγράμματα HIFT παρέχουν την δυνατότητα στον ασκούμενο να αύξηση την αντοχή, την υπερτροφία και την δύναμη(93, 123). Ωστόσο όταν η προπόνηση συνοδεύεται με στοιχεία αερόβιων ασκήσεων και ασκήσεων δύναμης, αλλά ο στόχος παραμένει η αύξηση της δύναμης σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η σειρά των ασκήσεων, όπου οι ασκήσεις δύναμης πρέπει να εκτελούνται πριν από τις ασκήσεις αντοχής(132, 133). Στη μελέτη τους De Sousa et al. (2016) σύγκριναν τις διαφορές μεταξύ των συμμετεχόντων στην προπόνηση HIFT (CrossFit) και ατόμων που ακολουθούσαν προπόνηση με αντιστάσεις τουλάχιστον για ένα χρόνο με συχνότητα δυο έως τρεις φορές την εβδομάδα. Παρά το γεγονός ότι και οι δύο ομάδες παρουσίασαν βελτίωση στις έλξεις στο μονόζυγο και στον κάθετο άλμα, τα αποτελέσματα ευνοούν ελαφρώς περισσότερο την ομάδα CrossFit(134). Σε μια άλλη σύγκριση για την αποτελεσματικότητα του CrossFit με ένα παραδοσιακό πρόγραμμα αντιστάσεων, το CrossFit παρουσιάζει βελτίωση στην μυϊκή αντοχή των κάτω άκρων. Στην ίδια έρευνα το CrossFit δεν παρουσιάζεται τόσο αποτελεσματικό στην βελτίωση της μυϊκής δύναμης όσο η παραδοσιακή ομάδα προπόνησης. Ωστόσο η ερμηνεία των αποτελεσμάτων από μια σύγκριση προγραμμάτων HIFT με παραδοσιακό πρόγραμμα αντιστάσεων χρήζει

προσοχής, δεδομένου του γεγονότος πως ο σχεδιασμός του προγράμματος HIFT θα μπορούσε να είναι εξίσου αποτελεσματικός στην βελτίωση της δύναμης(123, 135). Επιβεβαιώνοντας τα πιο πάνω αποτελέσματα οι Heinrich et al. (2012) απέδειξαν την υπεροχή της αποτελεσματικότητας των HIFT προγραμμάτων στην μυϊκή αντοχή έναντι των παραδοσιακών προγραμμάτων, επιπλέον παρουσίασε ακόμα σημαντικό εύρημα στην βελτίωση της δύναμης. Όταν ο σχεδιασμός του προγράμματος HIFT επικεντρώνεται σε ασκήσεις δύναμης, ταχύτητας και ευκινησίας, με χρόνο εκτελέσης 60-90 s, και διάλειμμα ελάχιστα δευτερόλεπτα ή ακόμα καθόλου, τότε οι συμμετέχοντες στην ομάδα HIFT παρουσίασαν σημαντικά μεγαλύτερες βελτιώσεις στην δύναμη, όπως αξιολογήθηκε στο 1RM(93).

Στα προγράμματα HIFT οι ασκήσεις συχνά οδηγούνται μέχρι το σημείο της μυϊκής εξάντλησης η οποία είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική στην πρόκληση αύξησης της μυϊκής μάζας(136) και η οποία αποτελεί μέρος της γενικής φυσικής κατάστασης συμβάλλοντας στην βελτίωση της δύναμης. Προπονήσεις HIFT μπορούν να στοχεύσουν αποκλειστικά στην βελτίωση της δύναμης, όπου οι Crawford et al. (2018) εντός πέντε προπονήσεων την εβδομάδα, τροποποίησε τις δυο έως τρεις προπονήσεις ακολουθώντας ασκήσεις δύναμης όπως καθίσματα με την μπάρα, άρσεις θανάτου, άρση ολυμπιακής μπάρας Παρόμοια συχνότητα προπόνησης με άρση βαρών ακολουθείται και στα παραδοσιακά προγράμματα βελτίωσης της δύναμης(22). Οι Tibana et al. (2016) αναφέρουν πως όταν ο στόχος της προπόνησης είναι η ανάπτυξη της δύναμης τότε ο σχεδιασμός της προπόνησης πρέπει να περιλαμβάνει μια άσκηση δύναμης η οποία θα εκτελείται από μόνη της νωρίς στην προπόνηση(137). Τα καθίσματα με μπάρα, σε συνδυασμό με τα άλματα αποτελούν συνθέτη προπόνηση η οποία έχει αποδειχθεί ως μια αποτελεσματική μέθοδος βελτίωση της μυϊκής δύναμης.

Έτσι τα προγράμματα HIFT αποτελούν αποτελεσματική στρατηγική λύση στην βελτίωση του στοιχείου της δύναμης νοουμένου ότι σχεδιασμός της προπόνησης στοχεύει στην βελτίωση της. Όταν ο στόχος είναι η βελτίωση της δύναμης, τότε χρησιμοποιούνται ασκήσεις άρσης βαρών, όπου είτε εκτελούνται είτε μόνες τους είτε σε συνδυασμό με ασκήσεις γυμναστικής σύντομης διάρκειας(121). Ωστόσο όταν εκτελούνται στην ίδια προπόνηση, οι ασκήσεις δύναμης πρέπει να προηγούνται των ασκήσεων αντοχής, εφόσον ο στόχος παραμένει η ανάπτυξη δύναμης(132).

• **Επιβάρυνση και μυϊκοί τραυματισμοί**

Η προπόνηση CrossFit ως τύπος σχήματος των προγραμμάτων HIFT, απολαμβάνει υψηλή δημοτικότητα και έχει υιοθετηθεί από μεγάλη μερίδα του παγκοσμίου αθλητικού κόσμου.

Τα προγράμματα CrossFit περιλαμβάνουν ασκήσεις άρσεις βαρών καθώς και λειτουργικές ασκήσεις οι οποίες εντάσσονται εντός ενός συνεχομένου χρονικού πλαισίου με βάση την γρήγορη μετακίνηση μεγάλων φορτίων σε μεγάλες αποστάσεις όσο πιο γρήγορα γίνεται. Τα ημερήσια προγράμματα μικρής διάρκειας και υψηλής έντασης της μεθόδου CrossFit, ενώ έχουν ευρεία υποστήριξη ως αποτελεσματικά προγράμματα άσκησης για την βελτίωση την φυσικής κατάστασης, παρουσιάζουν μεγαλύτερο κίνδυνο τραυματισμού λόγω της υψηλής έντασης και της ανταγωνιστικής φύσης τους. Διάφοροι οργανισμοί και οι εκπρόσωποι του Αμερικανικού Κολλεγίου Αθλητιατρικής (ACSM) τονίζουν τον κίνδυνο τραυματισμού σε όσους εμπλέκονται σε προγράμματα CrossFit(138). Σε δημοσίευση σχετικά με τα ακραία προγράμματα φυσικής κατάστασης, το HIFT κατηγοριοποιείται ως ένα από αυτά λόγω της δομής της προπόνησης (139). Αυτό αναφέρθηκε ως αρνητικό χαρακτηριστικό λόγω της επερχόμενης κόπωσης και του αυξημένου κινδύνου κακής εκτέλεσης των ασκήσεων που αυξάνει τον κίνδυνο τραυματισμού. Οι ασκήσεις υψηλής έντασης επιφέρουν κόπωση η οποία μπορεί να μειώσει τις ικανότητες για συγκέντρωση στους συμμετέχοντες με αποτέλεσμα την αυξημένη πιθανότητα τραυματισμού(140).

Στην πραγματικότητα όμως το ποσοστό τραυματισμού που αναφέρουν οι ερευνητές είναι μεταξύ 2,0 και 3,5 τραυματισμών ανά 1000 ώρες προπόνησης, κάτι το οποίο είναι χαμηλότερο από τις παραδοσιακές προπονήσεις(141). Σε έρευνα του ο Poston και οι συνεργάτες του (2016) συγκρίναν τον κίνδυνο τραυματισμού μεταξύ HIFT και παραδοσιακής προπόνησης, συμπεραίνοντας πως η HIFT παρουσίασε παρόμοιο ή ακόμα χαμηλότερη πιθανότητα τραυματισμού σε σχέση με την παραδοσιακή άσκηση(92). Ωστόσο η αυξημένη δημοφιλία των προγραμμάτων HIFT προσελκύει συμμετέχοντες με διαφορετικά σωματομετρικά χαρακτηριστικά όπου το 5% αυτών να παρουσιάζουν εθισμό στην άσκηση(116), και που ο εθισμός έχει συσχετιστεί με την εμφάνιση των τραυματισμών κατά την διάρκεια της άσκησης. Συγκεκριμένα οι τραυματίες ασκούμενοι είχαν πολύ περισσότερο χρόνο συμμετοχής και εμπειρία στα προγράμματα HIFT, από τα μη τραυματισμένα άτομα. Εν μέρει αυτό μπορεί να ερμηνευθεί από την επαναλαμβανόμενη εκτέλεση των εξαιρετικά πολύπλοκων τεχνικών ασκήσεων σε υψηλή ένταση(142). Επιπλέον, με την βελτίωση του επιπέδου δύναμης και της τεχνικής οι συμμετέχοντες καλούνται να εκτελέσουν περισσότερες τεχνικές ασκήσεις με βαρύτερα φορτία κάτω από συνθήκες κόπωσης, και συνεπώς οι συνθήκες αυτές συνδράμουν στην πιθανότητα τραυματισμού(143). Παρόλη της ευρεία υποστήριξη της μεθόδου CrossFit για βελτιώσεις στην γενική υγεία και την φυσική κατάσταση σε όλα τα επίπεδα, προκύπτουν κάποια ερωτήματα λόγω της φύσης του που περιέχει τον έντονο ανταγωνισμό.

Σε προηγούμενες μελέτες γίνονται αναφορές για πρόκληση ραβδομύωσης σε ασκούμενο. Ενώ άλλες αναφέρονται σε υψηλή συσχέτιση μεταξύ τραυματισμών σε ανταγωνιστικό πρόγραμμα HIIT, ωστόσο αυτή η συσχέτιση δεν παρουσιάζει στατιστική σημαντικότητα όταν προσαρμόζονται μεταβλητές όπως χρόνος πρακτικής από τους συμμετέχοντες. Αξιοσημείωτο γεγονός αποτελεί το αγωνιστικό επίπεδο των συμμετεχόντων. Αυτό επειδή η προπόνηση σε επαγγελματικό επίπεδο απαιτεί μεγαλύτερα φορτία και πολυπλοκότητα ασκήσεων σε σχέση με αυτούς που ασκούνται σε ερασιτεχνικό επίπεδο, με συνέπεια την αύξηση της πιθανότητας τραυματισμού.

Μυϊκή βλάβη και φλεγμονή κατά την άσκηση υψηλής έντασης

Μυϊκή βλάβη

• Ορισμός

Η μυϊκή βλάβη αναφέρεται στη δομική διαταραχή ή διάσπαση των μυϊκών ινών που μπορεί να συμβεί ως αποτέλεσμα άσκησης υψηλής έντασης. Όταν οι μύες υποβάλλονται σε έντονη σωματική δραστηριότητα, ιδιαίτερα σε δραστηριότητες που περιλαμβάνουν έκκεντρες συσπάσεις (επιμήκυνση του μύος υπό τάση), αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μικροσκοπική βλάβη στον μυϊκό ιστό(144). Κατά τη διάρκεια της άσκησης υψηλής έντασης, η μηχανική τάση που ασκείται στους μύες μπορεί να προκαλέσει μικρές ρήξεις ή διαταραχές στις μυϊκές ίνες. Αυτή η βλάβη πυροδοτεί μια σειρά από φυσιολογικές αποκρίσεις, συμπεριλαμβανομένης της φλεγμονής, καθώς το σώμα εργάζεται για να επισκευάσει και να ανοικοδομήσει τον προσβεβλημένο μυϊκό ιστό(145).

Η φλεγμονώδης απόκριση παίζει καθοριστικό ρόλο στη διαδικασία αποκατάστασης. Η φλεγμονή βοηθά στην απομάκρυνση των κατεστραμμένων κυτταρικών υπολειμμάτων, στην ενεργοποίηση των κυττάρων του ανοσοποιητικού και στην έναρξη της αναγέννησης νέων μυϊκών ινών. Ωστόσο, η υπερβολική ή παρατεταμένη φλεγμονή μπορεί να συμβάλει σε μυϊκό πόνο, δυσκαμψία και μειωμένη μυϊκή λειτουργία(146). Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η μυϊκή βλάβη και η φλεγμονή κατά τη διάρκεια της άσκησης υψηλής έντασης είναι προσωρινές και μέρος της φυσικής απόκρισης του σώματος στην ένταση της προπόνησης. Με επαρκή ανάπαυση, σωστή διατροφή και κατάλληλες στρατηγικές αποκατάστασης, οι μύες μπορούν να επισκευαστούν και να προσαρμοστούν, οδηγώντας σε βελτιωμένη απόδοση και ανθεκτικότητα με την πάροδο του χρόνου(147). Η βλάβη των μυών προκαλεί μείωση της συσταλτικότητας του μύος, έως και νευρομυϊκό αποκλεισμό που παρουσιάζεται σε

πιο σοβαρές μορφές βλάβης. Τα πρώιμα σημάδια βλάβης των σκελετικών μυών παρουσιάζονται σε κυτταρικό επίπεδο και περιλαμβάνουν ρήξη της του σαρκειλήμματος των μυϊκών κυττάρων και τη βλάβη σε ορισμένα σαρκομέρια. Η έντονη άσκηση μπορεί να οδηγήσει σε πρωτοβάθμια ή δευτεροβάθμια διαταραχή της συνέχειας του σαρκειλήμματος, οίδημα κυτταροσκελετική βλάβη και εξωκυτταρικές ανωμαλίες των μυοϊνιδίων. Οι αλλαγές αυτές στην δομή των μυϊκών ινών παρατηρούνται σε υγιείς νεαρούς ενήλικες μετά από τρέξιμο σπριντ ή προπόνησης με αντιστάσεις. Στην πράξη φαίνεται πως όταν ο μυς είναι εκτελεί έκκεντρη συστολή, τότε αυτή είναι υπεύθυνη για αυτούς τους τραυματισμούς(148-152).

• Αίτια πρόκλησης της μυϊκής βλάβης

Η αυξημένη διάρκεια και ένταση άσκησης οδηγούν σε αύξηση των νευροενδοκρινικών και μεταβολικών παραγόντων(153) οι οποίοι παίζουν ρόλο στην δραστηριοποίηση λευκοκυττάρων, μακροφάγων, προφλεγμονωδών και αντιφλεγμονωδών κυτοκινών και δεικτών μυϊκής βλάβης(153, 154). Η διάρκεια του διαλείμματος έχει αποδειχθεί ότι επηρεάζει την νευροενδοκρινική απόκριση όταν υπόλοιποι παράγοντες παραμένουν σταθεροί. Τα σύντομα διαλείμματα στην προπόνηση υψηλής έντασης έχουν αποδειχθεί ότι αυξάνουν το βαθμό της μυϊκής βλάβης, η οποία επίσης αυξάνει τη νευροενδοκρινική απόκριση και την αύξηση των εν λόγω δεικτών(153). Βλάβη στις μυϊκές ίνες μπορεί να προκύψουν κατά την διάρκεια της έντονης άσκησης, η οποία μπορεί να προκαλέσει την διακοπή του σαρκειληνματος, το πρήξιμο ή την διάσπαση του σαρκοσωληνικού συστήματος την παραμόρφωση των συστατικών των μυοϊνιδίων, την κυτταροσκελετική βλάβη, τις αλλαγές στην εξωκυτταρική δομή και την απελευθέρωση κυτταρικών πρωτεϊνών. Επιπλέον στην προπόνηση δύναμης γίνονται αναφορές για μυϊκή βλάβη που προκλήθηκε μετά από εξαντλητικές προπονήσεις, με έμφαση σε ασκήσεις με έκκεντρες συσπάσεις(155-157). Στην υπάρχουσα βιβλιογραφία υπάρχει μια τάση συμφωνίας πως οι έκκεντρες συσπάσεις προκαλούν υψηλότερη μυϊκή βλάβη έναντι της σύγκεντρης μυϊκής σύσπασης, όπως αυτό φαίνεται να επιβεβαιώνεται μέσω ανάλυσης εμμέσων δεικτών, είτε μέσω ανάλυσης ζημιάς των μυϊκών ινών στον ακουσμένο μυ.

Ο περιορισμός του εύρους κίνησης, η τοπική φλεγμονή, η μείωση της δύναμης και η αυξημένη ποσότητα πρωτεϊνών στο αίμα είναι δείκτες μυϊκής βλάβης μετά από προπόνηση υψηλής έντασης. Η μυοσφαιρίνη ως πρωτεΐνη που δεσμεύει το οξυγόνο στους μυς, απελευθερώνεται στην κυκλοφορία του αίματος σε αυξημένες ποσότητες μετά από μυϊκή βλάβη, η

οποία μπορεί να έχει αρνητική επίδοση στην ικανότητα του μυϊκού κυττάρου να προσαρμοσθεί σε νέα ερεθίσματα, να ανοικοδομήσει και να επισκευάσει μυϊκές ίνες και να συνθέσει κύτταρα(158). Η αξιολόγηση της μυϊκής βλάβης γίνεται κυρίως μέσω αξιολόγησης δυο δεικτών, της κρεατινικής κινάσης (CK) και της μυοσφαιρίνης όπου είναι γνωστά για τον ρόλο τους στην μυϊκή διαταραχή, με τη CK να κορυφώνεται μεταξύ 24-72 ωρών , σε αντίθεση με την μυοσφαιρίνη όπου η απόκριση της γίνεται σε πολύ μικρότερη χρονική διάρκεια (ώρες).

Αιματολογικοί δείκτες μυϊκής βλάβης

• Γαλακτική Αφυδρογονάση (LDH)

Η Γαλακτική αφυδρογονάση (LDH), ένα ένζυμο το οποίο κρυσταλλώθηκε για πρώτη φορά στους μύες των αρουραίων το 1943 αποτελείται από τέσσερις υπομονάδες (τετραμερές). Οι δύο πιο κοινές υπομονάδες είναι η LDH-M και η LDH-H που πήραν το όνομά τους από την ανακάλυψή τους στον μυϊκό και τον καρδιακό ιστό και κωδικοποιούνται από τα γονίδια LDHA και LDHB, αντίστοιχα. Αυτές οι δύο υπομονάδες μπορούν να σχηματίσουν πέντε πιθανά τετραμερή (ισοένζυμα): LDH-1 (4H), LDH-5 (4M) και τα τρία μικτά τετραμερή (LDH-2/3H1M, LDH-3/2H2M, LDH-4/1H3M). Αυτές οι πέντε ισομορφές είναι ενζυμικά παρόμοιες, αλλά παρουσιάζουν διαφορετική κατανομή στους ιστούς(159). Είναι το ένζυμο το οποίο καταλύει τη μετατροπή του γαλακτικού σε πυροσταφυλικό και αντίστροφα με την μεσολάβηση του νικοτιναμίδιου αδενίνη δινουκλεοτίδιου(160, 161). Η LDH έχει μοριακή μάζα 134 kDa και έχει ισοένζυμα, LDH1 έως LDH5. Είναι ένζυμο το οποίο υπάρχει στο κυτταρόπλασμα όλων των κυττάρων, ωστόσο η σύνθεση του ισοενζύμου ποικίλλει σε διάφορους ιστούς. Τα ισοένζυμα LDH1 κυριαρχούν στην καρδιά, στα ερυθροκύτταρα και τους νεφρούς, ενώ η LDH5 κυριαρχεί στο ήπαρ και τους σκελετικούς μύες. Τα υπόλοιπα ισοενζυμα προέρχονται κυρίως από λευκοκύτταρα, λεμφαδένες, πνεύμονα και σπλήνα(160).

Μια ευρεία γκάμα παθογενειών προκαλούν την αυξημένη συγκέντρωση της LDH στο αίμα, δημιουργώντας κάποιες φορές πλασματική εικόνα, αφού κάθε καταστροφή κυττάρων στους παραπάνω ιστούς συνοδεύεται από σημαντική αύξηση των επιπέδων της γαλακτικής αφυδρογονάσης στον ορό του αίματος που δυστυχώς λόγω της ευρείας κατανομής στον οργανισμό, η μέτρησή της αποτελεί ένα μη ειδικό δείκτη κυτταρικής βλάβης. Αυτό συμβαίνει επειδή αυτά τα μόρια είναι κυτταροπλασματικά και δεν έχουν την ικανότητα να διασχίζουν το φράγμα της σαρκοπλασματικής μεμβράνης. Γι 'αυτό το λόγο, αυξημένες συγκεντρώσεις στον ορό αυτών των μορίων χρησιμοποιούνται ως δείκτης βλάβης στους μυς, και άλλες

δομές ιστών. Σε παλαιότερες μελέτες η μεγάλη συγκέντρωση LDH είχε συνδεθεί με καθυστερημένη διάγνωση εμφράγματος του μυοκαρδίου. Ωστόσο η έλευση της μέτρησης της τροπονίνης κατέστησε μη-ειδικό και χρονοβόρο αυτό το τεστ. Η υποβίβαση της κλινικής εικόνας του LDH σχετικά με την διάγνωση του εμφράγματος στο μυοκάρδιο σήμερα είναι γνωστή και δεν χρησιμοποιείται ως απόλυτος δείκτης(162). Στην παρούσα φάση φαίνεται πως οι καλύτερες ενδείξεις της είναι η επιβεβαίωση της κλινικής αιμόλυσης και η καθοδήγηση της διαχείρισης ορισμένων όγκων ως βιοδείκτης. Μεγαλύτερη αξία φαίνεται να είναι με τους όγκους των γεννητικών κυττάρων των όρχεων. Επίσης είναι προγνωστικός δείκτης για άλλο τύπο καρκινικού όγκου. Η αμερικανική μικτή επιτροπή για την σταδιοποίηση του καρκίνου (AJCC) συνιστά μαζί με άλλους δείκτες και το δείκτη LDH για τον προσδιορισμό του δείκτη όγκου. Αναφέρει την σημαντικότητα του LDH όπου παίζει σημαντικό ρόλο στο προχωρημένο μελάνωμα, με καταστροφικά αποτελέσματα και κακή επιβίωση(163). Πάρα το πλήθος των βιοδεικτών που μελετήθηκαν τα επίπεδα του LDH φαίνεται να είναι ο καλύτερος διαθέσιμος προγνωστικός δείκτης σε μεταστατικό μελάνωμα, που οι αυξημένες τιμές συγκέντρωσης σχετίζονται με μειωμένη επιβίωση. Επιπλέον η απουσία δυνατότητας της LDH να διασχίσει την σαρκοπλασματική μεμβράνη, συμβάλλει στην μυϊκή βλάβη και στα μυϊκά κύτταρα προκαλεί απώλεια ακεραιότητας της μεμβράνης μετά από άσκηση μεγάλης έντασης(164). Η αυξημένη ενζυματική δραστηριότητα του LDH πιστεύεται ότι συμβάλλει στην νέκρωση ή την ρήξη των οργανιδίων και τη διάσπαση της κυτταρικής μεμβράνης στους ιστούς των σκελετικών μυών(165). Αυτή η αυξημένη δραστηριότητα μπορεί να παραμείνει πάνω από τα επίπεδα ηρεμίας για 72 ώρες μετά την άσκηση και να επιδεινώσει περαιτέρω την απώλεια της μυϊκής μεμβράνης και βλάβη των ιστών. Αυτό με την σειρά του, λόγω της μειωμένης νευρομυϊκής δραστηριότητας των μυϊκών κυττάρων, μπορεί να μειώσει την παραγωγή δύναμης και συνεπώς να συμβάλλει στην κακή μυϊκή απόδοση(164, 166). Έτσι η χρησιμότητα του LDH ως δείκτης εκτίμησης μυϊκής βλάβης είναι περιορισμένη, προπάντων όταν η άσκηση αποτελείται από έκκεντρες συσπάσεις. Η υποβαθμισμένη αξία του στηρίζεται στη δυνατότητα μέτρησης της κρεατινικής κινάσης η οποία είναι πιο συγκεκριμένη και ως τούτου ανώτερη ως δείκτης μυϊκής βλάβης.

• Μυοσφαιρίνη (MYO)

Η μυοσφαιρίνη είναι μια πρωτεΐνη αίμης που αποτελείται από μια πολυπεπτιδική αλυσίδα 153 αμινοξέων με μοριακό μάζα 17.800 kDa. Υπάρχει στους σκελετικούς και καρδιακούς μυς, απελευθερώνεται στην κυκλοφορία του αίματος όταν υπάρχει μυϊκός τραυματισμός.

Αποστολή της είναι να συνδέεται με το οξυγόνο το οποίο μεταφέρει στους σκελετικούς μύες και τις λείες μυϊκές ίνες. Στην κλινική της εικόνα λειτουργεί ως υψηλός δείκτης ευαισθησίας στην αξιολόγηση εμφράγματος του μυοκαρδίου. Έτσι η χρήση της μπορεί να είναι ως ένα καλό συμπλήρωμα στην ηλεκτροκαρδιογραφία για την αποτελεσματικότερη έγκαιρη διάγνωση εμφράγματος του μυοκαρδίου. Τα επίπεδα συγκέντρωσης ξεπερνούν τα φυσιολογικά όρια περίπου σε 2 ώρες, φτάνοντας την κορύφωση περίπου εντός 6 έως 9 ωρών. Η επαναφορά εντός των φυσιολογικών ορίων επέρχεται σε 24 έως 36 ώρες μετά το έμφραγμα. Το μικρό μοριακό της μέγεθος επιτρέπει στη μυοσφαιρίνη να μετατοπίζεται γρήγορα στην συστηματική κυκλοφορία του αίματος χωρίς να περνά από τα λεμφαγγεία. Το κανονικό επίπεδο της μυοσφαιρίνης είναι περίπου 25% υψηλότερη σε άνδρες παρά στις γυναίκες(167). Σε καταστάσεις όπως η νεφρική ανεπάρκεια ή ο μυϊκός τραυματισμός μπορούν τα επίπεδα της μυοσφαιρίνης να αυξηθούν δημιουργώντας μια ψευδή εικόνα για οξύ έμφραγμα του μυοκαρδίου. Σε ασθενείς με έμφραγμα του μυοκαρδίου, το επίπεδο της μυοσφαιρίνης θα μπορούσε να αυξηθεί περίπου 10 φορές πάνω από το ανώτερο όριο του φυσιολογικού. Παρόλα αυτά η χρησιμότητα της παρακολούθησης των επιπέδων της μυοσφαιρίνης μπορεί να αποτελέσει ως βοήθημα στην αξιολόγηση της θρομβολυτικής θεραπείας.

Η μυοσφαιρίνη υπάρχει στον καρδιακό και σκελετικό μυ. Έτσι σε άτομα με καρδιακό έμφραγμα που υποβλήθηκαν σε καρδιοχειρουργική επέμβαση προκαλείται απελευθέρωση της μυοσφαιρίνης από τον καρδιακό μυ, ενώ άτομα που έχουν προβεί εξαντλητική άσκηση ή είχαν τραυματισμό των σκελετικών μυών ή είναι γενετικά φορείς προοδευτικής μυϊκής δυστροφίας, μπορούν να απελευθερώσουν μυοσφαιρίνη από τους σκελετικούς μυς(168, 169)

• Κρεατινική κινάση (CK)

Η κρεατινική κινάση (CK) είναι ένα ένζυμο που βρίσκεται σε διάφορους ιστούς του σώματος, συμπεριλαμβανομένης της καρδιάς, του εγκεφάλου και των σκελετικών μυών. Αποτελεί σημαντικό συστατικό στη διαδικασία παραγωγής ενέργειας, καθώς συμβάλλει στη μεταφορά ενέργειας από το ένα μόριο στο άλλο. Τα αυξημένα επίπεδα της CK στο αίμα μπορεί να αποτελούν ένδειξη μυϊκής βλάβης ή νόσου, όπως καρδιακή προσβολή, μυϊκή βλάβη ή ορισμένους τύπους μυϊκών διαταραχών. Ως εκ τούτου, η μέτρηση των επιπέδων της CK είναι μια κοινή διαγνωστική εξέταση για διάφορες ιατρικές καταστάσεις. Κατά την κλινική αξιολόγηση υπάρχουν τρεις κύριοι τύποι ενζύμων κρεατινικής κινάσης (CK) στο ανθρώπινο σώμα. 1) CK-MM (μυϊκή CK): Αυτή είναι η πιο κοινή μορφή της CK και βρίσκεται κυρίως

στους σκελετικούς μύες. Τα αυξημένα επίπεδα της CK-MM στο αίμα μπορεί να υποδηλώνουν μυϊκή βλάβη. 2) CK-BB (CK εγκεφάλου): Αυτή η μορφή της CK βρίσκεται κυρίως στον εγκέφαλο και το κεντρικό νευρικό σύστημα. Τα αυξημένα επίπεδα της CK-BB μπορεί να υποδηλώνουν εγκεφαλική βλάβη. 3) CK-MB (καρδιακή CK): Αυτή η μορφή της CK βρίσκεται κυρίως στον καρδιακό μυ και αποτελεί δείκτη για καρδιακή βλάβη. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι διάφορες μορφές της CK έχουν διαφορετικά πρότυπα αύξησης στο αίμα σε διάφορες ιατρικές καταστάσεις, επομένως ο συγκεκριμένος τύπος της CK που μετράτε μπορεί να είναι σημαντικός για τον προσδιορισμό της αιτίας των αυξημένων επιπέδων CK.

Μεταβολές στα επίπεδα συγκεντρώσεις στο αίμα μπορεί να παρουσιαστούν ανάλογα το είδος της φυσικής δραστηριότητας που μεσολάβησε. Το φυσιολογικό εύρος των επιπέδων CK στο αίμα ποικίλλει ανάλογα με το εργαστήριο, αλλά γενικά κυμαίνεται από 22 έως 198 U/L. Μετά την άσκηση, τα επίπεδα της CK στο αίμα μπορεί να αυξηθούν(170). Το ακριβές ποσό της αύξησης εξαρτάται από τον τύπο και την ένταση της άσκησης και το επίπεδο φυσικής κατάστασης του ατόμου. Μια μέτρια αύξηση (100-150 U/L) των επιπέδων της CK είναι φυσιολογική μετά την άσκηση και συνήθως επανέρχεται στο φυσιολογικό εντός 24 έως 72 ωρών. Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα αυξημένα επίπεδα CK μετά την άσκηση μπορεί να αποτελούν ένδειξη μυϊκής βλάβης.

Επίσης σημαντικό είναι ότι τα αυξημένα επίπεδα CK μπορούν να υποδηλώνουν διάφορες ιατρικές καταστάσεις, όπως καρδιακή προσβολή, μυϊκές παθήσεις και προβλήματα στο σπύκωτι ή στα νεφρά, γι' αυτό είναι σημαντική η παροχή υγειονομικής περίθαλψης για μια σωστή διάγνωση.

• Δομικές προσαρμογές του σκελετικού μύος ως απόκριση στην ασκησιογενή μυϊκή βλάβη

Ο σκελετικός μύς είναι ένας εξαιρετικά ευπροσάρμοστος ιστός που ανταποκρίνεται σε διάφορα ερεθίσματα, όπως η άσκηση, η μηχανική φόρτιση και η μυϊκή βλάβη. Η μυϊκή βλάβη μπορεί να προκληθεί από έντονη άσκηση ή από εξωτερικό τραύμα και μπορεί να οδηγήσει σε δομικές προσαρμογές των μυϊκών ινών.

Μελέτες έχουν δείξει ότι η μυϊκή βλάβη μπορεί να οδηγήσει σε δομικές προσαρμογές στους σκελετικούς μύες. Μια μελέτη των Hyldahl et.al (2014) έδειξε ότι μετά από μια περίοδο έκκεντρης άσκησης, υπήρξε αύξηση του μεγέθους των μυϊκών ινών, η οποία πιθανότατα οφειλόταν σε αύξηση της πρωτεϊνικής σύνθεσης. Αυτή η αύξηση της πρωτεϊνοσύνθεσης

συνοδευόταν από αύξηση του αριθμού των μυοπυρήνων, υποδεικνύοντας ότι οι μυϊκές ίνες είχαν συγχωνευθεί με δορυφορικά κύτταρα για να σχηματίσουν νέες μυϊκές ίνες(171).

Σε μια άλλη μελέτη, ο Goldspink (2003) διαπίστωσε ότι η μυϊκή βλάβη που προκλήθηκε από έκκεντρη άσκηση οδήγησε σε αύξηση της έκφρασης γονιδίων που εμπλέκονται στη μυϊκή ανάπτυξη και επιδιόρθωση των μυϊκών ινών. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε ρύθμιση των γονιδίων που εμπλέκονται στην ενεργοποίηση των δορυφορικών κυττάρων, στην υπερτροφία των μυϊκών ινών και στην αναδιαμόρφωση. Αυτό υποδηλώνει ότι η μυϊκή βλάβη μπορεί να διεγείρει την ανάπτυξη και την επιδιόρθωση του μυϊκού ιστού(172).

Εκτός από αυτές τις μοριακές αλλαγές, η μυϊκή βλάβη μπορεί επίσης να οδηγήσει σε αλλαγές στην αρχιτεκτονική των μυϊκών ινών. Μια μελέτη των Proske και Morgan (2001) διαπίστωσε ότι μετά από έκκεντρη άσκηση υπήρξε αύξηση του αριθμού των σαρκομερίων σε σειρά εντός των μυϊκών ινών. Αυτή η αύξηση των σαρκομερίων σε σειρά θα μπορούσε να συμβάλει στην αύξηση του μήκους των μυϊκών ινών και ενδεχομένως να αυξήσει την ικανότητα παραγωγής ισχύος.

Μια άλλη μελέτη των Friden et al. (1983) διαπίστωσε ότι η μυϊκή βλάβη που προκλήθηκε από έκκεντρη άσκηση είχε ως αποτέλεσμα τη μετατροπή προς τις μυϊκές ίνες βραδύτερης συστολής. Αυτή η μετατροπή μυϊκών ινών προς τις ίνες βραδύτερης σύσπασης θα μπορούσε να οφείλεται σε μια επιλεκτική συμπερίληψη των ινών βραδύτερης σύσπασης κατά τη διαδικασία αποκατάστασης ή θα μπορούσε να είναι αποτέλεσμα της διαφοροποίησης των δορυφορικών κυττάρων σε ίνες βραδύτερης σύσπασης.

Συμπερασματικά, η επαγόμενη μυϊκή βλάβη μπορεί να οδηγήσει σε δομικές προσαρμογές στους σκελετικούς μύες, συμπεριλαμβανομένης της αύξησης του μεγέθους των μυϊκών ινών, των αλλαγών στη γονιδιακή έκφραση, των αλλαγών στην αρχιτεκτονική των μυϊκών ινών και της μετατόπισης προς μυϊκές ίνες βραδύτερης σύσπασης. Αυτές οι προσαρμογές οφείλονται πιθανότατα σε έναν συνδυασμό μοριακών και κυτταρικών διεργασιών, συμπεριλαμβανομένης της πρωτεϊνοσύνθεσης, της ενεργοποίησης και διαφοροποίησης των δορυφορικών κυττάρων.

• Πρόκληση μυϊκής βλάβης σε προγράμματα άσκησης υψηλής έντασης

Τα προγράμματα άσκησης υψηλής έντασης έχουν γίνει όλο και πιο δημοφιλή μεταξύ των αθλητών και των λάτρεις της γυμναστικής. Αυτά τα προγράμματα συχνά περιλαμβάνουν υψηλό όγκο άσκησης, με έντονες προπονήσεις που αποσκοπούν στην πρόκληση μυϊκής βλάβης για την προώθηση της μυϊκής υπερτροφίας και της αύξησης της δύναμης. Αρκετές

μελέτες έχουν διερευνήσει τις επιδράσεις των προγραμμάτων άσκησης υψηλής έντασης στη μυϊκή βλάβη. Μέχρι τώρα έχει διαφανεί ότι ένα πρόγραμμα προπόνησης αντίστασης υψηλού όγκου και υψηλής έντασης μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική αύξηση των δεικτών μυϊκής βλάβης, συμπεριλαμβανομένης της CK και της μυοσφαιρίνης, μετά από μία μόνο προπόνηση, και με ένα πρόγραμμα διαλειμματικής προπόνησης υψηλής έντασης (HIIT) διάρκειας 12 εβδομάδων μπορούν να υπάρξουν σημαντικές αυξήσεις στα επίπεδα της CK, που υποδηλώνουν μυϊκή βλάβη.

Ο τύπος της άσκησης που εκτελείται σε ένα πρόγραμμα υψηλής έντασης μπορεί επίσης να επηρεάσει την έκταση της μυϊκής βλάβης. Στη βιβλιογραφία υπάρχουν στοιχεία ότι η έκκεντρη άσκηση, όπως η έκκεντρη φάση μιας άσκησης αντίστασης, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά μεγαλύτερη μυϊκή βλάβη σε σύγκριση με τη συγκεντρωτική άσκηση. Επίσης, οι πλειομετρικές ασκήσεις υψηλής έντασης, οι οποίες περιλαμβάνουν ταχείες μυϊκές συσπάσεις, μπορούν επίσης να επιφέρουν σημαντικές αυξήσεις στα επίπεδα της CK, γεγονός που υποδηλώνει μυϊκή βλάβη. Εκτός από την πρόκληση μυϊκής βλάβης, τα προγράμματα άσκησης υψηλής έντασης μπορούν επίσης να οδηγήσουν σε άλλες προσαρμογές στους σκελετικούς μύες. Μια μελέτη διαπίστωσε ότι ένα πρόγραμμα προπόνησης αντίστασης υψηλής έντασης οδήγησε σε σημαντικές αυξήσεις στη μυϊκή υπερτροφία, τη δύναμη και την παραγωγή ισχύος, εκτός από αυξήσεις στους δείκτες μυϊκής βλάβης.

Έχουν προταθεί διάφορες στρατηγικές για τη μείωση της έκτασης της μυϊκής βλάβης που προκαλείται από προγράμματα άσκησης υψηλής έντασης. Μια προσέγγιση είναι η σταδιακή αύξηση της έντασης και του όγκου του προγράμματος άσκησης, επιτρέποντας στο σώμα να προσαρμοστεί στην πίεση που ασκείται στους μυς. Μια άλλη προσέγγιση είναι η ενσωμάτωση στρατηγικών αποκατάστασης, όπως το foam rolling, οι διατάσεις και το μασάζ, για τη μείωση του μυϊκού πόνου και την προώθηση της αποκατάστασης. Ορισμένες μελέτες έχουν επίσης διερευνήσει τη χρήση συμπληρωμάτων διατροφής, όπως αμινοξέα διακλαδισμένης αλυσίδας και αντιοξειδωτικά, για τη μείωση της μυϊκής βλάβης και την προώθηση της αποκατάστασης(173, 174). Συνολικά, τα προγράμματα άσκησης υψηλής έντασης μπορούν να προκαλέσουν σημαντική μυϊκή βλάβη, ιδίως όταν η άσκηση περιλαμβάνει έκκεντρες συσπάσεις ή ταχείες μυϊκές συσπάσεις. Αυτά τα προγράμματα μπορούν επίσης να οδηγήσουν σε άλλες προσαρμογές στους σκελετικούς μύες, συμπεριλαμβανομένης της μυϊκής υπερτροφίας, της δύναμης και της αντοχής. Στρατηγικές όπως η σταδιακή αύξηση της έντασης και του όγκου της άσκησης, οι στρατηγικές αποκατάστασης και τα συμπληρώματα διατροφής

μπορεί να είναι αποτελεσματικές στη μείωση της μυϊκής βλάβης και στην προώθηση της αποκατάστασης.

• **Επίδραση μυϊκής βλάβης στην αθλητική απόδοση**

Τα αθλήματα οπου περιλαμβάνουν επαναλαμβανόμενες ή υψηλής έντασης κινήσεις, όπως το τρέξιμο, τα άλματα και η άρση βαρών συχνά παρουσιάζουν μυϊκές βλάβες. Η έκταση της μυϊκής βλάβης μπορεί να ποικίλλει, από μικρές μικροτραυματισμούς έως σοβαρές μυϊκές διατάσεις ή ακόμη και πλήρεις ρήξεις. Ενώ κάποια μυϊκή βλάβη είναι αναπόφευκτη στα αθλήματα, ο αντίκτυπος που έχει στην αθλητική απόδοση εξακολουθεί να αποτελεί πεδίο συνεχιζόμενης έρευνας.

Μελέτες έχουν δείξει ότι η μυϊκή βλάβη μπορεί να έχει τόσο θετικές όσο και αρνητικές επιπτώσεις στην αθλητική απόδοση. Από τη μία πλευρά, η μυϊκή βλάβη πιστεύεται ότι αποτελεί σημαντικό ερέθισμα για τη μυϊκή ανάπτυξη και προσαρμογή, η οποία μπορεί τελικά να οδηγήσει σε βελτιωμένη αθλητική απόδοση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η μυϊκή βλάβη πυροδοτεί μια διαδικασία γνωστή ως μυϊκή αναδιαμόρφωση, η οποία περιλαμβάνει τη διάσπαση και την αποκατάσταση του μυϊκού ιστού. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, οι μυϊκές ίνες αναδομούνται ώστε να είναι ισχυρότερες και πιο ανθεκτικές σε μελλοντικές βλάβες, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη δύναμη και ισχύ.

Από την άλλη πλευρά, η υπερβολική μυϊκή βλάβη μπορεί επίσης να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην αθλητική απόδοση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η μυϊκή βλάβη μπορεί να οδηγήσει σε μυϊκό πόνο, φλεγμονή και μειωμένη μυϊκή λειτουργία, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει την ικανότητα ενός αθλητή να αποδώσει τα μέγιστα. Για παράδειγμα, ο μυϊκός πόνος μπορεί να περιορίσει το εύρος κίνησης ενός αθλητή, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την ικανότητά του να εκτελεί ορισμένες κινήσεις. Επιπλέον, η φλεγμονή μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη μυϊκή δύναμη και αντοχή, η οποία μπορεί να επηρεάσει τη συνολική απόδοση ενός αθλητή.

Ο βαθμός της μυϊκής βλάβης που απαιτείται για να προκληθεί μια προσαρμοστική αντίδραση εξακολουθεί να είναι ένας τομέας συνεχιζόμενης έρευνας. Ορισμένες μελέτες δείχνουν ότι ένα ορισμένο επίπεδο μυϊκής βλάβης είναι απαραίτητο για τη μυϊκή ανάπτυξη και προσαρμογή ενώ άλλες δείχνουν ότι η μυϊκή βλάβη μπορεί να μην είναι απαραίτητη για τη μυϊκή ανάπτυξη και προσαρμογή. Αυτή η ασυμφωνία μπορεί να οφείλεται σε διαφορές στους τύπους της μυϊκής βλάβης που μελετώνται ή στις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της μυϊκής βλάβης.

Τέλος, η μυϊκή βλάβη μπορεί να έχει τόσο θετικές όσο και αρνητικές επιπτώσεις στην αθλητική απόδοση. Ενώ κάποιος βαθμός μυϊκής βλάβης πιστεύεται ότι είναι απαραίτητος για τη μυϊκή ανάπτυξη και προσαρμογή, η υπερβολική μυϊκή βλάβη μπορεί να οδηγήσει σε μυϊκό πόνο, φλεγμονή και μειωμένη μυϊκή λειτουργία. Απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την καλύτερη κατανόηση του βέλτιστου βαθμού μυϊκής βλάβης που απαιτείται για τη μυϊκή ανάπτυξη και προσαρμογή, καθώς και των καλύτερων στρατηγικών για τη διαχείριση της μυϊκής βλάβης για τη βελτιστοποίηση της αθλητικής απόδοσης.

Φλεγμονή κατά την άσκηση υψηλής έντασης

Δείκτες φλεγμονής

• C - αντιδρώσα πρωτεΐνη (CRP)

Η C-αντιδρώσα πρωτεΐνη (CRP) είναι μια πρωτεΐνη οξείας φάσης που παράγεται από το ήπαρ ως απάντηση σε φλεγμονή. Τα τελευταία χρόνια, η CRP έχει κερδίσει την προσοχή ως βιοδείκτης για ένα ευρύ φάσμα κλινικών καταστάσεων, συμπεριλαμβανομένων των καρδιαγγειακών παθήσεων, των λοιμώξεων και των αυτοάνοσων διαταραχών(175, 176). Αυξημένα επίπεδα CRP έχουν συσχετισθεί με καρδιαγγειακά νοσήματα και συγκεκριμένα με τον αυξημένο κίνδυνο αθηροσκλήρωσης, εμφράγματος του μυοκαρδίου και εγκεφαλικού επεισοδίου(177). Η CRP έχει προταθεί ως δείκτης για τον εντοπισμό ατόμων με αυξημένο κίνδυνο καρδιαγγειακής νόσου και ως εργαλείο για την παρακολούθηση της αποτελεσματικότητας των παρεμβάσεων που αποσκοπούν στη μείωση του κινδύνου καρδιαγγειακής νόσου(178). Τα επίπεδα της CRP μπορεί να είναι αυξημένα σε διάφορες αυτοάνοσες διαταραχές, συμπεριλαμβανομένης της ρευματοειδούς αρθρίτιδας, του συστηματικού ερυθηματώδους λύκου και της αγγειίτιδας(179). Τα αυξημένα επίπεδα CRP μπορεί να είναι χρήσιμα για την παρακολούθηση της δραστηριότητας της νόσου και την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της θεραπείας. Η δοκιμασία hs-CRP είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος για τη μέτρηση των επιπέδων CRP στην κλινική πρακτική λόγω της υψηλής ευαισθησίας και ειδικότητάς της. Η ερμηνεία των επιπέδων εξαρτάται από το κλινικό πλαίσιο. Σε γενικές γραμμές, οι Pearson et. al (2003) παρέχουν γενικές κατευθυντήριες γραμμές για τα επίπεδα CRP στο πλαίσιο της αξιολόγησης του κινδύνου καρδιαγγειακής νόσου όπου τα επίπεδα CRP κάτω από 1 mg/L θεωρούνται φυσιολογικά, ενώ τα επίπεδα μεταξύ 1 και 3 mg/L θεωρούνται ενδιάμεσου κινδύνου και τα επίπεδα άνω των 3 mg/l θεωρούνται υψηλού κινδύνου. Ωστόσο, η ερμηνεία των επιπέδων CRP θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη το κλινικό

ιστορικό του ασθενούς, συμπεριλαμβανομένων άλλων παραγόντων κινδύνου για καρδιαγγειακά νοσήματα. Παρά τις πιθανές κλινικές εφαρμογές της CRP, υπάρχουν αρκετοί περιορισμοί στη χρήση της ως βιοδείκτη. Ένας σημαντικός περιορισμός είναι η έλλειψη ειδικότητας της CRP για οποιαδήποτε συγκεκριμένη ασθένεια ή πάθηση. Αυξημένα επίπεδα CRP μπορούν να παρατηρηθούν σε ένα ευρύ φάσμα καταστάσεων, τόσο φλεγμονωδών όσο και μη φλεγμονωδών(180). Επιπλέον, τα επίπεδα της CRP μπορεί να επηρεάζονται από διάφορους παράγοντες, όπως η ηλικία, το φύλο και τα φάρμακα, καθιστώντας την ερμηνεία των επιπέδων της CRP δύσκολη σε ορισμένες περιπτώσεις. Άλλος περιορισμός της CRP ως βιοδείκτη είναι ο σχετικά σύντομος χρόνος ημιζωής της, ο οποίος μπορεί να περιορίσει τη χρησιμότητά της σε ορισμένα κλινικά σενάρια(180). Τα επίπεδα της CRP μπορεί να αυξηθούν ταχέως ως απόκριση σε οξεία φλεγμονή, αλλά και να μειωθούν ταχέως όταν η υποκείμενη φλεγμονή έχει υποχωρήσει. Αυτό μπορεί να καταστήσει δύσκολη τη χρήση της CRP ως δείκτη για την παρακολούθηση χρόνιων παθήσεων.

• **Ιντερλευκίνη-1 (IL-1)**

Η ιντερλευκίνη-1 (IL-1) είναι μια προφλεγμονώδης κυτταροκίνη που παράγεται από τα κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος ως απάντηση σε λοίμωξη, τραυματισμό ή άλλα ερεθίσματα. Διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη ρύθμιση της φλεγμονής και των ανοσολογικών αποκρίσεων. Παράγεται από διάφορα κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος, συμπεριλαμβανομένων των μακροφάγων, των μονοκυττάρων και των δενδριτικών κυττάρων. Έχει δύο ισομορφές, την IL-1α και την IL-1β, οι οποίες προσδένονται στον ίδιο υποδοχέα, τον IL-1R1. Η IL-1 ενεργοποιεί διάφορα σηματοδοτικά μονοπάτια, συμπεριλαμβανομένων των NF-κΒ και MAPK, οδηγώντας στην παραγωγή άλλων προφλεγμονωδών κυτταροκινών, χημειοκινών και μορίων προσκόλλησης

Εμπλέκεται στη ρύθμιση διαφόρων βιολογικών διεργασιών, συμπεριλαμβανομένων των έμφυτων και προσαρμοστικών ανοσολογικών αποκρίσεων, της αιμοποίησης και της επιδιόρθωσης των ιστών. Διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην παθογένεια διαφόρων φλεγμονωδών και αυτοάνοσων νοσημάτων, συμπεριλαμβανομένης της ρευματοειδούς αρθρίτιδας, της συστημικής αρθρίτιδας και του συστηματικού ερυθρεματοειδούς λύκου. Μελέτες αναφέρουν πως συμμετέχει στην ανάπτυξη της αθηροσκλήρωσης και των καρδιαγγειακών παθήσεων, καθώς και στην εξέλιξη του καρκίνου.

Η IL-1 έχει αποδειχθεί ότι αποτελεί χρήσιμο βιοδείκτη για τη διάγνωση και την παρακολούθηση της δραστηριότητας της νόσου σε διάφορες καταστάσεις. Επιπλέον, έχουν αναπτυχθεί

αναστολείς της IL-1 ως θεραπευτικοί παράγοντες για τη θεραπεία φλεγμονωδών και αυτοάνοσων νοσημάτων.

Η αναστολή της IL-1 με τη χρήση IL-1Ra έχει αναδειχθεί ως μια πολλά υποσχόμενη θεραπευτική προσέγγιση για διάφορες φλεγμονώδεις και αυτοάνοσες νόσους. Η IL-1Ra έχει εγκριθεί για τη θεραπεία της ρευματοειδούς αρθρίτιδας, της ουρικής αρθρίτιδας και των περιοδικών συνδρόμων που σχετίζονται με την κρουοπυρίνη. Η αναστολή της IL-1 έχει επίσης μελετηθεί ως πιθανή θεραπεία για άλλες ασθένειες, όπως ο διαβήτης τύπου 2, η νόσος του Alzheimer και ο καρκίνος(181).

Η συμπεριφορά της IL-1 κατά τη διάρκεια και μετά από την άσκηση παρουσιάζει ενδιαφέροντα ευρήματα. Ενώ κατά την ηρεμία το επίπεδο της IL-1 είναι χαμηλό, κατά τη διάρκεια της άσκησης παρατηρείται αύξηση του IL-1 στον οργανισμό. Η αύξηση αυτή συνδέεται με τη φυσιολογική αντίδραση του οργανισμού στο στρες που προκαλεί η άσκηση. Επίσης, η ένταση και ο τύπος της άσκησης επηρεάζουν το επίπεδο της IL-1 που παράγεται.

Μετά την άσκηση, παρατηρείται τάση μείωσης της IL-1, καθώς ο οργανισμός επανέρχεται στην ομοιόσταση. Αυτή η μείωση μπορεί να είναι μέρος της διαδικασίας ανάκτησης και αναδόμησης του σώματος μετά από φυσική δραστηριότητα. Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι οι μεταβολές της IL-1 κατά την άσκηση εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, περιλαμβανομένης της φυσικής κατάστασης του ατόμου, της έντασης και του τύπου της άσκησης και της γενικής υγείας του. Η κατανόηση των διαδικασιών αυτών μπορεί να βοηθήσει στο να αναδειχθεί η σημασία της φυσικής δραστηριότητας στον έλεγχο της φλεγμονώδους αντίδρασης.

• Παράγοντας νέκρωσης όγκων-α (TNF-α)

Η φλεγμονή είναι μια αντίδραση του σώματος σε διάφορους ερεθισμούς, όπως ο τραυματισμός, οι λοιμώξεις ή η υψηλή ένταση άσκησης. Μία από τις πρωτεΐνες που συμβάλλει στην εμφάνιση της φλεγμονής είναι ο παράγοντας νέκρωσης όγκων άλφα (TNF-α), ο οποίος ανήκει στην κατηγορία των κυτταροκινών. Αυτή η πρωτεΐνη παράγεται από κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος και έχει κρίσιμο ρόλο στη ρύθμιση του ανοσοποιητικού συστήματος, στη διαδικασία της φλεγμονής και στην ανάπτυξη διαφόρων ασθενειών. Η παρουσία υψηλών επιπέδων TNF-α συνδέεται με διάφορες παθήσεις που συνδέονται με φλεγμονή, όπως οι καρδιαγγειακές ασθένειες. Ο TNF-α παράγεται κυρίως από ενεργοποιημένα μακροφάγα, αλλά μπορεί επίσης να παραχθεί και από άλλους τύπους κυττάρων, όπως τα T κύτ-

ταρα, τα Β κύτταρα και τα κύτταρα φυσικών φονέων. Είναι μια προφλεγμονώδης κυτταροκίνη που εμπλέκεται στην παθογένεια πολλών φλεγμονωδών νόσων, συμπεριλαμβανομένης της ρευματοειδούς αρθρίτιδας (ΡΑ), της ψωρίασης και της νόσου του Crohn(182). Στη ΡΑ, ο TNF-α συμβάλλει στη φλεγμονή και την καταστροφή των αρθρώσεων προωθώντας την παραγωγή άλλων φλεγμονωδών κυτταροκινών και ενεργοποιώντας το ανοσοποιητικό σύστημα. Οι θεραπείες κατά του TNF-α έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικές στη θεραπεία της ΡΑ και άλλων φλεγμονωδών ασθενειών μέσω του αποκλεισμού της δραστηριότητας του TNF-α(183).

Ο TNF-α έχει ποικίλες βιολογικές επιδράσεις, συμπεριλαμβανομένης της επαγωγής φλεγμονής, της ενεργοποίησης των ανοσοποιητικών κυττάρων και της ρύθμισης του κυτταρικού θανάτου. Μπορεί επίσης να προκαλέσει πυρετό, μυϊκή εξάντληση και καχεξία, η οποία είναι ένα σύνδρομο εξάντλησης που παρατηρείται συνήθως σε ασθενείς με καρκίνο.

Η άσκηση υψηλής έντασης, όπως η προπόνηση με αντιστάσεις ή το σπριντ, είναι γνωστό ότι προκαλεί μυϊκή βλάβη, φλεγμονή και πόνο. Ο TNF-α έχει συσχετισθεί με παθογένεια της μυϊκής βλάβης που προκαλείται από την άσκηση, καθώς απελευθερώνεται από ενεργοποιημένα ανοσοκύτταρα σε απόκριση σε μυϊκό τραυματισμό. Ο TNF-α μπορεί να προάγει τη μυϊκή φλεγμονή και να συμβάλλει στη στρατολόγηση ανοσοποιητικών κυττάρων στον κατεστραμμένο μυϊκό ιστό. Επιπλέον, ο TNF-α μπορεί να διεγείρει την παραγωγή άλλων προφλεγμονωδών κυτταροκινών, όπως η ιντερλευκίνη-1β (IL-1β) και η ιντερλευκίνη-6 (IL-6), οι οποίες μπορούν να επιδεινώσουν τη φλεγμονώδη απόκριση(184).

Μελέτες έχουν διερευνήσει τη σχέση μεταξύ του TNF-α και της μυϊκής βλάβης που προκαλείται από την άσκηση. Μελετη αναφέρει πως τα επίπεδα του TNF-α αυξήθηκαν ως απόκριση στην έκκεντρη άσκηση και συσχετίστηκαν με το βαθμό της μυϊκής βλάβης(185). Ομοίως, οι Peake et al. (2010) ανέφεραν ότι τα επίπεδα TNF-α ήταν αυξημένα μετά από μια προπόνηση αντίστασης υψηλής έντασης και παρέμειναν αυξημένα έως και 48 ώρες μετά την άσκηση. Τα ευρήματα αυτά υποδηλώνουν ότι ο TNF-α μπορεί να διαδραματίζει ρόλο στη φλεγμονώδη απόκριση στη μυϊκή βλάβη που προκαλείται από την άσκηση.

Ενώ ο TNF-α θεωρείται συνήθως μια προφλεγμονώδης κυτταροκίνη, έχει επίσης προταθεί ότι έχει ευεργετικές επιδράσεις στην απόδοση κατά την άσκηση. Για παράδειγμα, ο TNF-α μπορεί να διεγείρει την παραγωγή άλλων κυτταροκινών, όπως η IL-6, οι οποίες έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνουν την ικανότητα άσκησης ενισχύοντας την πρόσληψη γλυκόζης και την οξειδωση του λίπους(186). Επιπλέον, ο TNF-α μπορεί να προάγει την ενεργοποίηση και τον πολλαπλασιασμό των δορυφορικών κυττάρων, τα οποία εμπλέκονται στη μυϊκή αναγέννηση

και επιδιόρθωση(187).

Αρκετές μελέτες έχουν διερευνήσει τη σχέση μεταξύ του TNF-α και της απόδοσης κατά την άσκηση. Για παράδειγμα, οι Fischer et al. (2006). (8) διαπίστωσαν ότι τα επίπεδα του TNF-α συσχετίστηκαν θετικά με τη μυϊκή δύναμη και ισχύ σε μια ομάδα ανδρών αθλητών. Άλλη έρευνα αναφέρει πως ότι υψηλότερα επίπεδα TNF-α στην αρχική κατάσταση συσχετίστηκαν με μεγαλύτερη βελτίωση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (VO₂max) μετά από παρέμβαση άσκησης σε ηλικιωμένους ενήλικες(188).

Τα ευρήματα αυτά υποδηλώνουν ότι ο TNF-α μπορεί να έχει ευεργετική επίδραση στην απόδοση κατά την άσκηση, αν και οι μηχανισμοί που διέπουν αυτές τις επιδράσεις δεν είναι ακόμη πλήρως κατανοητοί.

• **Ιντερλευκίνη-6 (IL-6)**

Η ιντερλευκίνη-6 (IL-6) είναι μια κυτταροκίνη που παράγεται από διάφορα κύτταρα, συμπεριλαμβανομένων των σκελετικών μυϊκών κυττάρων, ως απόκριση στην άσκηση. Η IL-6 έχει αποδειχθεί ότι έχει τόσο προ φλεγμονώδη όσο και αντιφλεγμονώδη αποτελέσματα και ο ρόλος της στη φλεγμονή που προκαλείται από την άσκηση είναι πολύπλοκος και πολύπλευρος.

Μελέτες αναφέρουν αύξηση των επιπέδων της IL-6 στην κυκλοφορία μετά από άσκηση υψηλής έντασης. Μελέτη των Petersen και Pedersen (2005) διαπίστωσε ότι τα επίπεδα της IL-6 αυξήθηκαν έως και 100 φορές κατά τη διάρκεια και μετά από παρατεταμένη άσκηση και ότι η αύξηση αυτή ήταν μεγαλύτερη με την άσκηση υψηλής έντασης σε σύγκριση με την άσκηση χαμηλής έντασης, μια άλλη μελέτη των Suzuki et al. (2002) διαπίστωσε ότι τα επίπεδα της IL-6 ήταν αυξημένα μετά από εξαντλητική άσκηση, με το μέγεθος της αύξησης να εξαρτάται από την ένταση και τη διάρκεια της άσκησης.

Η αύξηση των επιπέδων της IL-6 με την άσκηση υψηλής έντασης θεωρείται ότι οφείλεται στην απελευθέρωση της IL-6 από τα σκελετικά μυϊκά κύτταρα, τα οποία ενεργοποιούνται από το στρες και τη βλάβη που προκαλούνται από την άσκηση. Η IL-6 μπορεί στη συνέχεια να δράσει σε διάφορους ιστούς, συμπεριλαμβανομένων των σκελετικών μυών, του λιπώδους ιστού και του ήπατος, για να μεσολαβήσει σε διάφορες φυσιολογικές αποκρίσεις. Έχει αποδειχθεί ότι η IL-6 αυξάνει την πρόσληψη γλυκόζης και την οξείδωση των λιπαρών οξέων στους σκελετικούς μύες και διεγείρει την απελευθέρωση γλυκόζης και λιπαρών οξέων από τον λιπώδη ιστό και το ήπαρ.

Η IL-6 έχει επίσης αποδειχθεί ότι έχει αντιφλεγμονώδη δράση και μπορεί να συμβάλει στον

περιορισμό της έκτασης της φλεγμονής που προκαλείται από την άσκηση. Η IL-6 μπορεί να διεγείρει την παραγωγή αντιφλεγμονωδών κυτταροκινών, όπως η IL-10, η οποία μπορεί να βοηθήσει στην επίλυση της φλεγμονής και στην προώθηση της αποκατάστασης των ιστών. Επιπλέον, η IL-6 μπορεί να διεγείρει τη στρατολόγηση ανοσοποιητικών κυττάρων, όπως τα ουδετερόφιλα και τα μακροφάγα, στους κατεστραμμένους ιστούς, τα οποία μπορούν να βοηθήσουν στην απομάκρυνση των υπολειμμάτων και στην προώθηση της αναγέννησης των ιστών.

Συνολικά, ο ρόλος της IL-6 στη φλεγμονή που προκαλείται από την άσκηση είναι πολύπλοκος και οι επιδράσεις της στην απόδοση και την αποκατάσταση κατά την άσκηση δεν είναι πλήρως κατανοητές. Ενώ η IL-6 έχει αποδειχθεί ότι έχει τόσο προφλεγμονώδη όσο και αντιφλεγμονώδη αποτελέσματα, η καθαρή επίδρασή της στην επαγόμενη από την άσκηση φλεγμονή είναι πιθανό να εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της έντασης, της διάρκειας και του τύπου της άσκησης, καθώς και από ατομικούς παράγοντες όπως η ηλικία, το επίπεδο φυσικής κατάστασης και η κατάσταση της υγείας.

Σημασία δεικτών φλεγμονής στην άσκηση

• Επίδραση της φλεγμονής στην αθλητική απόδοση

Η φλεγμονή είναι μια φυσιολογική αντίδραση σε τραυματισμό ιστού, λοίμωξη ή στρες(189, 190). Στους αθλητές, η φλεγμονή μπορεί να προκληθεί από μυϊκή βλάβη που προκαλείται από την άσκηση, υπερπροπόνηση ή λοίμωξη. Αν και η φλεγμονή είναι απαραίτητο μέρος της διαδικασίας αποκατάστασης(191), η χρόνια φλεγμονή μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη αθλητική απόδοση και αυξημένο κίνδυνο τραυματισμού, όπως επίσης να επηρεάσει την αθλητική απόδοση με πολλαπλούς τρόπους. Πρώτον, μπορεί να προκαλέσει μυϊκή βλάβη και πόνο, οδηγώντας σε μειωμένη δύναμη και αντοχή(192). Δεύτερον, η χρόνια φλεγμονή μπορεί να βλάψει το ανοσοποιητικό σύστημα, καθιστώντας τους αθλητές πιο ευάλωτους σε λοιμώξεις και ασθένειες(193). Τρίτον, η φλεγμονή μπορεί να προκαλέσει οξειδωτικό στρες, το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε κυτταρική βλάβη και μειωμένη μιτοχονδριακή λειτουργία, οδηγώντας σε μειωμένη παραγωγή ενέργειας και κόπωση(194).

Μελέτες οδηγούν σε ποικίλες διαπιστώσεις όπου η φλεγμονή που προκαλείται από την υπερπροπόνηση μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη αθλητική απόδοση και αυξημένο κίνδυνο τραυματισμού(195). Μελέτη αναφέρει πως αθλητές με υψηλά επίπεδα φλεγμονωδών δεικτών είχαν μειωμένη μυϊκή δύναμη, ισχύ και αντοχή σε σύγκριση με τους αθλητές με χαμηλότερα επίπεδα φλεγμονής(196). Μια άλλη μελέτη διαπίστωσε ότι η φλεγμονή μπορεί να

επηρεάσει τη λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος και να αυξήσει τον κίνδυνο λοιμώξεων και ασθενειών στους αθλητές(193). Επίσης μελέτη αναφέρει πως αθλητές με υψηλά επίπεδα φλεγμονής είχαν μεγαλύτερη συχνότητα αναπνευστικών και γαστρεντερικών λοιμώξεων σε σύγκριση με τους αθλητές με χαμηλότερα επίπεδα φλεγμονής(197). Εκτός από τα παραπάνω, μια άλλη μελέτη έδειξε ότι η φλεγμονή μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη παραγωγή ενέργειας και κόπωση. Αθλητές με υψηλά επίπεδα φλεγμονωδών δεικτών είχαν μειωμένη μιτοχονδριακή λειτουργία και αυξημένη κόπωση σε σύγκριση με τους αθλητές με χαμηλότερα επίπεδα φλεγμονής(194).

Έτσι συμπεραίνεται πως η φλεγμονή μπορεί να έχει αρνητικό αντίκτυπο στην αθλητική απόδοση μέσω της μυϊκής βλάβης, της εξασθενημένης λειτουργίας του ανοσοποιητικού συστήματος και της μειωμένης παραγωγής ενέργειας. Οι αθλητές θα πρέπει να στοχεύουν στη διαχείριση της φλεγμονής μέσω της σωστής αποκατάστασης, της διατροφής και της διαχείρισης του στρες.

• Φλεγμονή και μυϊκοί τραυματισμοί

Η φλεγμονή είναι μια φυσική διαδικασία που συμβαίνει ως απάντηση σε ιστική βλάβη ή τραυματισμό και αποτελεί βασικό συστατικό της διαδικασίας επούλωσης(189). Ωστόσο, η χρόνια ή υπερβολική φλεγμονή μπορεί να οδηγήσει σε βλάβη των ιστών και να επηρεάσει τη διαδικασία αποκατάστασης. Η φλεγμονή αποτελεί κρίσιμο συστατικό της διαδικασίας επούλωσης των μυϊκών τραυματισμών, καθώς βοηθά στην απομάκρυνση των κατεστραμμένων ιστών και στην έναρξη της διαδικασίας αποκατάστασης. Ωστόσο, η υπερβολική φλεγμονή μπορεί να οδηγήσει σε παρατεταμένους χρόνους αποκατάστασης, μειωμένη μυϊκή λειτουργία και αυξημένο κίνδυνο επανατραυματισμού(146, 198).

Μελέτες αναφέρουν τον πολυδιάστατο ρόλο της φλεγμονής όπου μελέτη αναφέρει πως η οξεία φλεγμονή διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στα αρχικά στάδια της μυϊκής επούλωσης, αλλά η χρόνια φλεγμονή μπορεί να επηρεάσει τη διαδικασία επούλωσης και να οδηγήσει σε ίνωση και σχηματισμό ουλώδους ιστού(187). Αυτός ο ινώδης ιστός μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη μυϊκή ευλυγισία και εύρος κίνησης, καθώς και σε αυξημένο κίνδυνο επανατραυματισμού. Σε άλλη μελέτη διαπιστώθηκε ότι η φλεγμονή μπορεί να οδηγήσει σε μυϊκή αδυναμία και μειωμένη λειτουργία(199). Η μελέτη έδειξε ότι η χρόνια φλεγμονή που προκαλείται από επαναλαμβανόμενες μυϊκές συσπάσεις μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη παραγωγή μυϊκής δύναμης και μειωμένη μυϊκή λειτουργία(200). Επιπλέον, μια μελέτη διαπίστωσε ότι η φλεγμονή μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο μυϊκού τραυματισμού. Η μελέτη αυτή έδειξε ότι

οι αθλητές με υψηλά επίπεδα φλεγμονωδών δεικτών διέτρεχαν αυξημένο κίνδυνο μυϊκών διασπάσεων και τραυματισμών σε σύγκριση με τους αθλητές με χαμηλότερα επίπεδα φλεγμονής(196). Τέλος, η φλεγμονή είναι ένα κρίσιμο συστατικό της διαδικασίας επούλωσης των μυϊκών τραυματισμών, αλλά η υπερβολική ή χρόνια φλεγμονή μπορεί να επηρεάσει την αποκατάσταση και να αυξήσει τον κίνδυνο επανατραυματισμού.

• Απόκριση κυτταροκινών σε πρόγραμμα άσκησης υψηλής έντασης

Τα προγράμματα άσκησης υψηλής έντασης απολαμβάνουν την δημοφιλία λόγω των δυνατοτήτων τους για τη βελτίωση της αθλητικής απόδοσης και της συνολικής φυσικής κατάστασης. Ωστόσο, η άσκηση υψηλής έντασης μπορεί επίσης να οδηγήσει σε αύξηση των κυτταροκινών, τα οποία παίζουν σημαντικό ρόλο στη φλεγμονή και την ανοσολογική απόκριση. Έχει αποδειχθεί ότι τα προγράμματα άσκησης υψηλής έντασης προκαλούν σημαντική αύξηση των επιπέδων των κυτταροκινών, ιδίως της IL-6 και του παράγοντα νέκρωσης όγκων-άλφα (TNF-α-α)(184). Ενώ οι κυτταροκίνες είναι βασικά συστατικά της ανοσολογικής απόκρισης και διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην αποκατάσταση των μυών και την προσαρμογή στην άσκηση, η υπερβολική ή χρόνια απελευθέρωση κυτταροκινών μπορεί να οδηγήσει σε φλεγμονή, οξειδωτικό στρες και μειωμένη αθλητική απόδοση. Μελέτες αναφέρουν ότι τα προγράμματα άσκησης υψηλής έντασης μπορούν να οδηγήσουν σε οξεία αύξηση των επιπέδων των κυτταροκινών(201). Μια μελέτη έδειξε ότι τα επίπεδα της IL-6 αυξήθηκαν σημαντικά αμέσως μετά από μια διαλειμματική προπόνηση υψηλής έντασης και επέστρεψαν στα βασικά επίπεδα εντός δύο ωρών(202). Σε άλλη μελέτη διαπιστώθηκε ότι η χρόνια άσκηση υψηλής έντασης μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένα επίπεδα κυτταροκινών και οξειδωτικού στρες(202). Η μελέτη έδειξε ότι οι αθλητές που συμμετείχαν σε ένα πρόγραμμα άσκησης υψηλής έντασης είχαν αυξημένα επίπεδα IL-6 και TNF-α, καθώς και δείκτες οξειδωτικού στρες, σε σύγκριση με τους άτομα που έκαναν καθιστική ζωή(203). Επίσης αναφέρεται ότι η υπερβολική ή χρόνια απελευθέρωση κυτταροκινών μπορεί να οδηγήσει σε φλεγμονή και μειωμένη αθλητική απόδοση. Μελέτη έδειξε ότι οι αθλητές με υψηλά επίπεδα φλεγμονωδών δεικτών είχαν μειωμένη μυϊκή δύναμη, ισχύ και αντοχή σε σύγκριση με τους αθλητές με χαμηλότερα επίπεδα φλεγμονής(200, 203).

Τα προγράμματα άσκησης υψηλής έντασης μπορούν να οδηγήσουν σε οξεία αύξηση των επιπέδων κυτταροκινών, η οποία μπορεί να είναι ευεργετική για την αποκατάσταση των μυών και την προσαρμογή στην άσκηση.

• Επίδραση προγραμμάτων υψηλής έντασης σε δείκτες φλεγμονής

Τα προγράμματα άσκησης υψηλής έντασης είναι γνωστό ότι βελτιώνουν τις αθλητικές επιδόσεις και τη συνολική φυσική κατάσταση. Ωστόσο, αυτού του είδους τα προγράμματα άσκησης μπορούν επίσης να οδηγήσουν σε αύξηση των δεικτών φλεγμονής, γεγονός που μπορεί να έχει επιζήμιες επιπτώσεις στην υγεία και την αθλητική απόδοση.

Έχει αποδειχθεί ότι τα προγράμματα άσκησης υψηλής έντασης προκαλούν σημαντική αύξηση των δεικτών φλεγμονής, όπως η CRP, η IL-6 και ο παράγοντας νέκρωσης όγκων-αλφα (TNF-α)(184). Μια μελέτη διαπίστωσε ότι ένα πρόγραμμα διαλειμματικής προπόνησης υψηλής έντασης (HIIT) οδήγησε σε αυξημένα επίπεδα δεικτών φλεγμονής, συμπεριλαμβανομένων των CRP, IL-6 και TNF-α, σε σύγκριση με ένα πρόγραμμα συνεχούς προπόνησης μέτριας έντασης(204). Άλλη μελέτη διαπίστωσε ότι οι αθλητές που συμμετείχαν σε προγράμματα άσκησης υψηλής έντασης είχαν αυξημένα επίπεδα δεικτών φλεγμονής σε σύγκριση με άτομα που έκαναν καθιστική ζωή και έδειξε ότι οι αθλητές είχαν υψηλότερα επίπεδα CRP, IL-6 και TNF-α, υποδεικνύοντας μια χρόνια φλεγμονώδη απόκριση στην άσκηση(205). Μια άλλη μελέτη διάρκειας 10 εβδομάδων διερεύνησε την επίδραση ενός προγράμματος προπόνησης υψηλής έντασης στην έκφραση γονιδίων που σχετίζονται με τη φλεγμονή και το μεταβολισμό στους ανθρώπινους σκελετικούς μύες. Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι η HIIT οδήγησε σε αυξημένη έκφραση γονιδίων που σχετίζονται με μεταβολικά μονοπάτια και μειωμένη έκφραση γονιδίων που σχετίζονται με τη φλεγμονή(206). Μια συστηματική ανασκόπηση και μετα-ανάλυση συνέκρινε τις επιδράσεις της HIIT με τη συνεχή προπόνηση μέτριας έντασης σε διάφορα αποτελέσματα για την υγεία, συμπεριλαμβανομένων των δεικτών φλεγμονής. Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι η HIIT σχετίζεται με μεγαλύτερη βελτίωση της ευαισθησίας στην ινσουλίνη και των δεικτών φλεγμονής σε σύγκριση με τη συνεχή προπόνηση μέτριας έντασης(207).

Συνολικά, η βιβλιογραφία δείχνει ότι τα προγράμματα υψηλής έντασης μπορεί να έχουν ευεργετικά αποτελέσματα στους δείκτες φλεγμονής, ιδίως όταν συνδυάζονται με διαιτητικές παρεμβάσεις. Οι αθλητές θα πρέπει να στοχεύουν στη διαχείριση της φλεγμονής μέσω της κατάλληλης αποκατάστασης, της διατροφής και της διαχείρισης του στρες.

Επίδραση αντιοξειδωτικών βιταμινών στους δείκτες μυϊκής βλάβης, και φλεγμονής

Αντιοξειδωτικές βιταμίνες

• Ρόλος και λειτουργία των αντιοξειδωτικών βιταμινών

Οι αντιοξειδωτικές βιταμίνες, συμπεριλαμβανομένων των βιταμινών A, C και E, είναι σημαντικά θρεπτικά συστατικά που μπορούν να βοηθήσουν στην προστασία από το οξειδωτικό στρες και τη φλεγμονή. Παίζουν κρίσιμο ρόλο στη διατήρηση της υγείας και της λειτουργίας διαφόρων οργάνων, συμπεριλαμβανομένων των μυών. Στην διεθνή βιβλιογραφία μελέτες παρουσιάζουν την επίδραση στους δείκτες μυϊκής βλάβης φλεγμονής, όπου μελέτη διάρκειας 10 εβδομάδων προπόνησης διερεύνησε τις επιδράσεις του συμπληρώματος βιταμίνης C και E στη μυϊκή βλάβη και στους δείκτες φλεγμονής μετά από μια προπόνηση δύναμης. Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι το συμπλήρωμα αντιοξειδωτικών μείωσε τους δείκτες οξειδωτικού στρες και φλεγμονής, αλλά δεν επηρέασε τη μυϊκή ανάπτυξη. Μια άλλη μελέτη εξέτασε τις επιδράσεις της αντιοξειδωτικής θεραπείας στη μυϊκή βλάβη και στους δείκτες φλεγμονής σε γυναίκες που εκτέθηκαν σε έκκεντρη άσκηση. Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι το συμπλήρωμα αντιοξειδωτικών μείωσε σημαντικά τους δείκτες μυϊκής βλάβης και φλεγμονής, συμπεριλαμβανομένης της κρεατινικής κινάσης και της ιντερλευκίνης-6. Ο ρόλος των αντιοξειδωτικών βιταμινών σε δρομικό αγώνισμα διαφέρει, όπου μελέτη διερεύνησε τις επιδράσεις της χορήγησης αντιοξειδωτικών στην προπόνηση και την απόδοση σε γυναίκες δρομείς. Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι το συμπλήρωμα αντιοξειδωτικών δεν βελτίωσε την απόδοση ούτε μείωσε τους δείκτες μυϊκής βλάβης, αλλά μείωσε τους δείκτες φλεγμονής. Αναφορές γίνονται και για την επίδραση σε ηλικιωμένους όπου εξετάστηκε η επίδραση της δια βίου προπόνησης και της χορήγησης αντιοξειδωτικών συμπληρωμάτων στους δείκτες μυϊκής βλάβης και φλεγμονής σε ηλικιωμένους ανθρώπινους σκελετικούς μύες. Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι το συμπλήρωμα αντιοξειδωτικών μείωσε τους δείκτες οξειδωτικού στρες και φλεγμονής, αλλά δεν επηρέασε τους δείκτες μυϊκής βλάβης. Στους δείκτες μυϊκής βλάβης όπως CK, γαλακτική αφυδρογονάση (LDH) και των δεικτών φλεγμονής όπως η IL-6 και της CRP οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι η αντιοξειδωτική θεραπεία μετά την άσκηση οδήγησε σε μείωση των τιμών.

Συνολικά, η βιβλιογραφία δείχνει ότι οι αντιοξειδωτικές βιταμίνες μπορεί να έχουν ευεργετικά αποτελέσματα στους δείκτες μυϊκής βλάβης και φλεγμονής, ιδίως όταν καταναλώνονται σε συνδυασμό με την άσκηση. Ωστόσο, οι βέλτιστες δόσεις και ο χρόνος χορήγησης

αντιοξειδωτικών συμπληρωμάτων για διαφορετικούς πληθυσμούς και τύπους άσκησης απαιτούν περαιτέρω διερεύνηση.

• Αντιοξειδωτική δράση των βιταμινών A, C και E στην υγεία

Οι βιταμίνες A, C και E είναι γνωστές για τις αντιοξειδωτικές τους ιδιότητες και έχουν μελετηθεί εκτενώς για τα πιθανά οφέλη τους στην υγεία. Τα αντιοξειδωτικά είναι ουσίες που μπορούν να αποτρέψουν ή να επιβραδύνουν τις βλάβες στα κύτταρα που προκαλούνται από τις ελεύθερες ρίζες, οι οποίες είναι ασταθή μόρια που μπορούν να βλάψουν τα κύτταρα και να συμβάλουν στην ανάπτυξη χρόνιων ασθενειών.

Η βιταμίνη A είναι μια λιποδιαλυτή βιταμίνη που είναι σημαντική για την όραση, τη λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος και την αναπαραγωγή. Είναι επίσης ένα ισχυρό αντιοξειδωτικό που μπορεί να προστατεύσει από την κυτταρική βλάβη που προκαλούν οι ελεύθερες ρίζες. Ένα άρθρο ανασκόπησης των Rodriguez-Rodriguez και συνεργατών (2018) εξέτασε τον ρόλο της βιταμίνης A στο οξειδωτικό στρες και τη φλεγμονή. Οι συγγραφείς ανέφεραν ότι η βιταμίνη A μπορεί να μειώσει το οξειδωτικό στρες και τη φλεγμονή σε διάφορους ιστούς, συμπεριλαμβανομένου του ήπατος, των πνευμόνων, των νεφρών και του εγκεφάλου. Σημείωσαν επίσης ότι η ανεπάρκεια βιταμίνης A μπορεί να αυξήσει το οξειδωτικό στρες και να συμβάλει στην ανάπτυξη χρόνιων ασθενειών όπως ο καρκίνος, οι καρδιαγγειακές παθήσεις και ο διαβήτης(208).

Η βιταμίνη C, γνωστή και ως ασκορβικό οξύ, είναι μια υδατοδιαλυτή βιταμίνη που είναι απαραίτητη για τη σύνθεση κολλαγόνου, την επούλωση πληγών και τη λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος. Είναι επίσης ένα ισχυρό αντιοξειδωτικό που μπορεί να απομακρύνει τις ελεύθερες ρίζες και να αποτρέψει την κυτταρική βλάβη. Μια συστηματική ανασκόπηση και μετά-ανάλυση από τον Ashor και τους συνεργάτες του αξιολόγησε τις επιδράσεις του συμπληρώματος βιταμίνης C σε δείκτες οξειδωτικού στρες σε υγιή άτομα. Οι συγγραφείς διαπίστωσαν ότι το συμπλήρωμα βιταμίνης C μείωσε τους δείκτες οξειδωτικού στρες, όπως η μηλονδιαλδεΰδη και η οξειδωμένη LDL χοληστερόλη, με δοσοεξαρτώμενο τρόπο. Σημείωσαν επίσης ότι η βιταμίνη C μπορεί να έχει προστατευτικές επιδράσεις έναντι χρόνιων ασθενειών όπως οι καρδιαγγειακές παθήσεις, ο καρκίνος και ο διαβήτης.

Η βιταμίνη E είναι μια λιποδιαλυτή βιταμίνη που είναι σημαντική για τη λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος και την κυτταρική σηματοδότηση. Είναι επίσης ένα ισχυρό αντιοξειδωτικό που μπορεί να προστατεύσει από οξειδωτικές βλάβες στις κυτταρικές μεμβράνες και τα λιπίδια. Μια συστηματική ανασκόπηση και μετά-ανάλυση από τον Jansen και

τους συνεργάτες του (2019) εξέτασε τις επιδράσεις του συμπληρώματος βιταμίνης E σε δείκτες οξειδωτικού στρες και φλεγμονής σε υγιή άτομα. Οι συγγραφείς διαπίστωσαν ότι το συμπλήρωμα βιταμίνης E μείωσε τους δείκτες οξειδωτικού στρες και φλεγμονής, όπως η C-αντιδρώσα πρωτεΐνη και η ιντερλευκίνη-6. Σημείωσαν επίσης ότι η βιταμίνη E μπορεί να έχει προστατευτικές επιδράσεις έναντι χρόνιων ασθενειών, όπως οι καρδιαγγειακές παθήσεις, ο καρκίνος και η νόσος Αλτσχάιμερ.

Οι βιταμίνες A, C και E είναι σημαντικά αντιοξειδωτικά που μπορούν να προστατεύσουν από την κυτταρική βλάβη που προκαλούν οι ελεύθερες ρίζες. Τα ευρήματά των μελετών υποστηρίζουν το ρόλο αυτών των βιταμινών στη μείωση του οξειδωτικού στρες και της φλεγμονής, οι οποίες συμβάλλουν καθοριστικά στην ανάπτυξη χρόνιων ασθενειών όπως οι καρδιαγγειακές παθήσεις, ο καρκίνος και ο διαβήτης.

• Επίδραση των βιταμινών A, E και C στην αθλητική απόδοση και στην αποκατάσταση

Οι βιταμίνες A, E και C είναι όλα απαραίτητα μικροθρεπτικά συστατικά που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον ανθρώπινο οργανισμό. Οι βιταμίνες A και E είναι λιποδιαλυτές βιταμίνες, ενώ η βιταμίνη C είναι υδατοδιαλυτή βιταμίνη. Και οι τρεις βιταμίνες είναι σημαντικές για τους αθλητές, καθώς έχει αποδειχθεί ότι έχουν πιθανές επιδράσεις στην αθλητική απόδοση και αποκατάσταση(209). Υπάρχει ένας αυξανόμενος όγκος ερευνών που διερευνούν τις επιδράσεις των βιταμινών A, E και C στην αθλητική απόδοση και αποκατάσταση.

Η βιταμίνη A είναι γνωστό ότι παίζει κρίσιμο ρόλο στη διατήρηση της όρασης και η ανεπάρκεια αυτής της βιταμίνης μπορεί να οδηγήσει σε μια σειρά προβλημάτων που σχετίζονται με την όραση. Στους αθλητές, η καλή όραση είναι απαραίτητη για την καλή απόδοση σε αθλήματα που απαιτούν οπτική οξύτητα, όπως το μπάσκετ, το ποδόσφαιρο και το τένις. Σε μια μελέτη που διεξήχθη από τους Johnson et al. (2008), διαπιστώθηκε ότι τα συμπληρώματα βιταμίνης A βελτίωσαν την οπτική λειτουργία σε μια ομάδα αθλητών, υποδηλώνοντας ότι αυτή η βιταμίνη μπορεί να έχει οφέλη για αθλητές που απαιτούν καλή όραση για βέλτιστη απόδοση.

Η βιταμίνη A είναι επίσης γνωστό ότι παίζει βασικό ρόλο στη λειτουργία του ανοσοποιητικού και η ανεπάρκεια αυτής της βιταμίνης έχει συνδεθεί με αυξημένη ευαισθησία σε λοιμώξεις. Στους αθλητές, οι λοιμώξεις μπορεί να είναι ιδιαίτερα προβληματικές, καθώς μπορεί να οδηγήσουν σε χαμένες προπονήσεις και μειωμένη απόδοση. Σε μια μελέτη που διεξήχθη

από τους Nieman et al. (2002), διαπιστώθηκε ότι τα συμπληρώματα βιταμίνης Α βελτίωσαν τη λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος σε μια ομάδα αθλητών, μειώνοντας τη συχνότητα λοιμώξεων του ανώτερου αναπνευστικού συστήματος και αυξάνοντας τη δραστηριότητα των φυσικών φονικών κυττάρων.

Επίσης, η βιταμίνη Α συμμετέχει στη διευκόλυνση της επούλωσης των πληγών και στη διατήρηση του ανοσοποιητικού συστήματος έναντι των ασθενειών και των λοιμώξεων, ιδίως εκείνων που επηρεάζουν τους πνεύμονες, επιπλέον, η βιταμίνη Α είναι ένα από τα κύρια μικροθρεπτικά συστατικά που συμμετέχουν στην καταπολέμηση των ελεύθερων ριζών οξυγόνου(210). Είναι γνωστό ότι οι ανταγωνιστικοί αθλητές διατρέχουν μεγαλύτερο κίνδυνο ανεπάρκειας αντιοξειδωτικών βιταμινών λόγω της αυξημένης χρήσης του οξυγόνου. Μια έντονη ανεπάρκεια μπορεί να προκαλέσει αύξηση των εξαιρετικά αντιδραστικών μορίων οξυγόνου και, επομένως, οξειδωτική βλάβη(211).

Στην βιταμίνη Ε αρκετές μελέτες διερευνήσαν τις επιδράσεις της στην αθλητική απόδοση και την αποκατάσταση σε μελέτη που διεξήχθη το 2003 διαπίστωσε ότι η χορήγηση συμπληρώματος βιταμίνης Ε βελτίωσε τη μυϊκή αποκατάσταση μετά την άσκηση, όπως μετρήθηκε με τη μείωση των δεικτών μυϊκής βλάβης(212). Σε τριαθλητές η λήψη της βιταμίνης Ε έχει αποδειχθεί ότι μειώνει τους συστηματικούς δείκτες του οξειδωτικού στρες που σχετίζεται με την άσκηση, αν και αναφέρθηκαν αυξημένα υδροϋπεροξειδία μετά την άσκηση. Μια άλλη μελέτη των Malm et al. (2002) διερεύνησε τις επιδράσεις του συμπληρώματος βιταμίνης Ε στη μυϊκή δύναμη και αντοχή σε μη προπονημένα άτομα. Η μελέτη διαπίστωσε ότι το συμπλήρωμα βιταμίνης Ε δεν είχε καμία σημαντική επίδραση στη μυϊκή δύναμη ή αντοχή(213).

Η βιταμίνη C έχει μελετηθεί σε μεγάλο όγκο ερευνών που διερευνούν τις επιδράσεις του στην αθλητική απόδοση και την αποκατάσταση. Μια μελέτη που διεξήχθη από τους Peters et al. (2001) διερεύνησε τις επιδράσεις του συμπληρώματος βιταμίνης C στην απόδοση αντοχής σε προπονημένους άνδρες ποδηλάτες. Η μελέτη διαπίστωσε ότι το συμπλήρωμα βιταμίνης C δεν είχε καμία σημαντική επίδραση στην απόδοση αντοχής. Ωστόσο, μια άλλη μελέτη των Nieman et al. (2002) διερεύνησε τις επιδράσεις του συμπληρώματος βιταμίνης C στην αποκατάσταση μετά από μαραθώνιο. Η μελέτη διαπίστωσε ότι το συμπλήρωμα βιταμίνης C μείωσε τους δείκτες φλεγμονής και μυϊκής βλάβης και βελτίωσε το χρόνο αποκατάστασης. Έτσι συμπερασματικά η έρευνα σχετικά με τις επιδράσεις των βιταμινών Α, Ε και C στην αθλητική απόδοση και την αποκατάσταση είναι μικτή. Ορισμένες μελέτες έχουν

διαπιστώσει σημαντικά οφέλη, ενώ άλλες δεν έχουν διαπιστώσει καμία επίδραση. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η βέλτιστη δοσολογία και ο χρόνος χορήγησης των συμπληρωμάτων μπορεί επίσης να παίζουν ρόλο στις επιδράσεις αυτών των βιταμινών στην αθλητική απόδοση και την αποκατάσταση.

• Επίδραση των βιταμινών A, E και C στη μυϊκή βλάβη και σε δείκτες οξειδωτικού στρες και φλεγμονής

Μελέτες έχουν δείξει ότι η βιταμίνη A έχει προστατευτική επίδραση στη μυϊκή βλάβη και το οξειδωτικό στρες. Σε μια μελέτη που διεξήχθη από τους Kerksick et al. (2018), διαπιστώθηκε ότι η συμπληρωματική χορήγηση βιταμίνης A μείωσε τους δείκτες μυϊκής βλάβης και φλεγμονής σε αθλητές που γυμνάζονταν με αντιστάσεις. Επιπλέον, μια μελέτη των Marzatico et al. (1997) έδειξε ότι η χορήγηση βιταμίνης A μείωσε το οξειδωτικό στρες σε αθλητές που συμμετείχαν σε αγώνα αντοχής.

Η βιταμίνη E ως λιποδιαλυτή βιταμίνη επιδρά ως ένα ισχυρό αντιοξειδωτικό που προστατεύει τις κυτταρικές μεμβράνες από την οξειδωτική βλάβη. στη μυϊκή βλάβη και στους δείκτες οξειδωτικού στρες και φλεγμονής. Αρκετές μελέτες έχουν εξετάσει τις επιδράσεις του συμπληρώματος βιταμίνης E σε δείκτες οξειδωτικού στρες και φλεγμονής σε αθλητές. Σε μια μελέτη των Bloomer et al. (2007), διαπιστώθηκε ότι η συμπληρωματική χορήγηση βιταμίνης E μείωσε τους δείκτες οξειδωτικού στρες και φλεγμονής σε αθλητές που γυμνάζονται με αντιστάσεις. Επιπλέον, μια μελέτη των Sen et al. (2006) έδειξε ότι το συμπλήρωμα βιταμίνης E μείωσε τους δείκτες οξειδωτικού στρες σε ασθενείς με χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια(214).

Η βιταμίνη C, φαίνεται να μειώνει τους δείκτες οξειδωτικού στρες και φλεγμονής στους αθλητές. Η χορήγηση βιταμίνης C φάνηκε ότι μπορεί να μειώσει τους δείκτες οξειδωτικού στρες και φλεγμονής σε αθλητές αντοχής, και τους δείκτες μυϊκής βλάβης σε αθλητές που συμμετείχαν σε μαραθώνιο.

Οι βιταμίνες A, E και C έχουν προστατευτική επίδραση στη μυϊκή βλάβη και στους δείκτες οξειδωτικού στρες και φλεγμονής σε αθλητές και ασθενείς με χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια. Τα ευρήματα αυτά υποδεικνύουν ότι η συμπληρωματική χορήγηση αυτών των βιταμινών μπορεί να είναι ευεργετική για τα άτομα που κάνουν έντονη σωματική δραστηριότητα ή τα άτομα με χρόνιες παθήσεις. Ωστόσο, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την

πλήρη κατανόηση των μηχανισμών με τους οποίους αυτές οι βιταμίνες ασκούν τις προστατευτικές τους επιδράσεις και για τον καθορισμό των βέλτιστων δόσεων για τη συμπληρωματική χορήγηση

Ωμέγα λιπαρά οξέα

• Ορισμός και επίδραση των Ω-3 και Ω-6 στον οργανισμό

Τα ωμέγα-3 και ωμέγα-6 είναι πολυακόρεστα λιπαρά οξέα που είναι απαραίτητα για την ανθρώπινη υγεία. Ονομάζονται απαραίτητα λιπαρά οξέα επειδή ο ανθρώπινος οργανισμός δεν μπορεί να τα παράγει μόνος του και πρέπει να λαμβάνονται από τη διατροφή. Τα ωμέγα-3 λιπαρά οξέα, όπως το εικοσιπεντανοϊκό οξύ (EPA) και το δοκοσαεξανοϊκό οξύ (DHA), βρίσκονται σε λιπαρά ψάρια, όπως ο σολομός, το σκουμπρί και οι σαρδέλες, καθώς και σε ορισμένες φυτικές πηγές, όπως ο λιναρόσπορος και τα καρύδια. Τα ωμέγα-3 λιπαρά οξέα έχει βρεθεί ότι έχουν αντιφλεγμονώδη δράση και μπορεί να είναι ευεργετικά στη μείωση του κινδύνου καρδιακών παθήσεων, εγκεφαλικών επεισοδίων και άλλων χρόνιων ασθενειών. Από την άλλη πλευρά, τα ωμέγα-6 λιπαρά οξέα, όπως το λινολεϊκό οξύ και το αραχιδονικό οξύ, βρίσκονται σε φυτικά έλαια, όπως το καλαμποκέλαιο, το σογιέλαιο και το ηλιέλαιο, καθώς και σε επεξεργασμένα τρόφιμα, κρέας και γαλακτοκομικά προϊόντα. Τα ωμέγα-6 λιπαρά οξέα είναι επίσης σημαντικά για τη συνολική υγεία, αλλά η υπερβολική κατανάλωση ωμέγα-6 λιπαρών οξέων μπορεί να οδηγήσει σε ανισορροπία στην αναλογία ωμέγα-3 προς ωμέγα-6, η οποία έχει συνδεθεί με χρόνια φλεγμονή και αυξημένο κίνδυνο χρόνιων ασθενειών, όπως καρδιακές παθήσεις, διαβήτη τύπου 2 και καρκίνο. Τόσο τα ωμέγα-3 όσο και τα ωμέγα-6 λιπαρά οξέα είναι σημαντικά για τη συνολική υγεία και το κλειδί είναι να διατηρείται μια υγιής ισορροπία μεταξύ των δύο. Η βέλτιστη αναλογία ωμέγα-6 προς ωμέγα-3 λιπαρά οξέα είναι υπό συζήτηση, αλλά πολλοί ειδικοί συνιστούν μια αναλογία 4:1 ή και λιγότερο(215). Μια διατροφή με υψηλή περιεκτικότητα σε ωμέγα-6 λιπαρά οξέα και χαμηλή σε ωμέγα-3 λιπαρά οξέα έχει συνδεθεί με αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης χρόνιων ασθενειών, ενώ μια διατροφή πλούσια σε ωμέγα-3 λιπαρά οξέα και χαμηλή σε ωμέγα-6 λιπαρά οξέα έχει συνδεθεί με μειωμένο κίνδυνο εμφάνισης χρόνιων ασθενειών. Συνοψίζοντας, τα ωμέγα-3 και ωμέγα-6 λιπαρά οξέα διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον οργανισμό και πρέπει να καταναλώνονται σε ισορροπία για τη διατήρηση της βέλτιστης υγείας.

• Επίδραση των Ω-3 και Ω-6 στην υγεία

Τα ωμέγα-3 λιπαρά οξέα έχουν αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες και προάγουν την καρδιαγγειακή υγεία, τα ωμέγα-6 λιπαρά οξέα προάγουν τη φλεγμονή και μπορεί να έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στην καρδιαγγειακή υγεία. Τα ωμέγα-3 λιπαρά οξέα έχουν μελετηθεί εκτενώς για τις πιθανές καρδιοπροστατευτικές τους επιδράσεις. Μια μετά-ανάλυση τυχαιοποιημένων ελεγχόμενων μελετών διαπίστωσε ότι η συμπληρωματική χορήγηση ωμέγα-3 μείωσε σημαντικά τον κίνδυνο σοβαρών καρδιαγγειακών συμβάντων, συμπεριλαμβανομένων της καρδιακής προσβολής, του εγκεφαλικού επεισοδίου και του αιφνίδιου καρδιακού θανάτου(216). Αντίθετα, μια διατροφή με υψηλή περιεκτικότητα σε Ωμέγα-6 λιπαρά οξέα έχει συσχετιστεί με αυξημένο κίνδυνο καρδιαγγειακών παθήσεων. Επιπλέον, έχει αποδειχθεί ότι τα ωμέγα-3 λιπαρά οξέα μειώνουν την αρτηριακή πίεση και τα επίπεδα τριγλυκεριδίων, που αποτελούν παράγοντες κινδύνου για καρδιαγγειακές παθήσεις(217).

Σε αντίθεση με τα ωμέγα-3 η υψηλή πρόσληψη ωμέγα-6 λιπαρών οξέων έχει συσχετιστεί με αυξημένο κίνδυνο καρδιαγγειακής νόσου. Μια μετά-ανάλυση μελετών παρατήρησης διαπίστωσε ότι η υψηλότερη πρόσληψη ωμέγα-6 λιπαρών οξέων σχετίζεται με υψηλότερο κίνδυνο στεφανιαίας νόσου. Η αναλογία των λιπαρών οξέων ωμέγα-3 προς ωμέγα-6 στη διατροφή είναι σημαντική για την καρδιαγγειακή υγεία. Μια υψηλότερη αναλογία ωμέγα-3/ωμέγα-6 σχετίζεται με χαμηλότερο κίνδυνο καρδιαγγειακής νόσου. Μια μετά-ανάλυση μελετών παρατήρησης διαπίστωσε ότι μια υψηλότερη αναλογία ωμέγα-3/ωμέγα-6 σχετίζεται με χαμηλότερο κίνδυνο στεφανιαίας νόσου(218). Επιπλέον, έχει αποδειχθεί ότι μια υψηλότερη αναλογία ωμέγα-3/ωμέγα-6 έχει αντιφλεγμονώδη δράση και μπορεί να μειώσει τον κίνδυνο αθηροσκλήρωσης(219). Πολλοί ειδικοί και οργανισμοί υγείας προτείνουν γενικά μια αναλογία που κυμαίνεται από 1:1 έως 4:1 (ωμέγα-6 έως ωμέγα-3) για τη συνολική υγεία και την πρόληψη ασθενειών(220).

Πέραν από την καρδιαγγειακή επίδραση, η φλεγμονή αποτελεί άλλο πεδίο δράσης όπου τα ωμέγα-3 λιπαρά οξέα έχει αποδειχθεί ότι έχουν αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες και μπορεί να έχουν θεραπευτικά αποτελέσματα σε φλεγμονώδεις νόσους όπως η ρευματοειδής αρθρίτιδα και η φλεγμονώδης νόσος του εντέρου(221). Αντίθετα, η υψηλή πρόσληψη ωμέγα-6 λιπαρών οξέων μπορεί να προάγει τη φλεγμονή και να συμβάλλει στην ανάπτυξη χρόνιων φλεγμονωδών ασθενειών(219).

Η πολυδιάστατη λειτουργία των ωμέγα λιπαρών οξέων περιλαμβάνει και την ψυχική υγεία. Αρκετές μελέτες έχουν υποδείξει ότι τα ωμέγα-3 λιπαρά οξέα μπορεί να έχουν ευεργετικές επιδράσεις στην ψυχική υγεία. Μια μετά-ανάλυση τυχαιοποιημένων ελεγχόμενων μελετών

διαπίστωσε ότι η χορήγηση συμπληρωμάτων Ωμέγα-3 μείωσε σημαντικά τα συμπτώματα της κατάθλιψης. Επιπλέον, τα ωμέγα-3 λιπαρά οξέα μπορεί να έχουν θεραπευτικά αποτελέσματα σε ασθενείς με σχιζοφρένεια και διπολική διαταραχή. Ωστόσο, τα στοιχεία σχετικά με τις επιδράσεις των ωμέγα-6 λιπαρών οξέων στην ψυχική υγεία είναι περιορισμένα.

Στον καρκίνο υπάρχουν ορισμένα στοιχεία που υποδηλώνουν ότι τα ωμέγα-3 λιπαρά οξέα μπορεί να έχουν προστατευτικές επιδράσεις έναντι ορισμένων τύπων καρκίνου, συμπεριλαμβανομένου του καρκίνου του μαστού και του παχέος εντέρου. Αντίθετα, η υψηλή πρόσληψη ωμέγα-6 λιπαρών οξέων έχει συσχετιστεί με αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης διαφόρων τύπων καρκίνου, συμπεριλαμβανομένου του καρκίνου του προστάτη(222).

Συμπερασματικά, τα στοιχεία δείχνουν ότι τα ωμέγα-3 λιπαρά οξέα έχουν πολλά οφέλη για την υγεία, συμπεριλαμβανομένων των καρδιοπροστατευτικών και αντιφλεγμονωδών επιδράσεων. Αντίθετα, μια διατροφή με υψηλή περιεκτικότητα σε ωμέγα-6 λιπαρά οξέα μπορεί να προάγει τη φλεγμονή και να συμβάλλει στην ανάπτυξη χρόνιων φλεγμονωδών ασθενειών. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να διατηρείται μια ισορροπημένη πρόσληψη ωμέγα-3 και ωμέγα-6 λιπαρών οξέων για την προαγωγή της βέλτιστης υγείας.

• **Επίδραση των EPA, DHA, ALA σε δείκτες φλεγμονής και μυϊκής βλάβης**

Η φλεγμονή και μυϊκή βλάβη αποτελούν μέρος της φυσικής διαδικασίας του σώματος, όταν το σώμα εκτίθεται είτε σε φυσική δραστηριότητα, είτε υποφέρει από ίωση. Οι δείκτες φλεγμονής αυξάνονται ιδίως όταν ακολουθείται φυσική δραστηριότητα υψηλής έντασης. Στους αθλητές αποτελεί καίριας σημασίας η διαχείριση των επίπεδων φλεγμονής και μυϊκής βλάβης σε φυσιολογικά επίπεδα ούτως ώστε να μεγιστοποιηθεί η απόδοσή κατά την διάρκεια της προπόνησης αλλά και του αγώνα. Για αποκατάσταση εφαρμοστήκαν διάφοροι μέθοδοι όπου τα λιπαρά οξέων καταλαμβάνουν σημαντικό χώρο. Έτσι μια μελέτη διερεύνησε τις επιδράσεις των συμπληρωμάτων εικοσιπεντανοϊκό οξύ (EPA) και δοκοσαεξανοϊκό οξύ (DHA) σε δείκτες φλεγμονής και μυϊκής βλάβης σε μη εκπαιδευμένους άνδρες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα συμπληρώματα EPA και DHA μείωσαν τον αντιληπτό πόνο και τα εξωτερικά συμπτώματα της καθυστερημένης έναρξης μυϊκού πόνου (DOMS), τα οποία είναι δείκτες φλεγμονής και μυϊκής βλάβης. Σε άλλη μελέτη όπου διερευνήθηκε η επίδραση συμπληρώματος ωμέγα-3 στη φλεγμονώδη απόκριση στην έκκεντρη άσκηση δύναμης σε νεαρούς άνδρες, φάνηκε ότι το συμπλήρωμα ωμέγα-3 μείωσε την αύξηση των επιπέδων της IL-6 και του TNF-α, οι οποίοι αποτελούν δείκτες φλεγμονής. Οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το συμπλήρωμα ωμέγα-3 μπορεί να μειώσει τη φλεγμονώδη απόκριση στην

άσκηση, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε βελτιωμένη αποκατάσταση. Σε άλλη μελέτη όπου διερευνήθηκαν τα αποτελέσματα των συμπληρωμάτων EPA και DHA στη φλεγμονώδη απόκριση στην άσκηση έκκεντρης δύναμης σε υγιείς νεαρούς ενήλικες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα συμπληρώματα EPA και DHA μείωσε τη φλεγμονώδη απόκριση στην άσκηση, όπως υποδεικνύεται από τα χαμηλότερα επίπεδα IL-6 και TNF- α , δύο δείκτες φλεγμονής(173). Στην διεθνή βιβλιογραφία παρουσιάζονται μελέτες όπου μια εκ αυτών διερεύνησε τις επιδράσεις της συμπλήρωσης ALA σε δείκτες φλεγμονής και μεταβολισμού γλυκόζης σε υγιή ηλικιωμένα άτομα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η συμπλήρωση ALA μείωσε τα επίπεδα γλυκόζης και ελεύθερων λιπαρών οξέων μεταγευματικά, τα οποία είναι δείκτες φλεγμονής και μεταβολικής δυσλειτουργίας(223). Σε μια άλλη μελέτη διερευνήθηκε η επίδραση διαφορετικών διαιτητικών ελαίων, συμπεριλαμβανομένου του σογιέλαιου πλούσιου σε ALA, σε δείκτες φλεγμονής και προφίλ λιποπρωτεϊνών σε άτομα με μέτρια υπερλιπιδαιμία. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το πλούσιο σε ALA σογιέλαιο βελτίωσε το προφίλ λιποπρωτεϊνών και μείωσε τους δείκτες φλεγμονής, όπως υποδεικνύεται από τα χαμηλότερα επίπεδα της CRP.

Συνολικά, αυτές οι μελέτες υποδηλώνουν ότι τα EPA, DHA και ALA μπορεί να έχουν ευεργετικά αποτελέσματα στους δείκτες φλεγμονής και μυϊκής βλάβης. Τα συμπληρώματα EPA και DHA μπορεί να μειώσουν τη φλεγμονή και να βελτιώσουν την ανάρρωση από μυϊκή βλάβη που προκαλείται από την άσκηση, ενώ τα συμπληρώματα ALA μπορεί να βελτιώσουν το μεταβολισμό της γλυκόζης και να μειώσουν τη φλεγμονή στους ηλικιωμένους. Ωστόσο, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την πλήρη κατανόηση της βέλτιστης δοσολογίας και του χρόνου της συμπλήρωσης ωμέγα-3 λιπαρών οξέων για αθλητές και άλλους πληθυσμούς.

• Επίδραση των Ω -3 και Ω -6 σε DOMS, δείκτες απόδοσης και σωματικής σύστασης

Τα ωμέγα-3 και ωμέγα-6 είναι δύο απαραίτητα λιπαρά οξέα που έχουν λάβει μεγάλη προσοχή στον τομέα της αθλητικής διατροφής. Τόσο τα ωμέγα-3 όσο και τα ωμέγα-6 διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση της φλεγμονής, της λειτουργίας του ανοσοποιητικού συστήματος και του μεταβολισμού. Αρκετές μελέτες έχουν διερευνήσει τις επιδράσεις της συμπληρωματικής χορήγησης ωμέγα-3 και ωμέγα-6 σε δείκτες απόδοσης και σύστασης σώματος.

Μια μελέτη των Jeromson et al. (2015) διαπίστωσε ότι το συμπλήρωμα ωμέγα-3 βελτίωσε τη μυϊκή δύναμη και μείωσε τον μυϊκό πόνο σε άνδρες που γυμνάζονταν με αντιστάσεις.

Μια άλλη μελέτη διαπίστωσε ότι το συμπλήρωμα ωμέγα-3 βελτίωσε την απόδοση αντοχής και της (DOMS, καθώς και σε δείκτες που σχετίζονται με την ενισχυμένη αποκατάσταση και τη ρύθμιση του ανοσοποιητικού. Έτσι προτείνεται ότι το συμπλήρωμα ωμέγα-3 μπορεί να βελτιώσει την αποκατάσταση από μυϊκή βλάβη που προκαλείται από την άσκηση μειώνοντας τη φλεγμονή και το οξειδωτικό στρες, και σε συνέχεια να οδηγήσει σε βελτίωση των δεικτών της απόδοσης. Επίσης μια άλλη μελέτη αναφέρει πως η επίδραση του συμπληρώματος ωμέγα-3 στον DOMS σε μη προπονημένους άνδρες έδειξε ότι το συμπλήρωμα ωμέγα-3 μείωσε τον αντιλαμβανόμενο πόνο και τα εξωτερικά συμπτώματα του DOMS, ο επίμονος ή χρόνιος πόνος μπορεί να έχει αρνητικό αντίκτυπο στη σωματική απόδοση. Ορισμένες μελέτες δεν ανέφεραν τις ίδιες σημαντικές επιδράσεις του συμπληρώματος ωμέγα-3 σε δείκτες αποκατάστασης. Σε μελέτη των Letícia et al. (2022) δεν βρέθηκαν σημαντικές διαφορές στη μυϊκή βλάβη και τον πόνο μεταξύ των ομάδων ωμέγα-3 και εικονικού φαρμάκου μετά από μυϊκή βλάβη που προκλήθηκε από άσκηση.

Ο πόνος μπορεί να περιορίσει το εύρος της κίνησης, να μειώσει τη δύναμη, να επηρεάσει την κινητικότητα και να μειώσει τη συνολική αθλητική απόδοση. Η αντιμετώπιση και η μείωση των επιπέδων πόνου μπορεί ενδεχομένως να οδηγήσει σε βελτιώσεις στην απόδοση επιτρέποντας στα άτομα να κινούνται πιο ελεύθερα, να δημιουργούν μεγαλύτερη δύναμη και να εκτελούν κινήσεις με καλύτερη τεχνική. Με τη μείωση του σταθερού πόνου, τα άτομα μπορεί να είναι σε θέση να αυξήσουν τα επίπεδα δραστηριότητάς τους, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει θετικά τους στόχους τους.

Όσο αφορά τις επιδράσεις των ωμέγα λιπαρών οξέων στη σύσταση σώματος, δεν φαίνεται στη βιβλιογραφία να υπάρχουν δυνατές ενδείξεις για κάτι τέτοιο. Την απουσία μεταβολών στην σύσταση σώματος παρουσιάζουν οι Delpino et al. (2022) όπου τα ωμεγα-3 δεν φαίνονται να επηρεάζουν την άλυπη μάζα σώματος βελτιώσει τη δύναμη και τη λειτουργική ικανότητα.

Σε άλλες μελέτες παρουσιάζεται η πολύπλευρη διάσταση των ωμεγα-3 όπου σε μια μελέτη των McGlory et al. (2019) διαπίστωσε ότι η χορήγηση συμπληρώματος ωμέγα-3 βελτίωσε τη μυϊκή δύναμη και μάζα σε άνδρες χωρίς προπόνηση. Ωστόσο, μια άλλη μελέτη των Ya-Hui Huang et al. (2020) διαπίστωσε ότι το συμπλήρωμα ωμέγα-3 δεν είχε σημαντικές επιδράσεις στη μυϊκή δύναμη ή μάζα σε ηλικιωμένους ενήλικες.

Η επίδραση του συμπληρώματος ωμέγα-6 λιπαρών οξέων στην απόδοση και τη σύσταση του σώματος δεν είναι καλά τεκμηριωμένη στη βιβλιογραφία και υπάρχουν περιορισμένες έρευνες που εξετάζουν ειδικά αυτό το θέμα. Τα ωμέγα-6 λιπαρά οξέα θεωρούνται γενικά

προφλεγμονώδη και η υπερβολική πρόσληψη ωμέγα-6 σε σχέση με τα ωμέγα-3 μπορεί να συμβάλει στη χρόνια φλεγμονή και στην ανάπτυξη χρόνιων ασθενειών.

Ωστόσο, ορισμένες μελέτες έχουν υποδείξει πιθανά οφέλη από τη συμπληρωματική χορήγηση ωμέγα-6 σε ορισμένες πτυχές της απόδοσης και της σύστασης του σώματος, αν και τα στοιχεία δεν είναι αρκετά για πλήρη τεκμηρίωση αυτής της δράσης τους(224). Ανασκόπηση αξιολόγησε τις επιδράσεις των συμπληρωμάτων λίπους στη σωματική απόδοση των αθλητών, συμπεριλαμβανομένων των συμπληρωμάτων ωμέγα-6. Συμπέρασμα ότι τα συμπληρώματα ωμέγα-6 μπορεί να έχουν πιθανά οφέλη για την απόδοση αντοχής και την αποκατάσταση, αλλά απαιτείται περαιτέρω έρευνα. Σε μια άλλη ανασκόπηση και μετά-ανάλυση αξιολογήθηκαν οι επιδράσεις των ωμέγα-6 λιπαρών οξέων στη σύσταση του σώματος και την ευαισθησία στην ινσουλίνη σε ενήλικες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα συμπληρώματα ωμέγα-6 δεν είχαν σημαντική επίδραση στο σωματικό βάρος, τον δείκτη μάζας σώματος ή το ποσοστό σωματικού λίπους, αλλά βελτίωσαν την ευαισθησία στην ινσουλίνη.

Συνολικά, οι επιδράσεις του συμπληρώματος ωμέγα-3 και ωμέγα-6 στους δείκτες απόδοσης και σύστασης σώματος είναι μικτές. Ενώ ορισμένες μελέτες ανέφεραν θετικές επιδράσεις, άλλες δεν ανέφεραν σημαντικές επιδράσεις. Η βέλτιστη ισορροπία μεταξύ αυτών των δύο τύπων λιπαρών οξέων στη διατροφή για τη βελτίωση της απόδοσης και της σύστασης του σώματος μένει να προσδιοριστεί.

• Επίδραση των Ω-3 και Ω-6 στην αποκατάσταση

Μελέτη οπού διερεύνησε την επίδραση του συμπληρώματος ωμέγα-3 στην αποκατάσταση από μυϊκή βλάβη που προκλήθηκε από έκκεντρη άσκηση σε αγύμναστους άνδρες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το συμπλήρωμα ωμέγα-3 μετρίασε την αύξηση της (IL-6 και της (CRP, οι οποίες αποτελούν δείκτες φλεγμονής. Οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το συμπλήρωμα ωμέγα-3 μπορεί να έχει ευεργετική επίδραση στην αποκατάσταση μετά την άσκηση μειώνοντας τη φλεγμονή. Τα ωμέγα-3 λιπαρά οξέα έχουν αποδειχθεί ότι διαθέτουν αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες και έχουν τη δυνατότητα να μετριάσουν τη φλεγμονή που προκαλείται από την άσκηση και τη μυϊκή βλάβη. Αρκετές μελέτες έχουν αναφέρει βελτιωμένη αποκατάσταση των μυών και μειωμένους δείκτες φλεγμονής με τη λήψη συμπληρωμάτων ωμέγα-3. Για παράδειγμα, οι Tartibian et al. (2011) διεξήγαγαν μια τυχαιοποιημένη ελεγχόμενη δοκιμή με τη συμμετοχή αθλητών αντοχής και διαπίστωσε ότι η συμπλήρωση ωμέγα-3 είχε ως αποτέλεσμα ταχύτερη αποκατάσταση της μυϊκής λειτουργίας και μειωμένους δείκτες φλεγμονής σε σύγκριση με ένα εικονικό φάρμακο(225). Ομοίως, οι Jouris et

al. (2011) ερεύνησαν τις επιδράσεις των συμπληρωμάτων ωμέγα-3 στην αποκατάσταση δύναμης και παρατήρησε σημαντικές βελτιώσεις(173).

Σε αντίθεση με τα πιο πάνω αποτελέσματα μια μελέτη διερεύνησε την επίδραση του συμπληρώματος ωμέγα-3 σε δείκτες οξειδωτικού στρες και μυϊκής βλάβης μετά από έκκεντρη άσκηση σε νεαρούς άνδρες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το συμπλήρωμα ωμέγα-3 μείωσε τους δείκτες οξειδωτικού στρες, αλλά δεν μείωσε τη μυϊκή βλάβη (226). Τα ωμέγα-3 και ωμέγα-6 λιπαρά οξέα μπορούν επίσης να διαδραματίσουν ρόλο στην αποκατάσταση από τραυματισμούς που σχετίζονται με τον αθλητισμό. Σε μια μελέτη ανδρών ποδοσφαιριστών με μυϊκούς τραυματισμούς, εκείνοι που κατανάλωσαν συμπλήρωμα ωμέγα-3 είχαν ταχύτερο χρόνο ανάρρωσης και λιγότερο πόνο σε σύγκριση με εκείνους που δεν έλαβαν το συμπλήρωμα.

Τα ωμέγα-6 λιπαρά οξέα είναι απαραίτητα θρεπτικά συστατικά που διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην ανθρώπινη υγεία. Τα διαθέσιμα στοιχεία δείχνουν ότι μπορεί επίσης να έχουν ευεργετική επίδραση στην αποκατάσταση από τραυματισμό, ασθένεια και μυϊκή βλάβη που προκαλείται από άσκηση. Ωστόσο, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για τον προσδιορισμό της βέλτιστης δοσολογίας και διάρκειας της συμπληρωματικής χορήγησης για την αποκατάσταση. Η υπερβολική κατανάλωση ωμέγα-6 λιπαρών οξέων μπορεί να οδηγήσει σε φλεγμονή. Είναι σημαντικό να διατηρείται μια ισορροπημένη αναλογία ωμέγα-3 προς ωμέγα-6 λιπαρών οξέων για την προαγωγή της βέλτιστης υγείας. Σε μια μελέτη των Jouris et al. (2011) διερεύνησε τις επιδράσεις του συμπληρώματος ωμέγα-6 στον μυϊκό πόνο, τη φλεγμονή και την αποκατάσταση σε υγιείς άνδρες. Η μελέτη διαπίστωσε ότι το συμπλήρωμα ωμέγα-6 μείωσε τον μυϊκό πόνο και τη φλεγμονή, αλλά δεν είχε σημαντική επίδραση στην αποκατάσταση.

Συμπερασματικά το συμπλήρωμα ωμέγα-3 μπορεί να έχει προστατευτική επίδραση έναντι του οξειδωτικού στρες, αλλά μπορεί να μην βελτιώνει την αποκατάσταση από τη μυϊκή βλάβη. Τα ωμέγα-6 λιπαρά οξέα είναι επίσης σημαντικά για την ανάρρωση, αλλά η υπερβολική κατανάλωση ωμέγα-6 λιπαρών οξέων μπορεί να οδηγήσει σε φλεγμονή.

Οι μελέτες εξετάστηκαν και δείχνουν ότι η συμπληρωματική χορήγηση ωμέγα-3 μπορεί να έχει ευεργετική επίδραση στην αποκατάσταση της μυϊκής βλάβης που προκαλείται από την άσκηση, μειώνοντας τη φλεγμονή, τον αντιληπτό πόνο και το οξειδωτικό στρες.

• Σημασία των μονοακόρεστων (MUFA) και κορεσμένων (SFA) λιπαρών οξέων στην αθλητική απόδοση

Οι αθλητές χρειάζονται μια ισορροπημένη και θρεπτική διατροφή για να καλύψουν τις απαιτήσεις τους σε ενέργεια και θρεπτικά συστατικά για βέλτιστη αθλητική απόδοση. Τα λιπαρά οξέα, συμπεριλαμβανομένων των μονοακόρεστων λιπαρών οξέων (MUFA) και των κορεσμένων λιπαρών οξέων (SFA), είναι βασικά συστατικά μιας υγιεινής διατροφής και διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην αθλητική απόδοση.

Τα MUFA είναι ακόρεστα λιπαρά οξέα με έναν διπλό δεσμό στην ανθρακική τους αλυσίδα. Τα MUFA βρίσκονται σε μια ποικιλία τροφίμων όπως το ελαιόλαδο, το αβοκάντο, οι ξηροί καρποί και οι σπόροι. Οι έρευνες δείχνουν ότι τα MUFA μπορούν να βελτιώσουν την αθλητική απόδοση μέσω διαφόρων μηχανισμών, συμπεριλαμβανομένης της βελτιωμένης ευαισθησίας στην ινσουλίνη, της μειωμένης φλεγμονής και της αυξημένης οξειδωσης του λίπους. Επιπλέον, η πρόσληψη MUFA έχει συσχετιστεί με μειωμένο κίνδυνο καρδιαγγειακής νόσου, γεγονός που είναι ευεργετικό για τους αθλητές, καθώς η καρδιαγγειακή υγεία είναι κρίσιμη για τη βέλτιστη απόδοση. Άλλες έρευνες έχουν δείξει ότι η υψηλή πρόσληψη MUFA μπορεί να έχει θετικά αποτελέσματα στην αθλητική απόδοση. Μια μελέτη διαπίστωσε ότι οι αθλητές που καταλάωναν μια διατροφή υψηλή σε MUFA είχαν χαμηλότερα επίπεδα οξειδωτικού στρες, το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε μυϊκή βλάβη, φλεγμονή και κόπωση.

Τα SFA είναι λιπαρά οξέα χωρίς διπλούς δεσμούς στην ανθρακική τους αλυσίδα. Τα SFA βρίσκονται σε ζωικά προϊόντα όπως το κρέας, τα γαλακτοκομικά και τα αυγά. Τα SFA έχουν συσχετιστεί με αρνητικά αποτελέσματα για την υγεία, όπως ο αυξημένος κίνδυνος καρδιαγγειακών παθήσεων, γεγονός που έχει οδηγήσει σε συστάσεις για περιορισμό της πρόσληψης SFA. Ωστόσο σε πρόσφατες έρευνες δείχνουν ότι τα SFA μπορεί να έχουν ευεργετικές επιδράσεις στην αθλητική απόδοση, ιδίως κατά την άσκηση αντοχής. Μια μελέτη διαπίστωσε ότι μια δίαιτα υψηλή σε SFA βελτίωσε την απόδοση σε προπονημένους ποδηλάτες κατά τη διάρκεια άσκησης υψηλής έντασης, ενδεχομένως μέσω της αυξημένης διαθεσιμότητας και χρήσης γλυκογόνου. Επιπλέον, η πρόσληψη SFA έχει συσχετιστεί με αυξημένα επίπεδα τεστοστερόνης, τα οποία μπορούν να βελτιώσουν τη μυϊκή μάζα και τη δύναμη.

Τέλος, τα MUFA και SFA είναι σημαντικά συστατικά μιας ισορροπημένης διατροφής για τους αθλητές. Τα MUFA μπορούν να βελτιώσουν την αθλητική απόδοση μέσω διαφόρων μηχανισμών, συμπεριλαμβανομένης της βελτιωμένης ευαισθησίας στην ινσουλίνη, της

μειωμένης φλεγμονής και της αυξημένης οξειδωσης του λίπους. Τα SFA μπορεί να έχουν ευεργετικές επιδράσεις στην αθλητική απόδοση, ιδίως σε ασκήσεις υψηλής έντασης, ενδεχομένως μέσω της αυξημένης διαθεσιμότητας και χρήσης γλυκογόνου. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η υπερβολική πρόσληψη SFA μπορεί να οδηγήσει σε αρνητικά αποτελέσματα για την υγεία και συνιστάται μια ισορροπημένη πρόσληψη τόσο MUFA όσο και SFA για βέλτιστη αθλητική απόδοση.



Κεφάλαιο 2

Η λειτουργική προπόνηση υψηλής έντασης βελτιώνει την καρδιοαναπνευστική ικανότητα και τη νευρομυϊκής απόδοση χωρίς φλεγμονή ή μυϊκή βλάβη

Εισαγωγή

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 2 δεκαετιών, διάφορες μορφές διαλειμματικής άσκησης υψηλής έντασης προπόνηση (HIIT) κερδίζουν δημοτικότητα λόγω της μικρότερης διάρκειας του χρόνου άσκησης σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους προπόνησης, και της αποτελεσματικότητάς τους στη βελτίωση της φυσικής κατάστασης αλλά και των παραμέτρων της υγείας. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ετήσιας έρευνας για τις παγκόσμιες τάσεις της γυμναστικής για το 2019, η HIIT κατατάσσεται στην τρίτη θέση μεταξύ των τάσεων της γυμναστικής και βρίσκεται μεταξύ των 3 κορυφαίων κάθε χρόνο από το 2014(227). Ένα τυπικό πρόγραμμα HIIT αποτελείται από σχετικά σύντομες, έντονες προπονήσεις που διαρκούν συνολικά 20-30 λεπτά και είναι ως εκ τούτου θεωρείται καλύτερη επιλογή όσον αφορά την αποδοτικότητα του χρόνου σε σύγκριση με τα παραδοσιακά προγράμματα άσκησης(98). Ωστόσο, τα περισσότερα σχήματα HIIT αποτελούνται κυρίως από αερόβιους τρόπους άσκησης, όπως το τρέξιμο ή η ποδηλασία, που οδηγούν σε καρδιαγγειακές προσαρμογές(98) ενώ συνήθως απουσιάζουν στοιχεία προπόνησης δύναμης.

Η λειτουργική προπόνηση υψηλής έντασης (HIIT) περιλαμβάνει σύντομες περιόδους έντονης άσκησης (π.χ. 30 δευτερόλεπτα) είτε τρεξίματος, ποδηλασίας ή κωπηλασίας, καθώς και λειτουργικές ασκήσεις, όπως ασκήσεις με το βάρος του σώματος (burpees, push-ups, κ.λπ.), και άρση βαρών (άρση βαρών και ώθηση). Αυτή η μορφή άσκησης γίνεται όλο και πιο δημοφιλής στα γυμναστήρια, ενδεχομένως λόγω των υψηλότερων επιπέδων προτίμησης των υποκειμένων σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μορφές άσκησης και την αυξημένη προσκόλληση στην άσκηση υποσχόμενα.

Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η HIIT έχει ως αποτέλεσμα βελτιώσεις σε διάφορα στοιχεία της φυσικής κατάστασης (π.χ. αυξήσεις σε μυϊκής δύναμης, ισχύος, αντοχής, μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου και σύσταση σώματος), τα οποία μπορεί να προσδώσουν οφέλη για την υγεία (π.χ. βελτιωμένη ομοιόσταση της γλυκόζης και χαμηλότερο κίνδυνο εμφάνισης καρδιαγγειακών νόσων). Η πολυμορφική φύση των προγραμμάτων HIIT μπορεί να εξηγήσει τις ευνοϊκές προσαρμογές σε μια ποικιλία από φυσιολογικών και σωματικών στοιχείων της φυσικής κατάστασης, αντί για μόνο σε ένα μόνο συστατικό. Οι βελτιώσεις στις παραμέτρους της φυσικής κατάστασης, όπως η καρδιοαναπνευστική ικανότητα, η δύναμη, και οι ευλυγισία, καθώς και στη σύσταση του σώματος και στο μεταβολισμό των οστών που αναφέρονται στη βιβλιογραφία μπορεί να παρέχουν ένα μέτρο της αποτελεσματικότητας αυτού του τύπου προπόνησης. Παρά τη συνολική αποτελεσματικότητά της στη βελτίωση των δια-

φόρων παραμέτρων της φυσικής κατάστασης, η HIFT μπορεί να επιβάλλει υψηλές επιβαρύνσεις στο νευρομυϊκό σύστημα, οδηγώντας σε αυξημένη μυϊκή βλάβη και φλεγμονή. Για παράδειγμα, είναι γνωστό ότι η αντίσταση σε ασκήσεις που χρησιμοποιούνται στη HIFT, ειδικά εκείνες που περιλαμβάνουν έκκεντρες συσπάσεις, μπορούν να προκαλέσουν μυϊκή βλάβη και αυξημένη φλεγμονή, όπως φαίνεται από τις αυξήσεις της κρεατινικής κινάσης (CK) και των CRP. Ωστόσο, οι οξείες και χρόνιες επιδράσεις των προγραμμάτων HIFT στους δείκτες των μυϊκών βλάβης και της φλεγμονής δεν έχουν διερευνηθεί πλήρως, ενώ πληροφορίες σχετικά με τις επιδράσεις τέτοιων προγραμμάτων στην νευρομυϊκή απόδοση είναι ακόμη ελάχιστες. Έτσι, ο στόχος της παρούσας μελέτης ήταν διπλός: (α) να εξετάσει την επίδραση ενός προγράμματος HIFT διάρκειας 8 εβδομάδων στην καρδιοαναπνευστική και νευρομυϊκή απόδοση σε υγιή, σωματικά δραστήρια άτομα και (β) να διερευνηθούν οι αποκρίσεις των δεικτών φλεγμονής και μυϊκής βλάβης στις συνεδρίες HIFT στην αρχή και στο τέλος του προγράμματος.

Μέθοδοι

• Πειραματική προσέγγιση του προβλήματος

Χρησιμοποιήθηκε ένας σχεδιασμός επαναλαμβανόμενων μετρήσεων για τη διερεύνηση των επιδράσεων των HIFT στη φυσική κατάσταση, τη σύσταση του σώματος και σε επιλεγμένες βιοχημικές δείκτες φλεγμονής και μυϊκής βλάβης σε διάστημα οκτώ- εβδομάδων. Κάθε συνεδρία HIFT περιλάμβανε εννέα ασκήσεις (30 δευτερόλεπτα η καθεμία με 15 δευτερόλεπτα ανάπαυσης) που εκτελέστηκαν για τέσσερις γύρους. Οι συμμετέχοντες προπονήθηκαν ως ομάδα, τρεις φορές την εβδομάδα. Την εβδομάδα πριν και την εβδομάδα μετά την προπονητική περίοδο, οι συμμετέχοντες υποβλήθηκαν σε αξιολόγηση της φυσικής κατάστασης και της σύστασης του σώματος, συμπεριλαμβανομένης της μέτρησης της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου ($\dot{V}O_{2max}$), της έκτασης και κάμψης του γόνατος μέγιστη ροπή (ισοκινητική δυναμομετρία, μέγιστη δύναμη στην πίεση πάγκου (1 μια μέγιστη επανάληψη-1RM), κατακόρυφο άλμα, μυϊκή αντοχή (κοιλιακή και πιέσεις πάγκου στο 65% 1RM), και σύσταση σώματος (βιοηλεκτρική εμπέδηση). Επιπλέον, κατά τη διάρκεια της πρώτης και την τελευταία εβδομάδα της προπόνησης, λαμβάνονταν καθημερινά δείγματα αίματος στο το πρωί για την παρακολούθηση των αποκρίσεων της CK και της CRP στις προπονήσεις. Η απόδοση κατά τη διάρκεια της προπόνησης (δηλαδή, αριθμός επαναλήψεων κατά τη διάρκεια των 30

δευτερολέπτων για κάθε άσκηση) καταγράφηκε επίσης κατά τη διάρκεια της πρώτης και της τελευταίας εβδομάδας της προπόνησης.

• Συμμετέχοντες

Στη μελέτη αυτή συμμετείχαν δεκατρείς υγιείς, σωματικά δραστήριοι ενήλικες εθελοντές (πέντε άνδρες και οκτώ γυναίκες, εύρος ηλικίας 21-38 ετών, $28,4 \pm 3,8$ έτη). Πριν από την έναρξη της μελέτης, όλοι οι εθελοντές εξετάστηκαν από ιατρό και έλαβαν άδεια συμμετοχής. Τα άτομα συμπεριλήφθηκαν εφόσον πληρούσαν τα ακόλουθα κριτήρια: ήταν υγιείς άνδρες ή γυναίκες, ηλικίας μεταξύ 18 και 45 ετών, χωρίς οξύ μυοσκελετικό πρόβλημα και οποιαδήποτε φαρμακευτική αγωγή, είχαν ΔΜΣ μεταξύ 23 και $27 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, και είχαν προπονηθεί με αντιστάσεις και ασκήσεις αντοχής στο γυμναστήριο για περισσότερο από έξι μήνες (3-4 φορές την εβδομάδα). Οι καπνιστές και τα άτομα με χρόνια μυοσκελετικά ή μεταβολικά προβλήματα (π.χ. διαβήτη) αποκλείστηκαν από τη μελέτη. Όλα τα άτομα ενημερώθηκαν για τα οφέλη και τους κινδύνους της έρευνας πριν υπογράψουν ένα εγκεκριμένο από το ίδρυμα ενημερωμένο έγγραφο συγκατάθεσης για τη συμμετοχή στη μελέτη. Η μελέτη αυτή εγκρίθηκε από την Εθνική Επιτροπή Βιοηθικής της Κύπρου (CNBC/ 2016/56), και όλα τα άτομα υπέγραψαν έντυπο συγκατάθεσης μετά από ενημέρωση, γραπτής και προφορική επεξήγηση της φύσης, του στόχου και των μεθοδολογίας της μελέτης.

• Διαδικασίες

Μετά την εξοικείωση και τη αρχική αξιολόγηση της φυσικής κατάστασης, οι συμμετέχοντες ακολούθησαν ένα πρόγραμμα HIFT τρεις φορές την εβδομάδα για οκτώ εβδομάδες. Στην πρώτη καθώς και στην όγδοη εβδομάδα προπόνησης, λαμβανόταν δείγμα φλεβικού αίματος το πρωί κάθε εργάσιμης ημέρας (Σχημα 1). Μετά το τέλος του προγράμματος HIFT, οι συμμετέχοντες επανέλαβαν την ανθρωπομετρική αξιολόγηση και τις δοκιμασίες φυσικής κατάστασης. Τηρήθηκε λεπτομερές αρχείο κατανάλωσης τροφής και υγρών για 24 ώρες πριν από την πρώτη επίσκεψη στο εργαστήριο για την αξιολόγηση της φυσικής κατάστασης, και η ίδια διατροφή επαναλήφθηκε 24 ώρες πριν από τις δοκιμασίες μετά την προπόνηση των 8 εβδομάδων. Οι δοκιμασίες μετά την προπόνηση έλαβαν χώρα τουλάχιστον 72 ώρες μετά την τελευταία προπονητική συνεδρία για να επιτραπεί η επαρκής αποκατάσταση, ενώ ζητήθηκε από τα άτομα να απέχουν από κάθε έντονη άσκηση την ημέρα πριν από την εξέταση. Επίσης, ζητήθηκε από τα άτομα να απέχουν από κάθε άλλη έντονη δραστηριότητα κατά τη

διάρκεια της μελέτης. Αυτό επιβεβαιωνόταν ρωτώντας τους συμμετέχοντες σε κάθε επίσκεψη και ελέγχονταν περαιτέρω με την καταγραφή της εισόδου τους στις εγκαταστάσεις του γυμναστηρίου με ηλεκτρονική κάρτα-κλειδί.

• Ανθρωπομετρική αξιολόγηση

Το ύψος μετρήθηκε με αναστημόμετρο με ακρίβεια 0,5 cm (Sa, Chino, CA). Η σωματική μάζα, το σωματικό λίπος και η μυϊκή μάζα μετρήθηκαν με αναλυτή βιοηλεκτρικής εμπέδησης πολλαπλών συχνοτήτων (Sa mBCA 515, Sa). Όλες οι μετρήσεις σύστασης σώματος πραγματοποιήθηκαν τις πρώτες πρωινές ώρες (7-9 π.μ.) σε κατάσταση νηστείας. Τα άτομα φορούσαν μόνο ελαφρύ σορτς και μπλουζάκι. Για να εξασφαλιστεί η ενυδάτωση και να ληφθούν έγκυρες μετρήσεις, ζητήθηκε από τα άτομα να πιούν τουλάχιστον 2 L υγρών την ημέρα πριν από την αξιολόγηση της σύστασης σώματος και να προσέλθουν στο εργαστήριο ακριβώς την ίδια ώρα τόσο στις μετρήσεις πριν όσο και στις μετρήσεις μετά την τις 8 εβδομάδες προπόνησης.

• Αξιολόγηση καρδιοαναπνευστικής ικανότητας

Η $\dot{V}O_2\max$ και ο η μέγιστη καρδιακή συχνότητα (HR_{\max}) μετρήθηκαν με τη χρήση πρωτοκόλλου τρεξίματος με προοδευτικά αυξανόμενη ένταση σε επίπεδο διάδρομο (h/p/cosmos pulsar 3p; HP Cosmos, Nussdorf-Traunstein, Γερμανία). Η αρχική ταχύτητα ήταν $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ και αυξανόταν κάθε λεπτό κατά $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ μέχρι την εξάντληση. Η πρόσληψη οξυγόνου μετρήθηκε με αναλυτή αερίων (Quark CPET- Cosmed, Ρώμη, Ιταλία). Το σημείο αναπνευστικής αναπλήρωσης (respiratory compensation point, RC), που αντιστοιχεί στο δεύτερο αναπνευστικό κατώφλι, προσδιορίστηκε με βάση τις μεταβολές του πνευμονικού αερισμού ($\dot{V}E$), της πρόσληψης οξυγόνου ($\dot{V}O_2$) και του συνολικού εκπνεόμενου CO_2 ($\dot{V}CO_2$), σύμφωνα με τον Wasserman. Η καρδιακή συχνότητα (HR) παρακολουθείτο συνεχώς με τη χρήση ενός οργάνου παρακολούθησης καρδιακού ρυθμού Polar (H10 Heart Rate sensor, Kempele, Φινλανδία). Όλα τα άτομα πέτυχαν πραγματική $\dot{V}O_2\max$, καθώς πληρούσαν τα κριτήρια που έθεσε η ACSM.

• Αξιολόγηση ισοκινητικής δύναμης

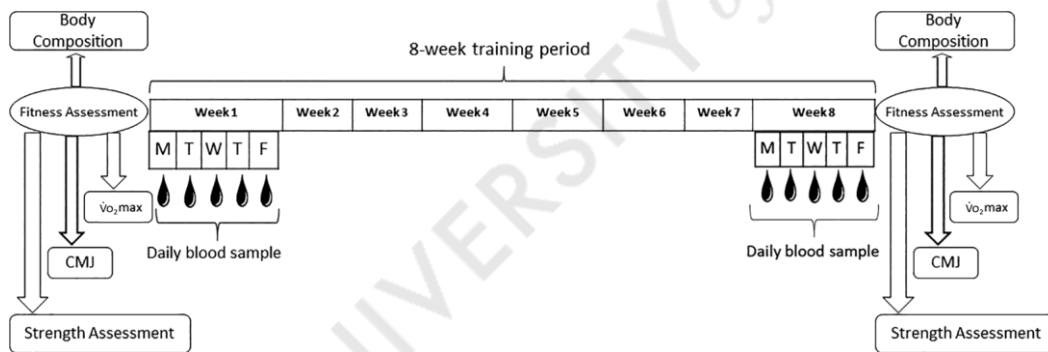
Η ισοκινητική δύναμη των εκτεινόντων και καμπτήρων του γόνατος μετρήθηκε σε ισοκινητικό δυναμόμετρο (HumacNorm, μοντέλο 770, CSMI Humac Norm, Stoughton, MA). Οι εξεταζόμενοι ήταν καθιστοί και στερεωμένοι στο κάθισμα με ιμάντες στο στήθος και στους

μηρούς. Ο κορμός διατηρήθηκε σε όρθια θέση με την πλάτη του καθίσματος κάθετη. Ο άξονας του δυναμόμετρου ρυθμίστηκε έτσι ώστε το κέντρο κίνησης του μοχλοβραχίονα να ευθυγραμμίζεται με τον άξονα κάμψης-έκτασης της άρθρωσης του γόνατος. Το εύρος της κίνησης διατηρήθηκε μεταξύ 0° και 90°. Οι εξεταζόμενοι πραγματοποίησαν 5 μέγιστες σύγκεντρες εκτάσεις και κάμψεις με γωνιακή ταχύτητα 60°·s⁻¹ υπό ισχυρή λεκτική ενθάρρυνση. Αυτή η γωνιακή ταχύτητα χρησιμοποιείται συνήθως για την ισοκινητική αξιολόγηση της δύναμης των εκτεινόντων και καμπτήρων του γόνατος, καθώς παρέχει έγκυρα και αξιόπιστα αποτελέσματα. Η μέγιστη ροπή προσδιορίστηκε ως η υψηλότερη τιμή της έκτασης και της κάμψης του γόνατος που λαμβάνεται κατά τη διάρκεια της δοκιμασίας.

• Επίδοση κατακόρυφου άλματος

Οι εξεταζόμενοι πραγματοποίησαν άλματα από ημικάθισμα (SJ), με τα χέρια σταθερά στη μέση, και άλματα με αντίθετη προπαρασκευαστική κίνηση με ελεύθερα χέρια (CMJs). Το ύψος του άλματος υπολογίστηκε από το χρόνο πτήσης με τη χρήση της συσκευής OptoJump Next (Microgate, Bolzano, Italy). Επιτράπηκαν τρεις προσπάθειες για κάθε άλμα με 1 λεπτό ανάπαυσης μεταξύ των αλμάτων και καταγράφηκε η καλύτερη προσπάθεια.

Σχήμα 1. Πειραματικό πρωτόκολλο της μελέτης. CMJ = Άλμα με αντίθετη προπαρασκευαστική κίνηση ελεύθερων χεριών. $\dot{V}O_{2max}$ = μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου.



• Δύναμη άνω μέρους του σώματος

Η πίεση πάγκου χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση της δύναμης του άνω μέρους του σώματος. Επειδή όλα τα άτομα είχαν προηγούμενη εμπειρία με τις πιέσεις πάγκου, χρησιμοποιήθηκε μια εκτίμηση του 1RM τους για να οριστεί το βάρος για τα αρχικά σετ της δοκιμής. Μετά από μια προθέρμανση με ελαφρά βάρη, ζητήθηκε από τα άτομα να εκτελέσουν 10 επαναλήψεις στο 50% του εκτιμώμενου 1RM και στη συνέχεια 5 επαναλήψεις στο

75% και 3 επαναλήψεις στο 85%. Στη συνέχεια, το βάρος αυξανόταν διαδοχικά κατά 2,5 ή 5 κιλά, με τους δοκιμαζόμενους να εκτελούν μία πίεση σε κάθε βάρος μέχρι να επιτευχθεί το πραγματικό 1RM. Μεταξύ των σετ και των μεμονωμένων προσπαθειών τηρήθηκε περίοδος ανάπαυσης 4 λεπτών.

• Μυϊκή αντοχή

Η μυϊκή αντοχή αξιολογήθηκε για το άνω μέρος του σώματος και τους κοιλιακούς μύες. Η πρώτη αξιολογήθηκε με τις πιέσεις πάγκου στο 65% του 1RM: Μετά από 10 λεπτά αποκατάστασης μετά τη μέτρηση του 1RM ζητήθηκε από τους εξεταζόμενους να εκτελέσουν όσο το δυνατόν περισσότερες επαναλήψεις στο 65% του 1RM με σωστή τεχνική. Η δοκιμασία τερματίστηκε όταν οι εξεταζόμενοι δεν μπορούσαν να σηκώσουν τη μπάρα ή όταν η πλάτη τους δεν ακουμπούσε στον πάγκο. Η μυϊκή αντοχή των κοιλιακών μυών αξιολογήθηκε με τη δοκιμασία ροκανισμάτων/επαναλήψεων 1 λεπτού. Ζητήθηκε από τους εξεταζόμενους να εκτελέσουν όσο το δυνατόν περισσότερα ροκανίσματα/κοιλιακούς σε 1 λεπτό σε ύπια θέση, με τα γόνατα λυγισμένα στις 90°, τα πόδια σταθερά στο έδαφος από έναν βοηθό και τα χέρια σταυρωμένα στο στήθος με τους αγκώνες να διατηρούνται στην κοιλιά. Μια επανάληψη γινόταν αποδεκτή όταν οι αγκώνες άγγιζαν τους μηρούς.

• Πρωτόκολλο λειτουργικής προπόνησης υψηλής έντασης

Όλα τα άτομα εκτελούσαν το πρωτόκολλο HIFT κάθε Δευτέρα, Τετάρτη και Παρασκευή, στις 5 μ.μ.. Πριν από την έναρξη της προπόνησης, όλα τα άτομα είχαν εξοικειωθεί με το πρωτόκολλο προπόνησης και τον εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε σε 2-3 συνεδρίες εξοικείωσης. Σε κάθε προπονητική συνεδρία, κατά την άφιξη στο χώρο άσκησης, γινόταν τυποποιημένη προθέρμανση διάρκειας 10 λεπτών, η οποία αποτελούνταν από λειτουργικές ασκήσεις, μικρά άλματα, δυναμικές διατάξεις και σύντομα σπριντ. Μετά την προθέρμανση, οι εξεταζόμενοι εκτελούσαν το πρωτόκολλο HIFT, το οποίο περιελάμβανε 9 ασκήσεις των 30 δευτερολέπτων: upright και sumo squat (65% 1RM), sit-ups κρατώντας 3-kg ιατρική μπάλα, clean and press (65% 1RM), box jumps σε 45-cm box), chest press χρησιμοποιώντας κρεμαστούς μάντες (TRX), wall-ball χρησιμοποιώντας 4-kg ιατρική μπάλα, burpees, sledgehammer exercise (3–5 kg hammer), και επαναληπτικά σπριντ 10 μέτρων.

Η αναλογία εργασίας της ανάπαυσης ήταν 2:1, δηλαδή 30 δευτερόλεπτα εργασίας ακολουθούσαν 15 δευτερόλεπτα αποκατάστασης, κατά τη διάρκεια των οποίων οι εξεταζόμενοι

προχωρούσαν στην επόμενη άσκηση. Κάθε συνεδρία περιελάμβανε 4 γύρους των 9 ασκήσεων, με διάλειμμα 2 λεπτών μεταξύ των γύρων 2 και 3. Η βελτίωση της απόδοσης κατά τη διεξαγωγή των ασκήσεων αξιολογήθηκε με την καταγραφή του συνολικού αριθμού των επαναλήψεων που εκτελέστηκαν κατά τη διάρκεια κάθε άσκησης (30 δευτερόλεπτα) στους γύρους 1 και 4, στην πρώτη προπονητική συνεδρία της εβδομάδας 1 και 8.

Ο προσδιορισμός του φορτίου (65% 1RM) που θα χρησιμοποιούνταν κατά τη διάρκεια του προγράμματος HIFT για το upright και sumo squat και το clean and press έγινε κατά τη διάρκεια της προκαταρκτικής περιόδου δοκιμών, με βάση το προβλεπόμενο 1RM των συμμετεχόντων. Κατά τη διάρκεια μιας ξεχωριστής συνεδρίας, ζητήθηκε από τα άτομα να εκτελέσουν πολλαπλά (2-4) σετ των 8 επαναλήψεων, με 4 λεπτά ανάπαυσης, μέχρι να επιτευχθεί το μέγιστο βάρος που μπορούσε να ανυψωθεί για 8 επαναλήψεις με σωστή τεχνική. Στη συνέχεια, το 1RM εκτιμήθηκε από το φορτίο των 8RM με βάση τη σχετική βιβλιογραφία (29) και υπολογίστηκε το τελικό φορτίο 65% 1RM.

• **Καταγραφή καρδιακής συχνότητας**

Η καρδιακή συχνότητα παρακολουθούνταν συνεχώς κατά τη διάρκεια κάθε προπονητικής συνεδρίας ως δείκτης της εσωτερικής επιβάρυνσης με τη χρήση τηλεμετρικών αισθητήρων και λογισμικού (H7 Polar Team έκδοση 1.2). Σε κάθε συνεδρία καταγράφονταν η μέγιστη και η μέση καρδιακή συχνότητα, καθώς και ο συνολικός χρόνος κατά τον οποίο η καρδιακή συχνότητα ήταν στο 90% ή πάνω από το 90% της μέγιστης καρδιακής συχνότητας (T90).

Βιοχημικές μετρήσεις: Κατά τη διάρκεια της πρώτης και της τελευταίας εβδομάδας της προπόνησης, 5 ml φλεβικού αίματος λαμβάνονταν από μια φλέβα του βραχίονα το πρωί κάθε εργάσιμης ημέρας (Δευτέρα έως Παρασκευή) μεταξύ 7:30 και 9:30 π.μ. σε κατάσταση νηστείας για τον προσδιορισμό της CRP και της CK. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, μια νοσηλεύτρια βρισκόταν στο χώρο για τη διενέργεια της αιμοληψίας. Καθώς οι εξεταζόμενοι εισέρχονταν στο εργαστήριο, τους επιτρεπόταν να καθίσουν άνετα για 20 λεπτά, προτού ο νοσηλευτής πραγματοποιήσει τη φλεβοτομή και τη λήψη αίματος. Τα δείγματα αίματος διανεμήθηκαν σε απλά σωληνάκια και αφέθηκαν να πήξουν. Στη συνέχεια, τα δείγματα φυγοκεντρήθηκαν στις 4.000 στροφές ανά λεπτό για 8 λεπτά και ο ορός συλλέχθηκε σε σωληνάκια Eppendorf. Όλες οι αναλύσεις αίματος πραγματοποιήθηκαν την ημέρα της δειγ-

ματοληψίας. Η C-αντιδρώσα πρωτεΐνη προσδιορίστηκε με ανοσοτουρβιδιμετρική δοκιμασία και η δραστικότητα της CK προσδιορίστηκε με κινητική UV δοκιμασία, αμφότερες σε αναλυτή Beckman Coulter AU480 (Atlanta, GA) με εμπορικά διαθέσιμα κιτ.

• Στατιστικές αναλύσεις

Όλες οι στατιστικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του SPSS for Windows, v.23.0 (IBM, Armonk, NY). Οι ανθρωπομετρικές μεταβλητές και οι μεταβλητές απόδοσης πριν και μετά την προπόνηση συγκρίθηκαν με τη χρήση του ζευγαρωμένου Student t-test. Ο δείκτης Cohen d χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των μεγεθών επίδρασης για τις συγκρίσεις ανά ζεύγη. Το μέγεθος επίδρασης θεωρήθηκε μικρό εάν κυμαινόταν μεταξύ 0,2 και 0,49, μεσαίο εάν κυμαινόταν μεταξύ 0,5 και 0,79 και μεγάλο εάν κυμαινόταν μεταξύ 0,8 και άνω. Για την ανάλυση των τιμών της CK και της CRP χρησιμοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις δύο κατευθύνσεων (εβδομάδα [πρώτη Vs. όγδοη] x ημέρα [Δευτέρα έως Παρασκευή]). Επίσης, μια ANOVA δύο κατευθύνσεων με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις (εβδομάδα [πρώτη έναντι όγδοης] x γύρος [1 και 4]) χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των επιδόσεων κατά τη διάρκεια των συνεδριών HIFT. Όταν βρέθηκε σημαντική κύρια επίδραση ή αλληλεπίδραση, χρησιμοποιήθηκε το Tukey post-hoc test για τον εντοπισμό σημαντικών διαφορών. Οι τιμές μερικού τετραγώνου eta (η^2) χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση του μεγέθους της επίδρασης στην παραγοντική ANOVA δύο κατευθύνσεων με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις. Το μερικό η^2 θεωρήθηκε μικρό εάν κυμαινόταν μεταξύ 0,01 και 0,059, μέτριο εάν κυμαινόταν μεταξύ 0,06 και 0,137 και μεγάλο εάν κυμαινόταν μεταξύ 0,138 και άνω. Η στατιστική σημαντικότητα έγινε αποδεκτή σε $p \leq 0,050$.

Αποτελέσματα

Όλα τα άτομα ολοκλήρωσαν την περίοδο προπόνησης HIFT 8 εβδομάδων χωρίς τραυματισμούς.

• Σύσταση σώματος

Η σωματική μάζα, ο ΔΜΣ, η μάζα χωρίς λίπος και η μυϊκή μάζα δεν άλλαξαν σημαντικά μετά από 8 εβδομάδες HIFT (Πίνακας 1). Ωστόσο, το σωματικό λίπος μειώθηκε κατά 0.64 ± 1.01 kg ($p = 0.041$, $d = 0.14$).

• Καρδιοαναπνευστική ικανότητα

Μετά το πρόγραμμα προπόνησης 8 εβδομάδων, η VO_{2max} αυξήθηκε κατά $1.9 \pm 2.2 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (4.6 %; $p = 0.009$, $d = 0.24$), η μέγιστη αερόβια ταχύτητα αυξήθηκε κατά $0.6 \pm 0.8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (5.2%; $p = 0.014$, $d = 0.24$), και η HR στην RC μειώθηκε κατά $3 \pm 5 \text{ b}\cdot\text{min}^{-1}$ (1.7%; $p = 0.045$, $d = 0.26$). Η ταχύτητα στο RC έτεινε να αυξηθεί κατά $0.4 \pm 0.7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ($p = 0.054$, $d = 0.22$). Η HRmax ήταν $185 \pm 10 \text{ b}\cdot\text{min}^{-1}$ και παρέμεινε αμετάβλητη μετά την προπόνηση (Πίνακας 2).

• Μυϊκή δύναμη, μυϊκή αντοχή και κατακόρυφο άλμα

Η μέγιστη δύναμη στον πάγκου αυξήθηκε κατά $4.5 \pm 3.8 \text{ kg}$ (8.9%, $p = 0.001$, $d = 0.20$). Το άλμα από κάθισμα βελτιώθηκε κατά $3.0 \pm 2.5 \text{ cm}$ (10.7%, $p = 0.050$, $d = 0.41$) και το CMJ κατά $2.6 \pm 1.5 \text{ cm}$ (7.9%, $p = 0.001$, $d = 0.30$). Ωστόσο, η μέγιστη ροπή κατά την έκταση του γόνατος ($p = 0,475$) και την κάμψη ($p = 0,166$) δεν παρουσίασε σημαντικές αλλαγές (Σχήμα 2).

Μετά το πρόγραμμα προπόνησης 8 εβδομάδων, υπήρξαν μεγάλες βελτιώσεις στη μυϊκή αντοχή. Ο αριθμός των επαναλήψεων σε πιέσεις πάγκου στο 65% 1RM αυξήθηκε κατά 4 ± 5 επαναλήψεις (21.0%, $p = 0.03$, $d = 0.92$), και ο αριθμός των κοιλιακών ροκανισμάτων σε 1 λεπτό αυξήθηκε κατά 6 ± 4 επαναλήψεις 6 ± 4 επαναλήψεις (15.0%, $p = 0.001$, $d = 0.73$, Σχ. 3).

• Απόδοση κατά τη διάρκεια των λειτουργικών προπονήσεων υψηλής έντασης

Η λειτουργική προπόνηση υψηλής έντασης για 8 εβδομάδες είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των επαναλήψεων που εκτελέστηκαν κατά τη διάρκεια του πρώτου και του τέταρτου γύρου για τις ασκήσεις 5 και 6, αντίστοιχα, από τις 9 ασκήσεις που εκτελέστηκαν όπως παρουσιάζεται λεπτομερώς στο Σχήμα 4. Οι μόνες ασκήσεις στις οποίες οι επιδόσεις δεν επηρεάστηκαν από την προπόνηση ήταν το clean and press, wall ball ριψεις, και hammer. Η απόδοση σε όλες τις άλλες ασκήσεις αυξήθηκε κατά 18-29%.

Πίνακας 1. Δεδομένα σύστασης σώματος πριν και μετά από 8 εβδομάδες HIFT.

ΔΜΣ= Δείκτης μάζας σώματος

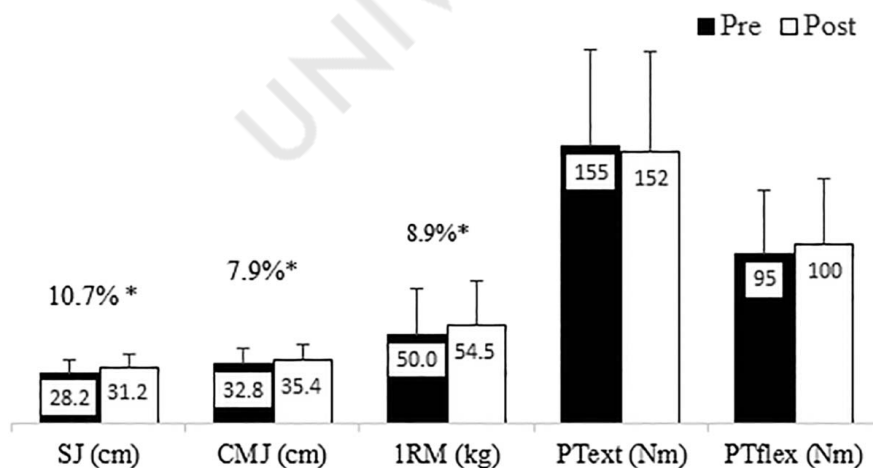
	Αρχική μέτρηση	Μετά από 8 εβδομάδες	Μεταβολή, %	P
Μάζα σώματος (kg)	65.3 ± 13.1	64.7 ± 13.0	-0.1	0.191
ΔΜΣ (kg/m ²)	24.0 ± 2.9	23.7 ± 2.9	-1.3	0.116
Μάζα σωματικού λίπους (kg)	15.0 ± 4.5	14.4 ± 4.3	-3.7	0.041
Μυϊκή μάζα (kg)	23.6 ± 7.0	23.4 ± 6.9	-0.9	0.128
Άλιπη σωματική μάζα (kg)	50.0 ± 12.4	50.1 ± 12.2	0.07	0.825

Πίνακας 2. Παράμετροι καρδιοαναπνευστικής ικανότητας πριν και μετά από 8 εβδομάδες HIFT.*

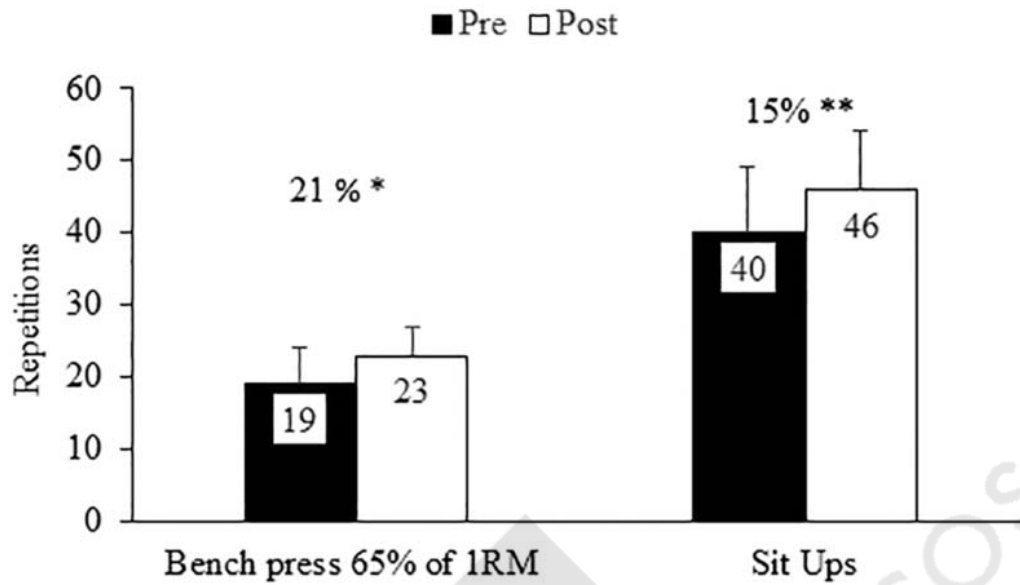
*HIFT = λειτουργική προπόνηση υψηλής έντασης, $\dot{V}O_{2max}$ = μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου, HR = καρδιακή συχνότητα, HRmax = μέγιστη καρδιακή συχνότητα, RC = σημείο αναπνευστικής αντιστάθμισης, Έντονους χαρακτήρες = σημαντικότητα $p < 0,05$.

	Αρχική μέτρηση	Μετά από 8 εβδομάδες	Μεταβολή, %	p
Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	44.2 ± 8.2	46.1 ± 8.1	4.3	0.009
Μέγιστος καρδιακός ρυθμός ($b \cdot min^{-1}$)	185 ± 10	185 ± 10	0	0.529
Μέγιστη αερόβια ταχύτητα ($km \cdot h^{-1}$)	13.6 ± 2.7	14.2 ± 2.5	4.5	0.014
Ταχύτητα αναπνευστικής αντιστάθμισης ($km \cdot h^{-1}$)	10.8 ± 1.9	11.2 ± 1.8	3.6	0.054
Καρδιακός ρυθμός αναπνευστικής αντιστάθμισης ($b \cdot min^{-1}$)	171 ± 13	168 ± 11	-1.7	0.045

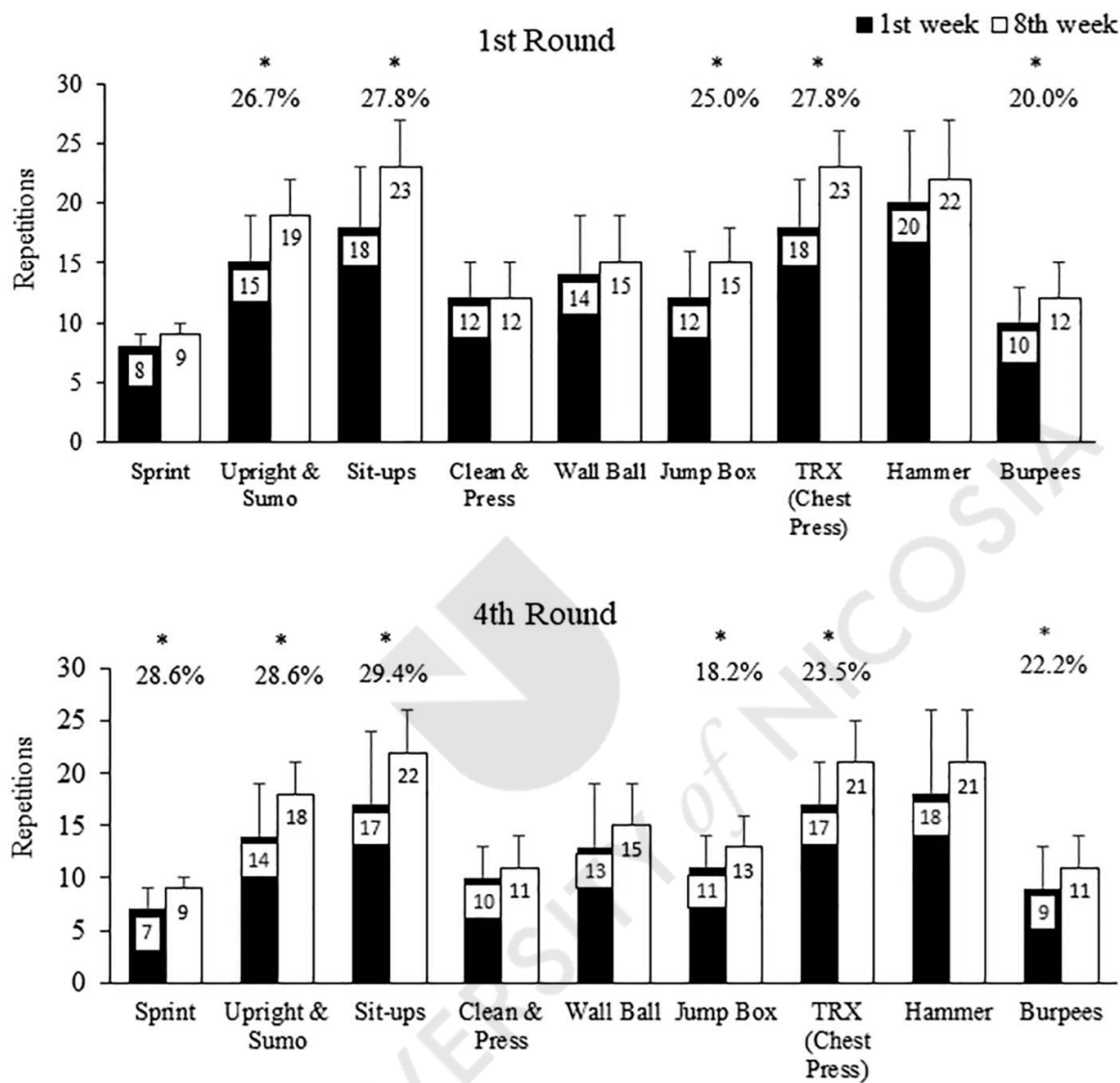
Σχήμα 2. Άλμα από ημικάθισμα (SJ), άλμα με αντίθετη παροπαρασκευαστική κίνηση ελεύθερων χεριών (CMJ), μέγιστη δύναμη πάγκου (1RM), και μέγιστη ισοκινητική ροπή για έκταση (PText), και κάμψη (PTflex) του γόνατος που μετρήθηκαν σε γωνιακή ταχύτητα $60^\circ \cdot s^{-1}$, πριν (προ) και μετά (μετά) 8 εβδομάδες προπόνησης HIFT. Τα ποσοστά αντιπροσωπεύουν αλλαγές μεταξύ των τιμών πριν και μετά. * $p < 0,05$ από την προ-προπόνηση.



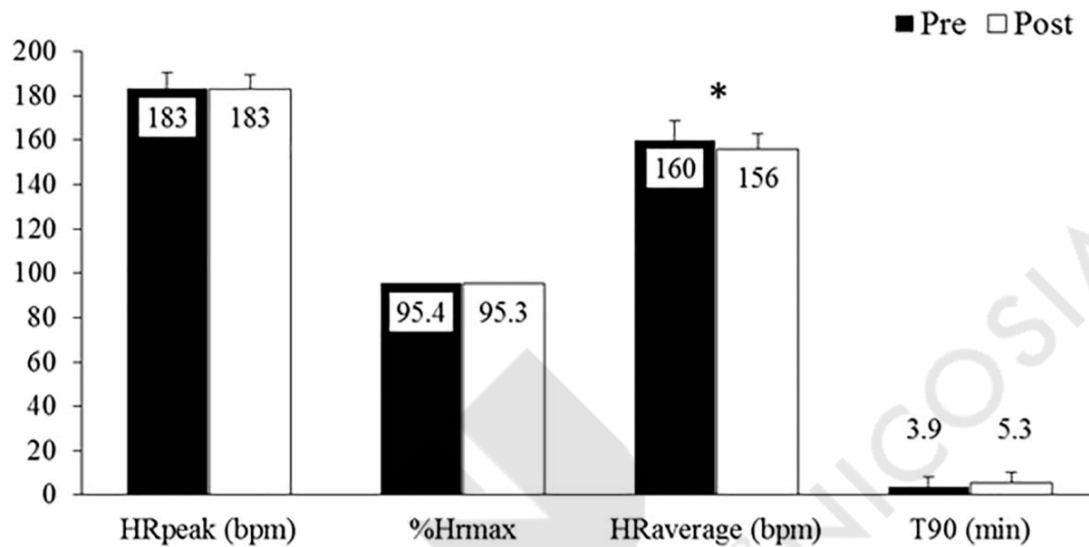
Σχήμα 3. Αριθμός επαναλήψεων που εκτελέστηκαν μέχρι εξάντλησης στην άσκηση πιέσεων πάγκου με φορτίο 65% 1RM και στην άσκηση καθίσματος 1 λεπτού, πριν (πριν) και μετά (μετά) την προπόνηση. Παρουσιάζονται επίσης οι μπάρες SD. Τα ποσοστά αντιπροσωπεύουν τις αλλαγές μεταξύ των τιμών πριν και μετά την προπόνηση μετά από 8 εβδομάδες HIFT. * $p = 0,030$, ** $p < 0,001$ από την προ-προπόνηση.



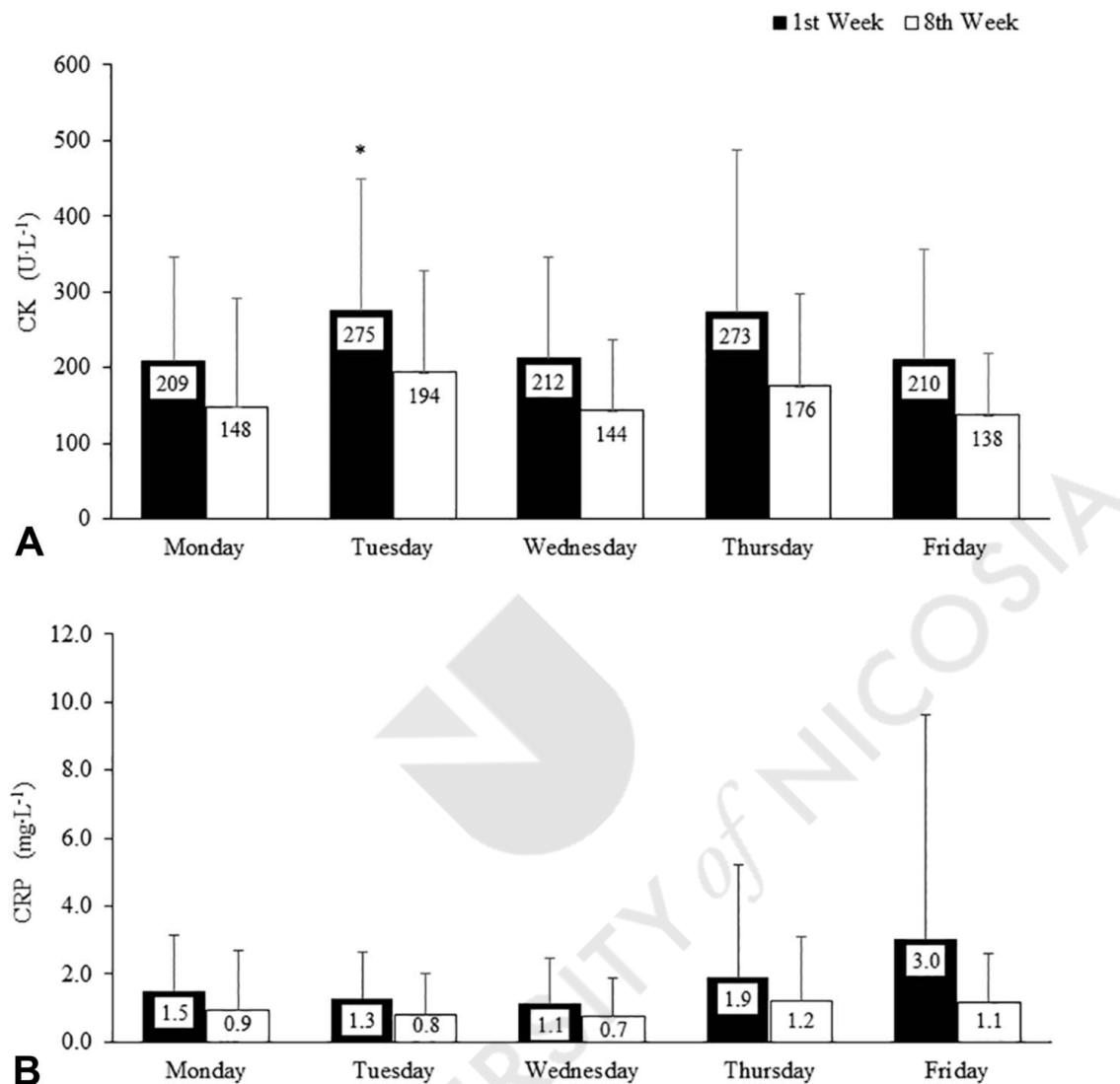
Σχήμα 4. Αριθμός επαναλήψεων (μέσος όρος και SD) σε κάθε μία από τις 9 ασκήσεις που εκτελέστηκαν στον πρώτο και τέταρτο γύρο του πρωτοκόλλου HIFT κατά την πρώτη και την όγδοη εβδομάδα προπόνησης. Τα ποσοστά αντιπροσωπεύουν στατιστικά σημαντικές αλλαγές ($p \leq 0,010$) μεταξύ της πρώτης και της όγδοης εβδομάδας του HIFT.



Σχήμα 5. Απαντήσεις καρδιακού ρυθμού κατά τη διάρκεια του πρωτοκόλλου HIFT κατά την πρώτη και την όγδοη εβδομάδα προπόνησης. HRpeak = μέγιστη καρδιακή συχνότητα κατά τη διάρκεια της προπόνησης- %HRmax = HRpeak εκφρασμένη ως ποσοστό της μέγιστης καρδιακής συχνότητας (HRmax), HRaverage = μέση καρδιακή συχνότητα κατά τη διάρκεια της προπόνησης T90 = χρόνος κατά τον οποίο η καρδιακή συχνότητα ήταν πάνω από το 90% της HRmax. *p < 0,05, σημαντική διαφορά από την προ- προπόνηση.



Σχήμα 6. Κρεατινική κινάση ορού (CK, A) και C-αντιδρώσα πρωτεΐνη (CRP, B) κατά τις καθημερινές της πρώτης και της όγδοης εβδομάδας του HIFT. * $p < 0,05$ σημαντικά διαφορετική από την Παρασκευή (κύρια επίδραση για τις ημέρες).



• Ανταπόκριση καρδιακού ρυθμού κατά τη διάρκεια λειτουργικής προπόνησης υψηλής έντασης

Κατά τη διάρκεια της όγδοης εβδομάδας, η μέση HR κατά τη διάρκεια της προπόνησης παρουσίασε μείωση κατά περίπου 2,9% ($p = 0,004$, $d = 0,65$), ενώ η μέγιστη HR ($p = 0,895$), το % HRmax ($p = 0,904$) και η T90 ($p = 0,150$) παρέμειναν αμετάβλητες σε σύγκριση με την πρώτη εβδομάδα (Σχήμα 5).

• Βιοχημικές παράμετροι

Δεν βρέθηκε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ εβδομάδας και ημέρας για την CK ($p = 0,452$, $h^2 = 0,068$). Βρέθηκε σημαντική κύρια επίδραση για τον παράγοντα ημέρα ($p = 0,008$, $h^2 = 0,243$) και οι post hoc συγκρίσεις έδειξαν ότι η CK ήταν υψηλότερη το πρωί μετά την πρώτη συνεδρία HIFT της εβδομάδας, σε σύγκριση με την Παρασκευή ($p = 0,043$, $d = 0,44$) και έτεινε να είναι υψηλότερη σε σύγκριση με την Τετάρτη ($p = 0,069$, $d = 0,42$) και τη Δευτέρα ($p = 0,077$, $d = 0,38$). Οι τιμές CK της Πέμπτης (πρωί μετά τη δεύτερη συνεδρία HIFT της εβδομάδας) ήταν παρόμοιες με τις τιμές της Τρίτης ($p = 0,98$) (Σχήμα 6A). Επιπλέον, υπήρξε σημαντική κύρια επίδραση της εβδομάδας ($p = 0,027$, $h^2 = 0,347$), γεγονός που υποδεικνύει ότι η μέση CK κατά τη διάρκεια της όγδοης εβδομάδας ήταν 32% χαμηλότερη σε σύγκριση με την πρώτη εβδομάδα (160 έναντι $235 \text{ U}\cdot\text{L}^{-1}$, Σχήμα 6A).

Δεν βρέθηκε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ εβδομάδας και ημέρας για την CRP ($p = 0,425$). Δεν υπήρχαν επίσης σημαντικές κύριες επιδράσεις της ημέρας ($p = 0,310$) ή της εβδομάδας ($p = 0,225$), γεγονός που υποδεικνύει ότι η CRP δεν επηρεάστηκε από το HIFT βραχυπρόθεσμα ή μακροπρόθεσμα (Εικόνα 6B).

Συζήτηση

Αυτή η μελέτη έδειξε ότι η HIFT που εκτελείται για 8 εβδομάδες έχει σημαντική επίδραση στην καρδιοαναπνευστική ικανότητα, στη μυϊκή αντοχή, στη μέγιστη δύναμη του άνω μέρους του σώματος και στο κατακόρυφο άλμα χωρίς να προκαλεί μυϊκή βλάβη ή φλεγμονή. Τα αποτελέσματα αυτά υποδηλώνουν ότι η HIFT δεν είναι μόνο μια εξαιρετικά αποτελεσματική αλλά και μια ασφαλής προσέγγιση για σωματικά δραστήρια άτομα που στοχεύουν στη βελτίωση διαφόρων πτυχών της φυσικής τους κατάστασης, συμπεριλαμβανομένης της αντοχής, της δύναμης και των στοιχείων ισχύος του κάτω και του άνω μέρους του σώματος, με άσκηση μόνο για 30 λεπτά ανά συνεδρία, 3 φορές την εβδομάδα.

Είναι γνωστό ότι τα προγράμματα προπόνησης αντοχής και τα προγράμματα HIIT με ποδηλασία, τρέξιμο ή κωπηλασία είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές μορφές άσκησης όσον αφορά τη βελτίωση της καρδιοαναπνευστικής ικανότητας(98). Ωστόσο, υπάρχουν μόνο λίγες μελέτες που εξετάζουν τις επιδράσεις των ασκήσεων λειτουργικής προπόνησης δύναμης που εκτελούνται με κυκλικό τρόπο (δηλ. HIFT) στην VO_{2max} . Σε αυτή τη μελέτη, δείξαμε ότι η HIFT αυτής της μορφής μπορεί να επιβάλλει υψηλό φορτίο στο καρδιοαναπνευστικό σύστημα, επειδή η μέγιστη HR που επιτεύχθηκε ήταν 95% της HR_{max} και η μέση HR ήταν

πάνω από 90% της HRmax για περίπου 50-65% της διάρκειας των προπονητικών συνεδριών (Εικόνα 5). Είναι ενδιαφέρον ότι αυτό το υψηλό καρδιοαναπνευστικό φορτίο επιτεύχθηκε με την επανάληψη ασκήσεων δύναμης, ταχύτητας και ισχύος, όπως άλματα, άρση βαρών και σπριντ 10 μέτρων, για 30 δευτερόλεπτα, με σύντομο διάστημα επαναφοράς (αναλογία εργασίας προς ανάπαυση 2 προς 1). Έτσι, τα ευρήματα αυτά δείχνουν ότι η HIFT μπορεί να θεωρηθεί ως μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος όσον αφορά τη βελτίωση της καρδιαγγειακής ικανότητας, επειδή βελτιώνει τόσο η $\dot{V}O_{2max}$ όσο και το όριο αναπνοής, όπως εκτιμάται από το σημείο RC (πίνακας 2).

Στην παρούσα μελέτη διαπιστώθηκε σημαντική μείωση του σωματικού λίπους (Πίνακας 1). Παρόμοιο εύρημα έχει αναφερθεί μόνο σε μία προηγούμενη μελέτη HIFT διάρκειας 16 εβδομάδων, ενώ άλλες μελέτες ανέφεραν είτε καμία μεταβολή του σωματικού λίπους είτε μείωση του ποσοστού σωματικού λίπους λόγω αύξησης της άλιπης μάζας. Συνεπώς, το παρόν πρωτόκολλο HIFT φαίνεται να είναι αποτελεσματικό όσον αφορά τη βελτίωση της σύστασης του σώματος μετά από μόλις 8 εβδομάδες HIFT τόσο σε απόλυτους (kg λίπους) όσο και σε σχετικούς όρους (% σωματικού λίπους). Ο φυσιολογικός μηχανισμός της απώλειας σωματικού λίπους ξεφεύγει από το πεδίο εφαρμογής της παρούσας μελέτης, αλλά προηγούμενες μελέτες έχουν υποδείξει ότι κατά τη διάρκεια και τις λίγες ώρες μετά από μια συνεδρία HIFT αυξάνεται η οξειδωση του λίπους. Περαιτέρω, μια πρόσφατη μελέτη για το HIFT ανέφερε αυξημένη έκκριση αυξητικών ορμονών μετά την άσκηση, οι οποίες μπορεί να αυξήσουν τον μεταβολικό ρυθμό και την οξειδωση του λίπους.

Εκτός από τις θετικές επιδράσεις στην καρδιαγγειακή ικανότητα και τη σύσταση του σώματος, η HIFT οδήγησε σε σημαντική αύξηση της μυϊκής δύναμης του άνω μέρους του σώματος (κατά 8,9%), και της δύναμης του κάτω μέρους του σώματος (7,9%, Σχήμα 2) και ακόμη περισσότερο της μυϊκής αντοχής των κοιλιακών μυών και του άνω μέρους του σώματος (κατά 15-21%, Σχήμα 3). Η μεγαλύτερη βελτίωση της τοπικής μυϊκής αντοχής, σε σύγκριση με τη δύναμη και τη ισχύ, μπορεί να οφείλεται στην αυξημένη ικανότητα εκτέλεσης περισσότερων επαναλήψεων εντός του διαθέσιμου χρόνου (30 δευτερόλεπτα) στις περισσότερες ασκήσεις, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3, το οποίο δείχνει αύξηση 18-29% στις επαναλήψεις που εκτελούνται μετά από 8 εβδομάδες προπόνησης. Έτσι, ο συνολικός αριθμός των εκτελεσμένων επαναλήψεων σε κάθε άσκηση πιθανώς αυξήθηκε προοδευτικά κατά τη διάρκεια της προπόνησης και αυτό το αυξημένο προπονητικό φορτίο μπορεί να είχε αντίκτυπο στην τοπική μυϊκή αντοχή.

Η υψηλότερη τοπική μυϊκή αντοχή μετά τη HIFT μπορεί να οφείλεται σε περιφερειακές

προσαρμογές, αυξάνοντας την οξειδωτική ικανότητα των μυών, ικανότητα όπως η αύξηση της πυκνότητας των μυϊκών τριχοειδών και της περιεκτικότητας σε μιτοχόνδρια, καθώς και η βελτίωση της λειτουργίας των μιτοχονδριακών ενζύμων.

Παρά την αύξηση του 1RM στην πίεση πάγκου και τη χρήση φορτίων που θα προκαλούσαν μυϊκή υπερτροφία κατά τη διάρκεια της προπόνησης (π.χ., sumo squat και clean and press στο 65% του 1RM) , στην παρούσα μελέτη δεν παρατηρήθηκε καμία αλλαγή στη μυϊκή μάζα (Πίνακας 1). Αυτό μπορεί να οφείλεται στην ταυτόχρονη επίδραση της προπόνησης, όπου τα υπερτροφικά σήματα στο μυ, όπως το μονοπάτι mTOR, αναστέλλονται από την αύξηση της σηματοδότησης του μονοπατιού AMPK. Έτσι, οι αυξήσεις στο 1RM κατά την άσκηση πάγκου μπορεί να αποδοθούν σε νευρικούς παράγοντες. Επιπλέον, τα φορτία που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη μελέτη μπορεί να μην ήταν επαρκή για την πρόκληση υπερτροφίας, καθώς τα άτομα είχαν προηγούμενη εμπειρία με την άσκηση με αντιστάσεις. Ειδικότερα, παρόμοια με τις βελτιώσεις στη δύναμη, η βελτίωση της απόδοσης στο κατακόρυφο άλμα μπορεί επίσης να αποδοθεί σε νευρικές προσαρμογές, όπως η αυξημένη μυϊκή ενεργοποίηση και ο συντονισμός. Η έλλειψη βελτίωσης της μέγιστης ισοκινητικής ροπής σε ταχύτητα $60^{\circ} \cdot s^{-1}$ τόσο για τους τετρακέφαλους όσο και για τους οπίσθιους μηριαίους μυς μπορεί να σημαίνει ότι οι ασκήσεις που περιλαμβάνονται στο παρόν πρόγραμμα HIFT δεν απευθύνονται σημαντικά στους εν λόγω μυς ή ότι η μονοαρθρική δοκιμή των μυών του γόνατος δεν αντικατοπτρίζει τις πολυαρθρικές προσαρμογές που προκύπτουν από τη λειτουργική προπόνηση.

Κύριος στόχος της παρούσας μελέτης ήταν να εξεταστούν οι μεταβολές στους δείκτες μυϊκής βλάβης και φλεγμονής κατά την πρώτη και την όγδοη εβδομάδα της προπονητικής περιόδου. Εξ όσων γνωρίζουμε, οι επιδράσεις των προγραμμάτων HIFT στους βιοχημικούς και ορμονικούς δείκτες παραμένουν ελάχιστα διερευνημένες. Σε μια πρόσφατη μελέτη , μια συνεδρία HIFT αύξησε τόσο τις κυκλοφορούσες συγκεντρώσεις τεστοστερόνης όσο και κορτιζόλης την ημέρα μετά τη συνεδρία άσκησης. Επιπλέον, 2 συνεχείς συνεδρίες HIFT αύξησαν τις φλεγμονώδεις κυτταροκίνες, όπως οι IL-6, την επομένη της άσκησης. Οι παραπάνω μελέτες εξέτασαν μόνο τις οξείες επιδράσεις του HIFT στο ορμονικό περιβάλλον και τους φλεγμονώδεις δείκτες. Ωστόσο, η παρούσα μελέτη ήταν η πρώτη που εξέτασε τις μεταβολές στους δείκτες μυϊκής βλάβης και φλεγμονής για 5 διαδοχικές ημέρες τόσο στην αρχή όσο και στο τέλος μιας περιόδου HIFT. Αναμενόταν ότι η υψηλής έντασης φύση αυτού του προγράμματος, που περιλαμβάνει πλειομετρικές ασκήσεις, σπριντ και ασκήσεις δύναμης, θα προκαλούσε μυϊκή βλάβη και φλεγμονή.

Ωστόσο, τα αποτελέσματα έδειξαν μια μέτρια αύξηση της CK μόνο το πρωί μετά την πρώτη συνεδρία HIFT (δηλ. ~14 ώρες αργότερα), με την CK να επιστρέφει στην αρχική τιμή σε λιγότερο από 48 ώρες μετά από κάθε συνεδρία. Αξίζει να σημειωθεί ότι, αν και η αύξηση της CK ήταν στατιστικά σημαντική, το μέγεθος της μεταβολής της CK δεν υπερέβη σημαντικά το ανώτερο όριο των φυσιολογικών τιμών. Επίσης, δεν υπήρξε πρόσθετη επίδραση των πολλαπλών προπονήσεων κατά τη διάρκεια της εβδομάδας στην CK, αλλά μπορεί να θεωρηθεί ότι κάθε προπονητική συνεδρία προκάλεσε μια μικρή αύξηση της CK την επόμενη ημέρα (δηλαδή, η συνεδρία της Δευτέρας αύξησε τη δραστηριότητα της CK το πρωί της Τρίτης), η οποία επέστρεψε στα προ της άσκησης επίπεδα το πρωί της Τετάρτης (Εικόνα 6). Αυτό ενδεχομένως οφείλεται στην προπονητική κατάσταση των ατόμων μας, τα οποία ήταν συνηθισμένα σε αυτό το είδος άσκησης, και έρχεται σε αντίθεση με ό,τι παρατηρείται μετά από μη συνηθισμένη έκκεντρη ή πλειομετρική άσκηση αντίστασης σε μη προπονημένα άτομα ή σε επίλεκτους άνδρες και γυναίκες παίκτες μετά από ποδοσφαιρικό αγώνα, όπου η CK κορυφώθηκε 24 ώρες μετά την άσκηση και παρέμεινε αυξημένη για 48-72 ώρες. Επομένως, αυτό το πρόγραμμα HIFT φαίνεται να έχει μόνο μια ελάχιστη και παροδική επίδραση στη δραστηριότητα της CK, γεγονός που υποδηλώνει χαμηλό βαθμό μυϊκής βλάβης, πιθανώς λόγω της διάρκειας και του περιεχομένου του, καθώς και της προπονητικής κατάστασης των ατόμων που είχαν προπονηθεί με ασκήσεις αντίστασης και καρδιακής άσκησης στο γυμναστήριο 3-4 φορές την εβδομάδα για περισσότερο από 6 μήνες πριν από τη μελέτη. Επιπλέον, κατά την όγδοη εβδομάδα της προπονητικής περιόδου, η απόκριση της CK μετά από προπονητικές συνεδρίες ήταν μειωμένη σε σύγκριση με την 1η εβδομάδα, γεγονός που δείχνει την προσαρμοστικότητα των μυών σε αυτό το προπονητικό καθεστώς HIFT, σύμφωνα με το φαινόμενο των επαναλαμβανόμενων προπονήσεων.

Η C-αντιδρώσα πρωτεΐνη, ένας δείκτης φλεγμονής, δεν αυξήθηκε σε καμία στιγμή κατά τη διάρκεια της πρώτης και της τελευταίας εβδομάδας του προγράμματος HIFT (Εικόνα 6). Μετά από έντονη άσκηση, ο μικροτραυματισμός των μυών μπορεί να οδηγήσει σε συστηματική φλεγμονώδη αντίδραση. Ωστόσο, φαίνεται ότι η φυσιολογική και νευρομυϊκή επιβάρυνση κατά τη διάρκεια του προγράμματος HIFT δεν ήταν αρκετά υψηλή ώστε να προκαλέσει αύξηση της CRP. Έχει αναφερθεί ότι η φλεγμονώδης απόκριση οξείας φάσης είναι προ-δομική του μυϊκού τραυματισμού και, επομένως, οι μεταβολές της CRP μπορεί να ακολουθούν την απόκριση CK. Έτσι, σε αυτή τη μελέτη, η απουσία απόκρισης CPR υποδηλώνει έλλειψη σημαντικών φλεγμονωδών αποκρίσεων λόγω του χαμηλού βαθμού μυϊκής βλάβης, όπως υποδεικνύεται από τη μέτρια αύξηση της CK. Η έλλειψη ομάδας ελέγχου

μπορεί να θεωρηθεί περιορισμός της παρούσας μελέτης. Ωστόσο, δεν ήταν δυνατόν να βρεθούν άτομα συγκρίσιμης φυσικής κατάστασης με τα υποκείμενά μας, τα οποία θα απείχαν από την άσκηση για 8 εβδομάδες, καθώς ένα από τα κριτήρια επιλογής ήταν η άσκηση προπόνησης αντίστασης και καρδιακής άσκησης στο γυμναστήριο για περισσότερο από 6 μήνες πριν από την έναρξη της μελέτης.

Συμπέρασμα

Τα ευρήματα αυτής της μελέτης δείχνουν ότι ένα ομαδικό πρόγραμμα HIFT διάρκειας 8 εβδομάδων μπορεί να βελτιώσει αποτελεσματικά διάφορες παραμέτρους φυσικής κατάστασης και σύστασης σώματος σε υγιείς ενήλικες. Το παρόν πρόγραμμα ήταν καλά ανεκτό από τα άτομα, καθώς δεν οδήγησε σε μυϊκό τραυματισμό και συνοδεύτηκε από μικρή αύξηση του δείκτη έμμεσης μυϊκής βλάβης CK και του φλεγμονώδους δείκτη CRP. Επομένως, το εν λόγω πρόγραμμα HIFT θα μπορούσε να θεωρηθεί κατάλληλο και αποτελεσματικό για την αύξηση της συνολικής φυσικής κατάστασης του γενικού υγιούς πληθυσμού.

Πρακτικές εφαρμογές

Αυτή η μελέτη παρέχει τόσο στους αθλητικούς επιστήμονες όσο και στους επικεφαλής ομάδων γυμναστικής ένα αποτελεσματικό πρόγραμμα HIFT, κατάλληλο για την πρόκληση ευνοϊκών αλλαγών στη φυσική κατάσταση σε διάστημα 8 εβδομάδων χωρίς ανεπιθύμητες αντιδράσεις, όπως μυϊκή βλάβη ή φλεγμονή. Καθώς το HIFT γίνεται όλο και πιο δημοφιλές στα γυμναστήρια, με πολλά άτομα να επιθυμούν να βελτιώσουν τη συνολική φυσική κατάσταση με ελάχιστη επένδυση χρόνου, πρωτόκολλα παρόμοια με αυτά που προ συντάχθηκαν σε αυτή τη μελέτη μπορούν να θεωρηθούν ως ασφαλείς και αποτελεσματικές επιλογές.

Κεφάλαιο 3

Η προσθήκη ασκήσεων αντίστασης υψηλού φορτίου σε λειτουργική προπόνηση υψηλής έντασης προκαλεί περαιτέρω βελτιώσεις στη σύσταση του σώματος και τη δύναμη

Εισαγωγή

Η λειτουργική προπόνηση υψηλής έντασης (HIFT) είναι μια σύγχρονη μορφή άσκησης που βελτιώνει πολλές πτυχές της φυσικής κατάστασης και της ψυχικής υγείας(117). Τα προγράμματα HIFT συνδυάζουν ασκήσεις υψηλής έντασης και λειτουργικές ασκήσεις και θα μπορούσαν να βελτιώσουν την απόδοση της αερόβιας και αναερόβιας άσκησης. Οι ασκήσεις πολλαπλών αρθρώσεων (τρέξιμο, κωπηλασία, ώθηση κ.λπ.) που περιλαμβάνονται σε ένα τυπικό πρόγραμμα HIFT επηρεάζουν θετικά διάφορες παραμέτρους της φυσικής κατάστασης και της υγείας και τη σύσταση του σώματος. Έχει προταθεί ότι η HIFT μπορεί να προσαρμοστεί σε οποιοδήποτε επίπεδο φυσικής κατάστασης και ότι προκαλεί βελτιώσεις στη σύσταση του σώματος, στη μυϊκή δύναμη, και στην καρδιοαναπνευστική ικανότητα. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα προγράμματα αυτά μπορούν να εκτελούνται με ασφάλεια και χωρίς να προκαλούν υπερβολική φλεγμονή ή μυϊκή βλάβη(228). Επιπλέον, η HIFT μπορεί επίσης να επηρεάσει ευεργετικά τις ψυχολογικές παραμέτρους(229) και τις παραμέτρους ποιότητας ζωής που σχετίζονται με την υγεία. Τα προγράμματα HIFT μπορούν εύκολα να αξιοποιηθούν για την προπόνηση σχετικά μεγάλων ομάδων ατόμων και συνεπώς είναι κατάλληλα για εφαρμογή σε αθλητικά κέντρα και γυμναστήρια(228). Λαμβάνοντας υπόψη αυτά τα οφέλη και τη χρονικά αποδοτική φύση των προγραμμάτων άσκησης υψηλής έντασης, δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι το HIFT έχει λάβει μεγάλη δημοτικότητα.

Ωστόσο, η επίδραση της HIFT στη μυϊκή μάζα και στα συστατικά της φυσικής κατάστασης που σχετίζονται με τη δύναμη παραμένει αμφιλεγόμενη. Η μυϊκή μάζα και η δύναμη συνδέονται σε μεγάλο βαθμό με τον αθλητισμό και την άσκηση σε αθλητικούς πληθυσμούς, ενώ στον γενικό ενήλικο πληθυσμό, η αύξηση της μυϊκής μάζας και της δύναμης συνδέεται με καλύτερη ποιότητα ζωής και ικανότητα εκτέλεσης καθημερινών δραστηριοτήτων. Επιπλέον, η δύναμη έχει συσχετιστεί με την ολική θνησιμότητα.

Εξ όσων γνωρίζουμε, οι επιδράσεις ενός τυπικού προγράμματος HIFT στη δύναμη και την υπερτροφία των μυών δεν έχουν μελετηθεί εκτενώς. Σε μια πρόσφατη μελέτη της ομάδας μας, οκτώ εβδομάδες ενός ομαδικού προγράμματος HIFT οδήγησαν σε μείωση του σωματικού λίπους και βελτίωση της καρδιοαναπνευστικής ικανότητας σε υγιείς νεαρούς ενήλικες. Ωστόσο, παρά την αύξηση της μυϊκής αντοχής των μυών του άνω μέρους του σώματος, δεν υπήρξε αύξηση της μυϊκής μάζας. Συνεπώς, υπάρχει ανάγκη τροποποίησης των τυπικών μεθόδων HIFT για τη βελτίωση αυτών των παραμέτρων. Πράγματι, ορισμένες πρόσφατες μελέτες εξέτασαν τις επιδράσεις διαφόρων προγραμμάτων HIFT στη φυσική κατάσταση και

στις παραμέτρους της σύστασης του σώματος. Για παράδειγμα, 12 εβδομάδες HIFT με χρήση χαμηλού ή μεσαίου φορτίου ήταν εξίσου αποτελεσματικές στη βελτίωση της άλιπης μάζας σώματος και της μέγιστης δύναμης, αν και μόνο η ομάδα χαμηλού φορτίου παρουσίασε μείωση του σωματικού λίπους(230). Επιπλέον, η συμμετοχή στο CrossFit για έξι μήνες βελτίωσε τις παραμέτρους της φυσικής κατάστασης, συμπεριλαμβανομένης της μυϊκής δύναμης και της αντοχής(231).

Θεωρείται ότι η μυϊκή ανάπτυξη με την προπόνηση αντίστασης μπορεί να επιτευχθεί με 8-12 επαναλήψεις ανά σετ στο 60-80% του 1 RM. Πιστεύεται επίσης ότι η προπόνηση αντίστασης με φορτίο 70% 1 RM είναι επαρκής για να προκαλέσει αύξηση της μυϊκής δύναμης και να προκαλέσει μυϊκή υπερτροφία. Επιπλέον, η προπόνηση με χρήση ενός ευρύτερου εύρους φόρτισης (π.χ. 6-15 RM) μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική αύξηση της μυϊκής δύναμης και της ισχύος(232). Ωστόσο, κατά τη διάρκεια ενός τυπικού προγράμματος HIFT, οι συμμετέχοντες εκτελούν πολύ περισσότερες από 15 επαναλήψεις χρησιμοποιώντας είτε ασκήσεις με το βάρος του σώματος (burpees, push-ups κ.λπ.) είτε ένα εξωτερικό φορτίο που συνήθως δεν υπερβαίνει το 60% του 1 RM (π.χ. άρσεις θανάτου, thrusters). Πρόσφατα στοιχεία υποδεικνύουν ότι η μυϊκή υπερτροφία μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση χαμηλών φορτίων, υπό την προϋπόθεση ότι τα σετ εκτελούνται μέχρι την εκούσια αποτυχία, κάτι που δεν συμβαίνει πάντα στην HIFT. Έτσι, είναι δύσκολο να βελτιστοποιηθεί το HIFT όσον αφορά την ένταση και τον όγκο, ώστε να επιτευχθεί αύξηση τόσο της μυϊκής μάζας όσο και της δύναμης. Επί του παρόντος, υπάρχει έλλειψη μελετών σχετικά με την επίδραση ενός ομαδικού προγράμματος HIFT στη μυϊκή μάζα και δεν υπάρχει συγκεκριμένο πρόγραμμα HIFT σχεδιασμένο να μεγιστοποιεί την αύξηση της μυϊκής μάζας, ενώ είναι ανεκτό. Ως εκ τούτου, σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να εξετάσει τις επιπτώσεις της αντικατάστασης μιας άσκησης για το άνω και μιας για το κάτω μέρος του σώματος ενός τυπικού προγράμματος HIFT με παρόμοιες ασκήσεις υψηλού φορτίου (80% 1 RM) στη μυϊκή μάζα και δύναμη. Υποθέσαμε ότι η προσθήκη των ασκήσεων υψηλού φορτίου θα αύξανε τη μυϊκή μάζα και θα βελτίωνε περαιτέρω τις παραμέτρους της φυσικής κατάστασης σε υγιείς, σωματικά δραστήριους ενήλικες.

Υλικά και μέθοδοι

• Συμμετέχοντες

Η ανάλυση ισχύος με τη χρήση επαναλαμβανόμενων μετρήσεων, ανάλυσης διακύμανσης μεταξύ αλληλεπίδρασης (λογισμικό G-Power, v. 3.1.9.2, Universität Kiel, Kiel, Γερμανία) υπέδειξε ελάχιστο μέγεθος δείγματος 8 συμμετεχόντων ανά ομάδα, με βάση ισχύ 0,80, άλφα 0,05 και συντελεστή συσχέτισης 0,5 μεταξύ επαναλαμβανόμενων μετρήσεων. Σε μια σχετική μελέτη, το μέγεθος της επίδρασης για παρόμοιες παραμέτρους ήταν μεταξύ μεσαίου και μεγάλου (οι μερικές τιμές του τετραγώνου η^2 που αναφέρθηκαν ήταν μεταξύ 0,11 και 0,21). Ως εκ τούτου, επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε ένα μεσαίο μέγεθος επίδρασης στην ανάλυση ισχύος a priori για όλες τις εξεταζόμενες παραμέτρους (μερικό τετράγωνο $\eta^2 = 0,137$) με βάση τον Cohen (1988).

Είκοσι υγιείς, σωματικά δραστήριοι ενήλικες εθελοντές συμμετείχαν σε αυτή την τυχαίοποιημένη δοκιμή διάρκειας οκτώ εβδομάδων (12 γυναίκες και 8 άνδρες, 30 ± 4 έτη, μέσος όρος \pm SD καθ' όλη τη διάρκεια). Όλοι οι συμμετέχοντες είχαν τουλάχιστον έξι μήνες εμπειρίας σε προπόνηση αντίστασης (συμπεριλαμβανομένης της προπόνησης υψηλού φορτίου) και προπόνηση υψηλής έντασης. Τα κριτήρια ένταξης για τη μελέτη ήταν υγιή άτομα (άνδρες και γυναίκες από 18 έως 45 ετών) χωρίς οξύ μυοσκελετικό πρόβλημα/τραυματισμό, με Δείκτη Μάζας Σώματος (ΔΜΣ) κάτω από $30 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ και χωρίς φαρμακευτική αγωγή πριν ή κατά τη διάρκεια της μελέτης. Τα κριτήρια αποκλεισμού ήταν το κάπνισμα, η μυοσκελετική ή μεταβολική νόσος και η συμμετοχή σε οποιαδήποτε άλλη μορφή προπόνησης επιπλέον των πειραματικών προγραμμάτων HIFT.

Ένας γιατρός εξέτασε όλους τους συμμετέχοντες πριν από την έναρξη της μελέτης. Όλοι οι συμμετέχοντες ήταν υγιείς και δεν έπαιρναν φαρμακευτική αγωγή. Η παρούσα μελέτη εγκρίθηκε από την Εθνική Επιτροπή Βιοηθικής της Κύπρου (CNBC/2016/56). Όλοι οι συμμετέχοντες υπέγραψαν έντυπο συναίνεσης, μετά από γραπτή και προφορική επεξήγηση της φύσης της μελέτης, του στόχου, των μετρήσεων και των πιθανών κινδύνων.

• Σχεδιασμός της μελέτης

Ένας ανεξάρτητος ερευνητής που δεν συμμετείχε στη συλλογή ή την ανάλυση των δεδομένων πραγματοποίησε τυχαιοποίηση μέσω υπολογιστή, λαμβάνοντας υπόψη το φύλο, για να κατανείμει τα άτομα ισότιμα στις δύο ομάδες. Οι συμμετέχοντες και στις δύο ομάδες πραγματοποίησαν τρεις συνεδρίες HIFT την εβδομάδα. Κάθε συνεδρία αποτελούνταν από 4 γύρους των 8 ασκήσεων (30 δευτερόλεπτα η καθεμία με 15 δευτερόλεπτα ανάπαυσης) με διάλειμμα αποκατάστασης 2 λεπτών μετά τον 2ο γύρο. Κάθε συνεδρία διαρκούσε 36 λεπτά (συμπεριλαμβανομένων 5 λεπτών προθέρμανσης και 5 λεπτών χαλάρωσης). Η ομάδα HIFT-C (HIFT-control), n = 10, 6 γυναίκες) ακολούθησε ένα πρόγραμμα που περιλάμβανε clean-and-press, άλμα σε κουτί, πιέσεις στήθους TRX, ρίψεις wall ball, burpees, επαναλαμβανόμενα σπριντ 10 m, sumo squat-and-upright (στο 65% του 1 RM) και ροκανίσματα κοιλιακών. Η ομάδα HIFT-P (HIFT-power), n = 10, 6 γυναίκες) εκτέλεσε τις ίδιες ασκήσεις εκτός από το ότι δύο ασκήσεις αντικαταστάθηκαν από παρόμοιες με φορτίο 80% του 1 RM. Συγκεκριμένα, το TRX chest press αντικαταστάθηκε από το bench press και το sumo squat-and-upright row αντικαταστάθηκε από ένα squat. Οι επιλεγμένες ασκήσεις που χρησιμοποιήθηκαν στην ομάδα ελέγχου HIFT βασίστηκαν σε προηγούμενη μελέτη που έδειξε βελτιώσεις στις παραμέτρους της φυσικής κατάστασης και της σύστασης του σώματος. Οι πιέσεις πάγκου και το ημικάθισμα είναι ασκήσεις πολλαπλών αρθρώσεων που επιτρέπουν εύκολα πρόσθετο φορτίο και έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνουν τόσο τη μέγιστη δύναμη όσο και τη μυϊκή μάζα(25).

Η εξέλιξη της έντασης της άσκησης πραγματοποιήθηκε με την αύξηση των βαρών που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε άσκηση και, συνεπώς, του επιπέδου δυσκολίας σε κάθε άσκηση.

Η αξιολόγηση της φυσικής κατάστασης και της σύστασης του σώματος πραγματοποιήθηκε την εβδομάδα πριν και την εβδομάδα μετά την περίοδο προπόνησης. Ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να απέχουν από έντονη άσκηση για 24 ώρες πριν από την αξιολόγηση. Οι συμμετέχοντες κρατούσαν λεπτομερές αρχείο τροφίμων και υγρών κατά τη διάρκεια των 24 ωρών πριν από την αρχική αξιολόγηση και το αναπαρήγαγαν πριν από την τελική αξιολόγηση, η οποία πραγματοποιήθηκε τουλάχιστον 72 ώρες μετά την τελευταία προπονητική συνεδρία, ώστε οι συμμετέχοντες να έχουν αναρρώσει επαρκώς.

Οι μετρήσεις περιλάμβαναν μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου ($\dot{V}O_{2max}$), μέγιστη ισοκινητική ροπή έκτασης και κάμψης του γόνατος, πιέσεις πάγκου 1 RM, κατακόρυφο άλμα, μυϊκή

αντοχή και αξιολόγηση της σύστασης του σώματος. Ο αριθμός των επαναλήψεων που εκτελέστηκαν κατά τη διάρκεια των 30 δευτερολέπτων κάθε άσκησης κατά τη διάρκεια της προπόνησης καταγράφηκε επίσης ως δείκτης της απόδοσης των συμμετεχόντων κατά τη διάρκεια της προπόνησης.

Οι αξιολογήσεις της φυσικής κατάστασης και της σύστασης του σώματος πραγματοποιήθηκαν ταυτόχρονα στο Εργαστήριο Ανθρώπινης Απόδοσης του πανεπιστημίου. Προκειμένου να εξυπηρετηθούν όλοι οι συμμετέχοντες, υπήρχαν περισσότεροι του ενός αθλητικοί επιστήμονες και φυσιολόγοι άσκησης που διαχειρίζονταν τις δοκιμασίες και κάθε δοκιμαστής ήταν υπεύθυνος για μία μόνο δοκιμασία. Τα άτομα αυτά ήταν τυφλά ως προς την ομάδα στην οποία ανήκε κάθε συμμετέχων. Η τήρηση της προπόνησης παρακολούθηθηκε και κανένας συμμετέχων δεν έχασε περισσότερες από 2 προπονήσεις κατά τη διάρκεια της περιόδου προπόνησης των 8 εβδομάδων.

• Αξιολόγηση ανθρωπομετρικών στοιχείων και σύστασης σώματος

Η αξιολόγηση της ανθρωπομετρίας και της σύστασης του σώματος πραγματοποιήθηκε τις πρώτες πρωινές ώρες (7-9 π.μ.) σε κατάσταση νηστείας. Η σωματική μάζα, το σωματικό λίπος και η μυϊκή μάζα μετρήθηκαν με αναλυτή βιοηλεκτρικής εμπέδησης πολλαπλών συχνοτήτων (Sa mBCA 515, Sa, Chino, CA, USA). Κατά τη διάρκεια της αξιολόγησης, οι συμμετέχοντες φορούσαν ελαφρύ σορτς και μπλουζάκι. Το ύψος μετρήθηκε με αναστημόμετρο με ακρίβεια 0,5 cm (Sa, Chino, CA, USA).

• Αξιολόγηση καρδιοαναπνευστικής ικανότητας

Η VO_2max μετρήθηκε με τη χρήση πρωτοκόλλου τρεξίματος σε διάδρομο (h/p/cosmos pulsar 3p, HP Cosmos, Nussdorf-Traunstein, Γερμανία). Η αρχική ταχύτητα ορίστηκε στα $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ και αυξανόταν κατά $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ κάθε λεπτό μέχρι την εξάντληση. Για τη μέτρηση της πρόσληψης οξυγόνου χρησιμοποιήθηκε αναλυτής αερίων ανά αναπνοή (Quark CPET, Cosmed, Ρώμη, Ιταλία). Χρησιμοποιήθηκαν τα κριτήρια του ACSM για τον προσδιορισμό της VO_2max (233). Η καρδιακή συχνότητα (HR) παρακολουθείτο συνεχώς μέσω ενός μετρητή καρδιακού ρυθμού Polar (H10 Heart Rate Sensor, Kempele, Φινλανδία). Το σημείο αναπνευστικής αντιστάθμισης (RC), που αντιστοιχεί στο δεύτερο αναπνευστικό κατώφλι,

προσδιορίστηκε με βάση τις μεταβολές του πνευμονικού αερισμού (VE), του όγκου προσλαμβανόμενου οξυγόνου VO₂ και του όγκου εκπνεόμενου CO₂ (VCO₂), σύμφωνα με τον Wasserman.

• Αξιολόγηση ισοκινητικής ροπής

Η ροπή των εκτεινόντων και καμπτήρων του γόνατος αξιολογήθηκε με τη χρήση ισοκινητικού δυναμόμετρου (HumacNorm 770, CSMI Humac Norm, Stoughton, MA, ΗΠΑ). Οι συμμετέχοντες πραγματοποίησαν 5 μέγιστες σύγκεντρες εκτάσεις και κάμψεις ενός ποδιού με γωνιακή ταχύτητα $60^{\circ} \cdot s^{-1}$ υπό λεκτική ενθάρρυνση. Καταγράφηκε η υψηλότερη ροπή που επιτεύχθηκε.

• Απόδοση κατακόρυφου άλματος

Τα κατακόρυφα άλματα χρησιμοποιήθηκαν ως δείκτες της εκρηκτικής δύναμης των ποδιών. Δύο τύποι αλμάτων, άλμα από ημικάθισμα (SJ) και το άλμα με αντίθετη παροπαρασκευαστική κίνηση ελεύθερων χεριών (CMJ) με ελεύθερη αιώρηση των χεριών, εκτελέστηκαν με τη χρήση της συσκευής Opto Jump Next (Microgate, Bolzano, Ιταλία), η οποία εκτιμά το ύψος του άλματος από τον χρόνο πτήσης. Η αξιολόγηση του κατακόρυφου άλματος πραγματοποιήθηκε μετά από προφορική και πρακτική επεξήγηση της διαδικασίας και της σωστής τεχνικής από αθλητικό επιστήμονα (μέλος της ερευνητικής ομάδας). Κατά τη διάρκεια του SJ, οι συμμετέχοντες έπρεπε να ξεκινήσουν το άλμα από θέση ημικαθίσματος με τα χέρια σταθερά στη μέση μέχρι την ολοκλήρωση. Το CMJ ξεκινούσε από όρθια θέση, ακολουθούμενο από ένα γρήγορο κάθισμα και μια κίνηση αναπήδησης όπου τα χέρια ταλαντεύονταν ελεύθερα για να παρέχουν περαιτέρω ανύψωση. Καταγράφηκαν οι καλύτερες από τρεις προσπάθειες SJ και τρεις προσπάθειες CMJ. Το ίδιο άτομο αξιολόγησε το κατακόρυφο άλμα κατά την έναρξη και μετά την παρέμβαση, ώστε να διασφαλιστεί ότι η τεχνική άλματος ήταν η ίδια και κατά τις δύο αξιολογήσεις.

• Αξιολόγηση της δύναμης του άνω μέρους του σώματος

Η δύναμη του άνω μέρους του σώματος αξιολογήθηκε με την άσκηση πιέσεων πάγκου. Μετά από προθέρμανση με ελαφριά βάρη, οι συμμετέχοντες πραγματοποίησαν 10 επαναλήψεις στο 50% του εκτιμώμενου 1 RM, ακολουθούμενες από 5 επαναλήψεις στο 75% και 3 στο 85%. Στη συνέχεια, το βάρος αυξήθηκε διαδοχικά κατά 2,5 ή 5 κιλά για να επιτευχθεί

το πραγματικό 1 RM. Υπήρχε διάλειμμα 4 λεπτών μεταξύ των σετ. Όλοι οι συμμετέχοντες είχαν προηγούμενη εμπειρία στο πάγκο και ένας επιστήμονας άσκησης επέβλεπε τη δοκιμασία. Όσον αφορά τις δύο πρόσθετες ασκήσεις δύναμης, μια αξιολόγηση της δοκιμασίας 1 RM πραγματοποιήθηκε στο τέλος των πρώτων 4 εβδομάδων του HIFT και τα βάρη αναπροσαρμόστηκαν ώστε να επιτευχθεί ένα φορτίο 80% του 1 RM.

• Αξιολόγηση της αντοχής των μυών του άνω μέρους του σώματος

Η μυϊκή αντοχή των μυών του βραχίονα και του θώρακα αξιολογήθηκε με την άσκηση πίεσης πάγκου μέχρι αποτυχίας και η μυϊκή αντοχή των κοιλιακών μυών αξιολογήθηκε μέσω της δοκιμασίας κοιλιακών ροκανισμάτων 1 λεπτού. Και οι δύο δοκιμασίες πραγματοποιήθηκαν μετά από 10 λεπτά προθέρμανσης. Για τις πιέσεις πάγκου ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να εκτελέσουν όσο το δυνατόν περισσότερες επαναλήψεις στο 65% του 1 RM με τη σωστή τεχνική. Η αξιολόγηση τερματίστηκε όταν ο συμμετέχων απέτυχε να διατηρήσει τη σωστή τεχνική ή δεν ήταν σε θέση να επανατοποθετήσει τη μπάρα. Για τη δοκιμασία των κοιλιακών ροκανισμάτων οι συμμετέχοντες τοποθετήθηκαν με τα γόνατα λυγισμένα στις 90°, τα πόδια σταθερά στο έδαφος από έναν βοηθό και τα χέρια διπλωμένα πίσω από το λαιμό. Στη συνέχεια τους ζητήθηκε να εκτελέσουν όσο το δυνατόν περισσότερα ροκανίσματα μέσα σε 1 λεπτό. Μια επανάληψη γινόταν δεκτή μόνο εάν οι αγκώνες άγγιζαν τους μηρούς.

• Παρακολούθηση καρδιακού ρυθμού

Κατά τη διάρκεια της πρώτης και της τελευταίας συνεδρίας της προπονητικής περιόδου 8 εβδομάδων, η καρδιακή συχνότητα παρακολούθηθηκε με τη χρήση αισθητήρων τηλεμετρίας και λογισμικού (H7 Polar Team, έκδοση 1.2). Καταγράφηκαν η μέγιστη HR, η μέση HR και ο συνολικός χρόνος κατά τον οποίο η HR ήταν στο 90% ή πάνω από τη μέγιστη καρδιακή συχνότητα (T-90).

• Στατιστικές αναλύσεις

Οι δοκιμές Shapiro-Wilk και Levene χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση της κανονικότητας της κατανομής και της ομοιογένειας των διαφορών, αντίστοιχα. Για την εξέταση της επίδρασης των προπονητικών προγραμμάτων στις εξεταζόμενες παραμέτρους χρησιμοποιή-

ήθηκε η μονομεταβλητή ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) δύο κατευθύνσεων (χρόνος x ομάδα) με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις και στους δύο παράγοντες. Εφόσον κρίθηκε σκόπιμο, διενεργήθηκε περαιτέρω ανάλυση για την απόδοση στην άσκηση κατά τη διάρκεια του 1ου και του 4ου γύρου της συνεδρίας HIFT (εβδομάδα (1η vs. 8η) x γύρος (1 και 4)). Όταν βρέθηκε σημαντική αλληλεπίδραση, χρησιμοποιήθηκε το post hoc τεστ του Tukey για τον εντοπισμό σημαντικών διαφορών. Τα δεδομένα αναλύθηκαν με τη χρήση του SPSS for Windows, v.23.0 (IBM, Armonk, NY, USA). Η στατιστική σημαντικότητα έγινε αποδεκτή σε $p < 0,05$.

Αποτελέσματα

Όλοι οι συμμετέχοντες ολοκλήρωσαν την παρέμβαση των 8 εβδομάδων με επιτυχία και χωρίς να αναφέρουν τραυματισμούς.

• Ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά και σωματική σύσταση

Το σωματικό λίπος μειώθηκε με την πάροδο του χρόνου ($p = 0,037$, πίνακας 1). Υπήρξε σημαντική αλληλεπίδραση χρόνου x ομάδας ($p = 0,001$) όσον αφορά τη μυϊκή μάζα. Εν συντομία, η μυϊκή μάζα μειώθηκε ελαφρώς στην ομάδα HIFT-C ($p = 0,047$). Δεν υπήρξαν σημαντικές αλλαγές στη σωματική μάζα ή τον ΔΜΣ κατά τη διάρκεια της περιόδου προπόνησης των 8 εβδομάδων.

Πίνακας 1. Δεδομένα σωματικής σύστασης πριν και μετά από 8 εβδομάδες λειτουργικής προπόνησης υψηλής έντασης (HIFT).

HIFT-P, ομάδα υψηλής επιβάρυνσης- HIFT-C, ομάδα ελέγχου- ΔΜΣ, δείκτης μάζας σώματος. Η έντονη γραφή υποδηλώνει τη σημαντικότητα σε $p < 0,05$.

Μεταβλητή	HIFT-P n=10	Μεταβολή %	HIFT-C n=10	Μεταβολή %	Χρονος	Χρονος x Γκρουπ	Γκρουπ
Μυϊκή μάζα (kg)							
Πρίν	23.3 ± 5.6		23.6 ± 7.1				
Μετά	23.9 ± 5.3	2.57%	23.4 ± 7.1	-0.9%	0.047	0.001	0.975
Σωματικό λίπος (%)							
Πρίν	23.6 ± 4.4		22.5 ± 6.7				
Μετά	22.3 ± 4.8	-5.5%	21.9 ± 5.6	-2.7%	0.037	0.496	0.652
Μάζα σώματος (kg)							
Πρίν	65.8 ± 12.7		64.5 ± 12.8				
Μετά	65.6 ± 12.3	-0.3%	63.7 ± 12.6	-1.2%	0.274	0.395	0.801
ΔΣΜ (kg m⁻²)							
Πρίν	23.5 ± 3.4		23.1 ± 2.7				
Μετά	23.4 ± 3.3	-0.4%	22.8 ± 2.6	-1.3%	0.160	0.305	0.653

• Καρδιοαναπνευστική ικανότητα

Διαπιστώθηκε κύρια επίδραση του χρόνου όσον αφορά τις παραμέτρους καρδιοαναπνευστικής ικανότητας (πίνακας 2). Οι συμμετέχοντες παρουσίασαν σημαντική αύξηση της VO_{2max} , της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας και της ταχύτητας στο σημείο RC και μείωση της HR στο σημείο RC μετά την παρέμβαση (όλα $p < 0,01$). Δεν παρατηρήθηκε κύρια επίδραση της ομάδας ή αλληλεπίδραση χρόνου x ομάδας.

Πίνακας 2. Παράμετροι που σχετίζονται με την καρδιοαναπνευστική ικανότητα πριν και μετά από 8 εβδομάδες λειτουργικής προπόνησης υψηλής έντασης (HIFT). HIFT-P, ομάδα υψηλού φόρτου- HIFT-C, ομάδα ελέγχου- VO₂ max, μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου- HR, καρδιακή συχνότητα- RC, αναπνευστική αντιστάθμιση. Η έντονη γραφή υποδεικνύει τη σημαντικότητα σε $p < 0,05$.

Μεταβλητή	HIFT-P n=10	Μεταβολή %	HIFT-C n=10	Μεταβολή %	Χρονος	Χρονος x Γκρουπ	Γκρουπ
Μέγιστη Πρόσληψη Οξυγόνου (mL·kg⁻¹·min⁻¹)							
Πριν	47.0 ± 5.8		44.0 ± 9.2				
Μετά	49.1 ± 7.4	4.3%	46.6 ± 9.2	5.9%	0.003	0.487	0.450
Μέγιστη αερόβια ταχύτητα (km·h⁻¹)							
Πριν	14.4 ± 1.8		13.4 ± 2.8				
Μετά	14.7 ± 1.8	2.1%	14.3 ± 2.6	6.7%	0.001	0.140	0.457
Ταχύτητα αναπνευστικής αντιστάθμισης (km·h⁻¹)							
Πριν	11.6 ± 1		10.6 ± 2				
Μετά	12.1 ± 1	4.3%	11.2 ± 2	5.7%	0.003	0.899	0.164
Καρδιακός ρυθμός αναπνευστικής αντιστάθμισης (b·min⁻¹)							
Πριν	173 ± 6		175 ± 7				
Μετά	169 ± 6	-2.3%	171 ± 7	-2.3%	0.004	1.000	0.400

• Δύναμη κάτω και άνω σώματος

Δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικά ευρήματα σε καμία από τις εξεταζόμενες παραμέτρους του ισοκινητικού δυναμόμετρου (Πίνακας 3). Αντίθετα, οι συμμετέχοντες παρουσίασαν αυξημένη ικανότητα άλματος (τόσο ως προς το SJ όσο και ως προς το CMJ) και ικανότητα άλματος μετά την παρέμβαση. Συγκεκριμένα, οι πίεσης στήθους 1 RM αυξήθηκε κατά 22% και 11%, αντίστοιχα (όλα $p < 0,001$), η επίδοση SJ βελτιώθηκε κατά 12% και 8%, σε HIFT-P και HIFT-C ($p < 0,001$) και η επίδοση CMJ κατά 8% και 7%, αντίστοιχα ($p < 0,001$). Μια τάση προς σημαντική αλληλεπίδραση χρόνου x ομάδας βρέθηκε στον Τύπο 1 RM ($p = 0,076$), γεγονός που υποδηλώνει την υπεροχή του HIFT-P έναντι του HIFT-C.

Πίνακας 3. Ικανότητα άλματος και δύναμη του άνω μέρους του σώματος πριν και μετά από 8 εβδομάδες λειτουργικής προπόνησης υψηλής έντασης (HIFT).

HIFT-P, ομάδα υψηλής φόρτισης- HIFT-C, ομάδα ελέγχου- SJ, άλμα από ημικάθισμα - CMJ, άλμα με αντίθετη παροπαρασκευαστική κίνηση ελεύθερων χεριών. Η έντονη γραφή υποδεικνύει τη σημαντικότητα σε $p < 0,05$.

Μεταβλητή	HIFT-P n=10	Μεταβολή %	HIFT-C n=10	Μεταβολή %	Χρονος	Χρονος x Γκρουπ	Γκρουπ
SJ (cm)							
Πρίν	30.1 ± 8.3		27.3 ± 7.5				
Μετά	33.8 ± 7.9	12.3%	29.4 ± 7.6	7.7%	<0.001	0.192	0.187
CMJ (cm)							
Πρίν	35.4 ± 8.9		32 ± 9.3				
Μετά	38.2 ± 7.8	7.9%	34.1 ± 9.7	6.6%	<0.001	0.337	0.236
Πιέσεις πάγκου 1ME (kg)							
Πρίν	52 ± 18		46.3 ± 24.2				
Μετά	62 ± 20	19.2%	51.1 ± 24.4	10.4%	<0.001	0.076	0.372
Μέγιστη ροπή, έκτασης δεξιού ποδιού, 60°·s⁻¹ (Nm)							
Πρίν	170.6 ± 44.6		156.1 ± 66.4				
Μετά	166 ± 49.4	-2.7%	155 ± 64	-0.7%	0.467	0.694	0.603
Μέγιστη ροπή, έκτασης αριστερού ποδιού, 60°·s⁻¹ (Nm)							
Πρίν	173.7 ± 47.6		154.2 ± 55.3				
Μετά	170.8 ± 57.4	-1.7%	153.9 ± 58.2	-0.2%	0.636	0.825	0.471

• **Αντοχή των μυών του άνω μέρους του σώματος**

Η προπόνηση οδήγησε σε σημαντική βελτίωση του αριθμού των καθισμάτων ($p = 0,003$, Πίνακας 4). Ο αριθμός των κοιλιακών ροκανισμάτων αυξήθηκε κατά 15% μετά την προπόνηση μόνο στην ομάδα HIFT-C. Από την άλλη πλευρά, ο αριθμός των επαναλήψεων στις πιέσεις πάγκου στο 65% του 1 ΜΕ παρουσίασε οριακή αύξηση με την προπόνηση ($p = 0,089$).

Πίνακας 4. Μυϊκή αντοχή των άνω μυών πριν και μετά από 8 εβδομάδες λειτουργικής προπόνησης υψηλής έντασης (HIFT).

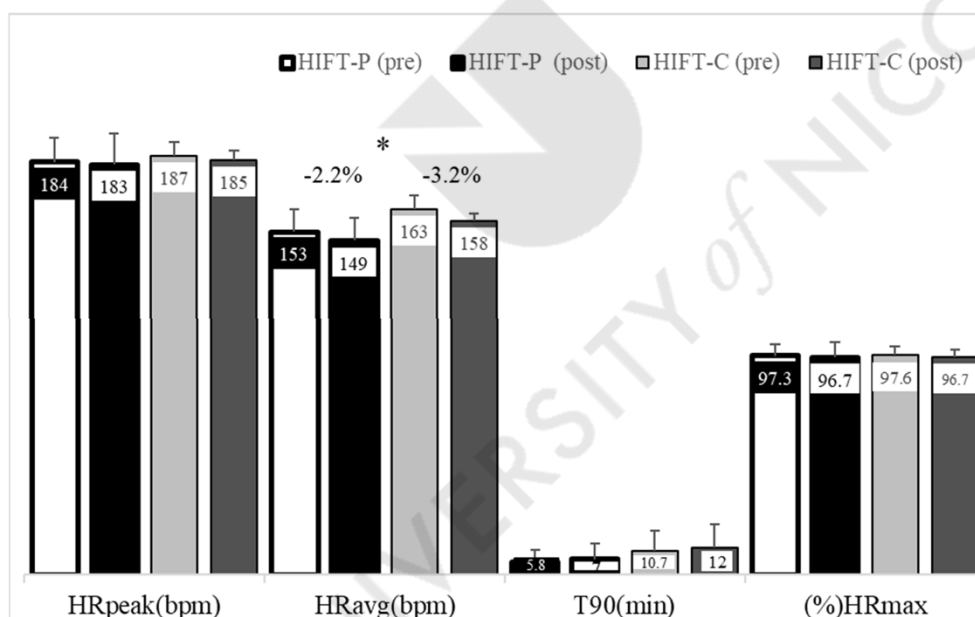
HIFT-P, ομάδα υψηλού φορτίου- HIFT-C, ομάδα ελέγχου- Τα έντονα γράμματα υποδηλώνουν σημαντικότητα σε $p < 0,05$.

Μεταβλητή	HIFT-P n=10	Μεταβολή %	HIFT- C n=10	Μεταβολή %	Χρόνος	Χρόνος x Γκρουπ	Γκρουπ
Πιέσεις πάγκου 65% 1 ΜΕ (επαναλήψεις)							
Πριν	21 ± 5		21 ± 5				
Μετά	22 ± 6	4.8%	23 ± 3	9.5%	0.089	0.289	0.790
Ροκανίσματα κοιλιακών σε 1 λεπτό (επαναλήψεις)							
Πριν	42 ± 7		40 ± 10				
Μετά	44 ± 7	4.8%	46 ± 9	15%	0.003	0.023	0.956

• Ανταπόκριση καρδιακών παλμών κατά τη διάρκεια προπονητικών συνεδριών

Κατά τη διάρκεια της προπονητικής περιόδου των 8 εβδομάδων, παρατηρήθηκε μείωση της μέσης καρδιακής συχνότητας από την πρώτη έως την τελευταία συνεδρία ($p = 0,003$, Σχήμα 1), με την ομάδα HIFT-C να παρουσιάζει σημαντικά μεγαλύτερη μείωση κατά 3,2% ($p = 0,021$) σε σύγκριση με τη μείωση κατά 2,2% που παρατηρήθηκε στην ομάδα HIFT-P ($p < 0,050$).

Σχήμα 1. Καρδιακή συχνότητα κατά την πρώτη και την τελευταία συνεδρία λειτουργικής προπόνησης υψηλής έντασης (HIFT)- HIFT-P, ομάδα υψηλής έντασης- HIFT-C, ομάδα ελέγχου- HRpeak, μέγιστη καρδιακή συχνότητα- HRavg, μέση καρδιακή συχνότητα- %HRmax, ποσοστό της μέγιστης καρδιακής συχνότητας- T90, χρόνος κατά τον οποίο η καρδιακή συχνότητα ήταν στο 90% ή πάνω από το 90%HRmax. * Κύρια επίδραση του χρόνου ($p = 0,003$).

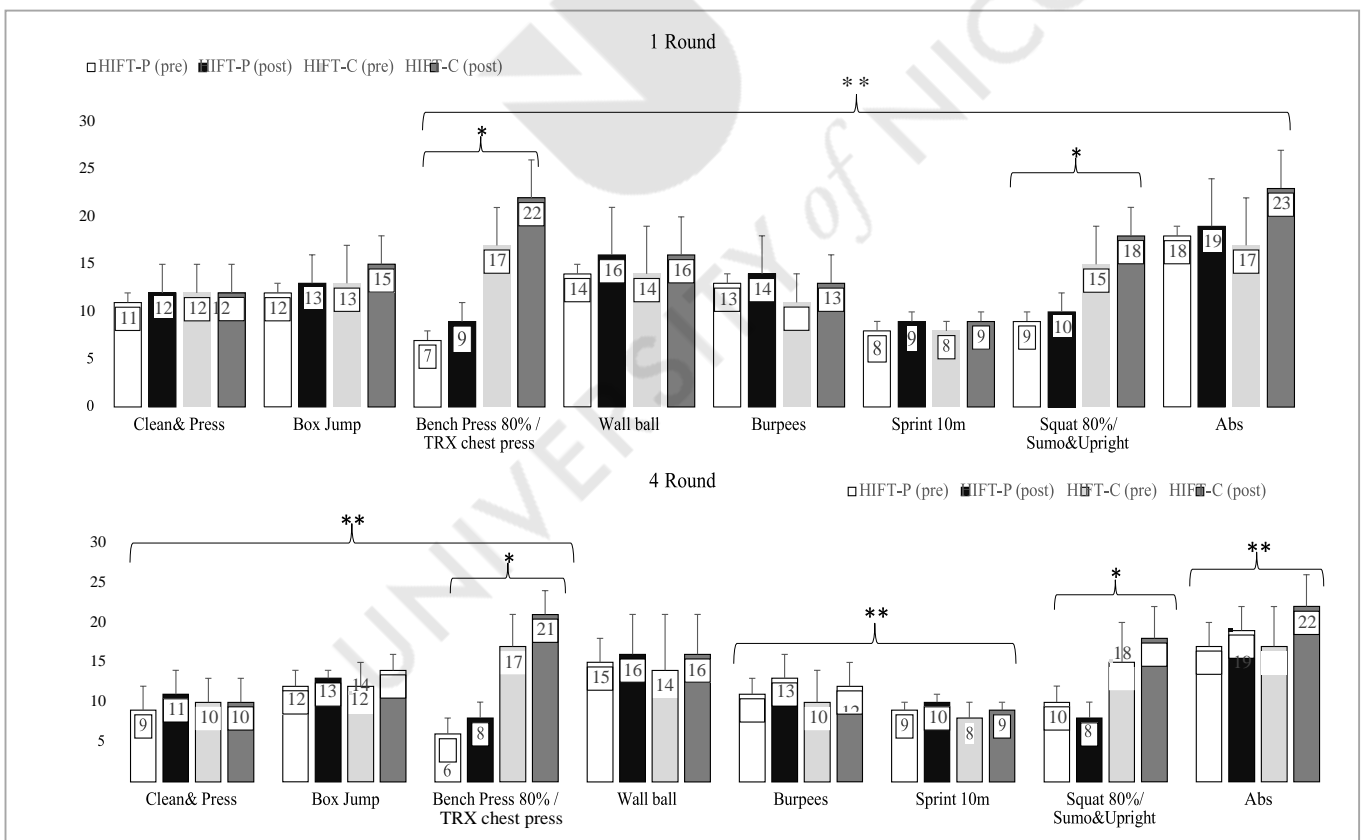


• Απόδοση κατά τη διάρκεια των συνεδριών εξοικείωσης

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται ο αριθμός των επαναλήψεων των οκτώ ασκήσεων που περιλαμβάνονταν στο προπονητικό πρόγραμμα που εκτελέστηκαν από κάθε ομάδα στους γύρους 1 και 4 του πρωτοκόλλου HIFT κατά την 1η και την 8η εβδομάδα προπόνησης. Όσον αφορά τις επιδόσεις κατά τη διάρκεια του 1ου γύρου, οι συμμετέχοντες παρουσίασαν βελτίωση στο άλμα σε κουτί, στο πάγκο/TRX chest press, στο wall ball ρίψεις, burpees, σπριντ, squats και

ροκανίσματα κοιλιακών με την προπόνηση ($p < 0,05$). Σημαντική επίδραση της ομάδας βρέθηκε στις πιέσεις πάγκου/TRX chest press και στο squat/sumo squat- and-upright row, ενώ σημαντική αλληλεπίδραση χρόνου x ομάδας βρέθηκε στο squat/sumo squat-and-upright row ($p < 0,05$). Όσον αφορά τις επιδόσεις κατά τη διάρκεια του 4ου γύρου, οι συμμετέχοντες παρουσίασαν αύξηση στο clean-and-press, το άλμα στο κουτί, στις πιέσεις πάγκου /TRX chest press, τα burpees, τα σπριντ και στα ροκανίσματα κοιλιακών. ($p < 0,05$). Σημαντική επίδραση της ομάδας βρέθηκε για την άσκηση πιέσεις στήθους 80%/TRX πιέσεις στήθους, squat 80%/Sumo και όρθια, ενώ σημαντική αλληλεπίδραση χρόνου x ομάδας βρέθηκε στην άσκηση clean-and-press ($p < 0,05$).

Σχήμα 2. Αριθμός επαναλήψεων σε κάθε άσκηση κατά τη διάρκεια της πρώτης και της τελευταίας συνεδρίας λειτουργικής προπόνησης υψηλής έντασης (HIFT). HIFT-P, ομάδα υψηλής επιβάρυνσης- HIFT-C, ομάδα ελέγχου. * Κύρια επίδραση του χρόνου,** Κύρια επίδραση της ομάδας.



Συζήτηση

Η παρούσα μελέτη εξέτασε κατά πόσον η προσθήκη δύο ασκήσεων αντίστασης με υψηλό φορτίο σε ένα τυπικό πρόγραμμα HIFT θα μπορούσε να προκαλέσει περαιτέρω βελτιώσεις στη μυϊκή μάζα και δύναμη σε σωματικά δραστήριους ενήλικες. Ενώ τόσο το τυπικό όσο και το τροποποιημένο πρόγραμμα HIFT βελτίωσαν αποτελεσματικά διάφορες παραμέτρους της φυσικής κατάστασης, μόνο το τροποποιημένο πρόγραμμα HIFT (HIFT-P) οδήγησε σε αύξηση της μυϊκής μάζας και της μέγιστης δύναμης του άνω μέρους του σώματος. Ως εκ τούτου, τα άτομα που χρησιμοποιούν προγράμματα HIFT και επιδιώκουν να βελτιώσουν τη μυϊκή μάζα και τη μέγιστη δύναμη θα πρέπει να εξετάσουν το ενδεχόμενο τροποποίησης του προγράμματός τους, συμπεριλαμβάνοντας ασκήσεις με υψηλότερο φορτίο.

Πρόσφατες μελέτες έχουν διαπιστώσει ότι τα προγράμματα HIFT βελτιώνουν τον αερόβιο και αναερόβιο μεταβολισμό και τα συναφή συστατικά της φυσικής κατάστασης. Αυτό είναι απαραίτητο για τα άτομα που επιθυμούν να αποκτήσουν καρδιοαναπνευστικά και νευρομυϊκά οφέλη και ευνοϊκές αλλαγές στη σύσταση του σώματος από την τακτική άσκηση. Τα προγράμματα HIFT μπορούν να μειώσουν το σωματικό λίπος ως εκ τούτου, τέτοια προγράμματα προωθούνται ως αποτελεσματική προσέγγιση όσον αφορά την απώλεια βάρους και λίπους σε υπέρβαρα άτομα, όπως έδειξε μια πρόσφατη συστηματική ανασκόπηση και μετα-ανάλυση δικτύου(234). Σε μια άλλη πρόσφατη μελέτη, μόνο τα προγράμματα HIFT που χρησιμοποιούν ασκήσεις χαμηλής επιβάρυνσης ήταν σε θέση να μειώσουν το σωματικό λίπος, σε αντίθεση με ένα πρόγραμμα HIFT με ασκήσεις μέτριου φορτίου, το οποίο δεν το έκανε. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα αυτών των προγραμμάτων στην αύξηση της μυϊκής μάζας εξακολουθεί να είναι αμφισβητήσιμη. Η πρόκληση απώλειας βάρους και λίπους με την προπόνηση, παράλληλα με την αύξηση της μυϊκής μάζας, αποτελούσε πάντα μια μεγάλη πρόκληση για τους επαγγελματίες της άσκησης. Τα παραδοσιακά προγράμματα προπόνησης δύναμης και αντίστασης θεωρούνταν τα πλέον κατάλληλα για την αύξηση της μυϊκής μάζας. Ομοίως, μελέτες που χρησιμοποίησαν προγράμματα HIFT απέτυχαν να δείξουν βελτίωση της μυϊκής μάζας, παρά τη μείωση της λιπώδους μάζας και την αύξηση της δύναμης(228). Πράγματι, τέτοιες μορφές άσκησης πολλαπλών αρθρώσεων και υψηλής έντασης έχουν πρόσφατα αναφερθεί ως ιδιαίτερα αποτελεσματικές στη μείωση του σωματικού βάρους και του σωματικού λίπους σε υπέρβαρους και παχύσαρκους πληθυσμούς.

Ένα κοινό αποτέλεσμα των μελετών άσκησης υψηλής έντασης (συμπεριλαμβανομένων των μελετών HIIT και HIFT) είναι ότι η μείωση του σωματικού λίπους και βάρους μπορεί να μη

συνοδεύεται από αύξηση της μυϊκής μάζας. Παρόμοια ευρήματα έχουν παρατηρηθεί και σε άλλες μελέτες HIFT, διάρκειας 12- 16 εβδομάδων , ενώ άλλες μελέτες δεν διαπίστωσαν μεταβολή του σωματικού λίπους ή του βάρους μετά από προγράμματα HIFT, αλλά εφαρμόστηκαν σε αδρανή και υπέρβαρα/παχύσαρκα άτομα. Στην παρούσα μελέτη, και τα δύο προγράμματα HIFT ήταν αποτελεσματικά στη μείωση του σωματικού λίπους (Πίνακας 1). Αυτό μπορεί να αποδοθεί στην αυξημένη οξειδωση του λίπους μετά την άσκηση, στην αυξημένη απελευθέρωση αυξητικής ορμόνης και επινεφρίνης και στην αυξημένη ενεργειακή δαπάνη κατά τη διάρκεια της άσκησης. Ένα αξιοσημείωτο εύρημα της παρούσας μελέτης ήταν η αυξημένη μυϊκή μάζα μόνο στην ομάδα HIFT-P. Σε μια πρόσφατη μελέτη της ομάδας μας, στην οποία χρησιμοποιήθηκε ένα τυπικό πρόγραμμα HIFT, το σωματικό βάρος και το λίπος μειώθηκαν, αλλά η μυϊκή μάζα διατηρήθηκε μετά την παρέμβαση. Εξ όσων γνωρίζουμε, αυτή είναι η πρώτη μελέτη που αναφέρει αύξηση της μυϊκής μάζας μετά από ένα τόσο εντατικό πρόγραμμα HIFT. Φαίνεται ότι η συμπερίληψη μόλις δύο ασκήσεων πολλαπλών αρθρώσεων με υψηλή επιβάρυνση μπορεί να διεγείρει τη μυϊκή υπερτροφία. Σύμφωνα με μια πρόσφατη συστηματική ανασκόπηση και μετά-ανάλυση, η άσκηση αντίστασης μπορεί να προκαλέσει μυϊκή υπερτροφία ανεξάρτητα από το προπονητικό φορτίο που χρησιμοποιείται στις ασκήσεις. Ωστόσο, όπως αναφέρεται στο ίδιο άρθρο, τα υψηλότερα φορτία μπορεί να προσφέρουν τόσο μυϊκή υπερτροφία όσο και ουσιαστική βελτίωση της δύναμης. Ως εκ τούτου, η χρήση μιας άσκησης αντίστασης στο άνω και μιας στο κάτω μέρος του σώματος με σχετικά υψηλό φορτίο (80% 1 RM) ήταν επαρκής για να προκαλέσει αύξηση της μυϊκής μάζας και της δύναμης.

Όσον αφορά την αερόβια ικανότητα, και οι δύο ομάδες παρουσίασαν βελτιώσεις, επιβεβαιώνοντας την υπόθεση ότι το HIFT μπορεί να έχει ευεργετική επίδραση στην καρδιοαναπνευστική ικανότητα, σε συμφωνία με πρόσφατα δεδομένα(228, 235). Μια πρόσφατη συστηματική ανασκόπηση και μετά-ανάλυση επιβεβαίωσε τα σημαντικά οφέλη στην καρδιοαναπνευστική ικανότητα με μορφές άσκησης με αντιστάσεις όπως η HIFT(236), η οποία θεωρείται ο ακρογωνιαίος λίθος της καρδιαγγειακής υγείας, μειώνοντας τα ποσοστά θνησιμότητας. Επιπλέον, τα προγράμματα HIFT που μελετήθηκαν βελτίωσαν τη μυϊκή αντοχή και τη δύναμη των μυών του άνω μέρους του σώματος. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η μυϊκή αντοχή μπορεί να αυξηθεί λόγω προσαρμογών εντός του σκελετικού μυός, όπως η αυξημένη πυκνότητα των τριχοειδών αγγείων και η περιεκτικότητα και λειτουργία των μιτοχονδρίων. Είναι ενδιαφέρον ότι η μυϊκή αντοχή των κοιλιακών μυών (εκφραζόμενη από τον αριθμό κοιλιακών ροκανισμάτων που εκτελούνται σε ένα λεπτό) βελτιώθηκε μόνο στην

ομάδα HIFT-C. Το εύρημα αυτό μπορεί να αποδοθεί στην αυξημένη απαίτηση εκτέλεσης των ασκήσεων του προγράμματος HIFT-P, η οποία μπορεί να προκάλεσε κόπωση. Αδιαμφισβήτητα, μια άσκηση των κοιλιακών μυών εκτελέστηκε μετά το βαρύ κάθισμα στην ομάδα HIFT-P, και επομένως η απόδοση θα μπορούσε να έχει επηρεαστεί από την κόπωση. Αυτό είναι πολύ σημαντικό όσον αφορά τη συνταγογράφηση του HIFT, καθώς η σειρά των ασκήσεων, η φύση τους (π.χ. πολλαπλών αρθρώσεων) και η σχετική ένταση μπορούν να επηρεάσουν τόσο την οξεία απόδοση όσο και τις επιμέρους προσαρμογές.

Και τα δύο προπονητικά προγράμματα ήταν αποτελεσματικά στη βελτίωση της μέγιστης δύναμης των μυών του άνω μέρους του σώματος, όπως εκφράζεται από την πίεση πάγκου 1 RM. Επιπλέον, και τα δύο προγράμματα ήταν αποτελεσματικά στη βελτίωση των επιδόσεων στις δοκιμασίες αλτικής ικανότητας, επιβεβαιώνοντας προηγούμενα δεδομένα(235). Ωστόσο, οι αλλαγές ήταν πιο αξιοσημείωτες στην ομάδα HIFT-P. Έτσι, η προσθήκη ασκήσεων υψηλού φορτίου στο HIFT ωφέλησε τη δύναμη του άνω μέρους του σώματος. Η άσκηση με χρήση υψηλότερων φορτίων μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερες νευρικές προσαρμογές και έτσι να βελτιώσει περαιτέρω τη μυϊκή δύναμη και ισχύ. Επιπλέον, η συμπερίληψη ασκήσεων πολλαπλών αρθρώσεων σε τέτοια προγράμματα έχει αναφερθεί ότι βελτιώνει το 1 RM. Η δύναμη συμβάλλει σημαντικά στην υγεία και την ποιότητα ζωής σε όλη τη διάρκεια της ζωής. Τα επαρκή επίπεδα δύναμης είναι απαραίτητα στην καθημερινή ζωή, καθώς συνδέονται στενά με την ικανότητα εκτέλεσης των καθημερινών δραστηριοτήτων διαβίωσης, ενισχύοντας έτσι την ποιότητα ζωής. Επιπλέον, τα χαμηλά επίπεδα δύναμης θεωρούνται σημαντικός παράγοντας κινδύνου για τρέχοντα και μελλοντικά προβλήματα υγείας και συνδέονται με την ολική θνησιμότητα. Σημειώνεται ότι πρόσφατες μελέτες προτείνουν την έναρξη της προπόνησης που σχετίζεται με τη δύναμη σε νεαρή ηλικία για την πρόληψη της μυϊκής απώλειας στη μετέπειτα ζωή και τη μείωση του κινδύνου εμφάνισης χρόνιων ασθενειών και παθολογικών καταστάσεων. Είναι αξιοσημείωτο ότι τα οφέλη από τη φυσική κατάσταση επιτεύχθηκαν μετά από μόλις 8 εβδομάδες προπόνησης στην παρούσα μελέτη, με συνεδρίες άσκησης διάρκειας μόλις 36 λεπτών (συμπεριλαμβανομένης της προθέρμανσης και της χαλάρωσης). Η έλλειψη χρόνου αποτελεί το κύριο εμπόδιο για την άσκηση στις σύγχρονες κοινωνίες. Έτσι, τέτοια προγράμματα ταιριάζουν καλά με τα πολυσχολα προγράμματα των ανθρώπων, καθώς είναι αποδοτικά και αποτελεσματικά ως προς το χρόνο, μπορούν να εκτελούνται σε διάφορα περιβάλλοντα και να υιοθετούνται στο καθημερινό πρόγραμμα.

Η παρούσα μελέτη έχει ορισμένα πλεονεκτήματα και αδυναμίες που θέλουμε να αναγνωρίσουμε. Η σύσταση σώματος αξιολογήθηκε με τη χρήση αναλυτή BIA πολλαπλών συχνότητων, ο οποίος είναι πιο ακριβής σε σύγκριση με τους αναλυτές BIA μίας συχνότητας. Παρόλα αυτά, η αξιολόγηση με τη χρήση μεθόδων αναφοράς, όπως η διπλή απορροφησιμετρία ακτίνων X, θα μπορούσε να παρέχει πιο ακριβείς πληροφορίες σχετικά με τη σύσταση του σώματος. Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της μελέτης είναι ότι ο ερευνητικός σχεδιασμός και οι τεχνικές αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκαν είναι συνεπείς. Συνολικά, επρόκειτο για μια καλά εκτελεσμένη μελέτη με αυστηρή επίβλεψη του προγράμματος άσκησης.

Συμπέρασμα

Συμπερασματικά, η παρούσα μελέτη έδειξε ότι η προσθήκη μόνο δύο ασκήσεων αντίστασης υψηλής φόρτισης σε ένα πρόγραμμα HIFT προκάλεσε αύξηση της μυϊκής μάζας και περαιτέρω βελτίωση της δύναμης, εκτός από τα οφέλη της φυσικής κατάστασης και της σύστασης του σώματος που επιτεύχθηκαν με ένα τυπικό πρόγραμμα HIFT. Το νέο πρόγραμμα ήταν ασφαλές και μπορεί να είναι κατάλληλο για άτομα που επιδιώκουν να αυξήσουν τη μυϊκή μάζα και τη δύναμη, μαζί με τα οφέλη της καρδιοαναπνευστικής ικανότητας και της μυϊκής αντοχής που ήδη συνδέονται με το HIFT στη βιβλιογραφία, με αποδοτικό χρόνο.

Γενικά Συμπεράσματα

Τα ευρήματα αυτής της διατριβής ενισχύουν την αντίληψη ότι η λειτουργική άσκηση υψηλής έντασης (HIFT) προσφέρει ένα ευρύ φάσμα βελτιώσεων της φυσικής κατάστασης. Η επίδραση του HIFT σε διάφορες παραμέτρους υγείας και φυσικής κατάστασης έχει αποδειχθεί μέσω αυτής της έρευνας. Είναι σημαντικό ότι έχει παρατηρηθεί ότι η συνεχής άσκηση υψηλής έντασης οδηγεί σε δείκτες φλεγμονής και μυϊκής βλάβης που παραμένουν εντός φυσιολογικών ορίων, υπογραμμίζοντας την ασφάλεια αυτής της μορφής άσκησης.

Η διατριβή υπογραμμίζει τις θετικές επιδράσεις του προγράμματος HIFT στην καρδιοαναπνευστική λειτουργία, τη σύσταση του σώματος και την αύξηση της μέγιστης μίας επανάληψης (1ME). Συγκεκριμένα, η συμπερίληψη ενός υψηλού φορτίου (80% 1ME) στο πρωτόκολλο HIFT δεν φαίνεται να εμποδίζει τις βελτιώσεις σε άλλες παραμέτρους φυσικής κατάστασης. Αντίθετα, συμβάλλει σημαντικά στην αύξηση της μυϊκής μάζας σε σύγκριση με πρωτόκολλα χωρίς υψηλό φορτίο.

Κεφάλαιο 4

Οι επιδράσεις συμπληρώματος που περιέχει ωμέγα-3 και ωμέγα-6 πολυακόρεστα λιπαρά οξέα και αντιοξειδωτικών βιταμινών σε συνδυασμό με λειτουργική προπόνηση υψηλής έντασης στην απόδοση κατά την άσκηση και τη φλεγμονή σε υγιείς νεαρούς ενήλικες

Εισαγωγή

Η μυϊκή βλάβη που προκαλείται από την άσκηση οδηγεί σε αλλοιωμένη δομή των μυϊκών πρωτεϊνών, μειωμένη μυϊκή δύναμη και μειωμένη μυϊκή λειτουργία. Αποτέλεσμα είναι οι μορφολογικές αλλαγές που οδηγούν σε αύξηση του ενζύμου κινάση της κρεατίνης (CK) και του ενζύμου CRP που οδηγούν σε ταυτόχρονη μείωση της αθλητικής απόδοσης. Η μυϊκή βλάβη που προκαλείται από την άσκηση (MABA) εκδηλώνεται ως μειωμένο εύρος κίνησης μειωμένη νευρομυϊκή λειτουργία και οίδημα των άκρων. Τα συμπτώματα υποβαθμίζουν τη μυϊκή λειτουργία και αναστέλλουν την ικανότητα εκτέλεσης άσκησης υψηλής έντασης τις επόμενες ημέρες, η οποία συχνά απαιτείται από αθλητικούς πληθυσμούς. Έτσι, η σημασία της αποκατάστασης καθίσταται υψίστης σημασίας, ιδίως όταν αυξάνεται το επίπεδο της προπόνησης, λόγω της διάρκειας και της συχνότητας της άσκησης, που είναι πολύ υψηλές στους προπονημένους αθλητές.

Ο σχεδιασμός για την επιτάχυνση της διαδικασίας αποκατάστασης περιλαμβάνει διάφορες μεθόδους, όπως συμπίεση και εμβάπτιση στο νερό, χειροθεραπείες (π.χ. διατάσεις και μασάζ), ύπνο και ειδικές διατροφικές παρεμβάσεις. Στις διατροφικές θεραπείες συζητείται λεπτομερέστερα η διατροφική αξία των αντιοξειδωτικών βιταμινών και αναλύεται η επίδρασή τους στην αποκατάσταση. Ωστόσο, εμφανίζονται αμφιλεγόμενες απόψεις σχετικά με τη δράση τους, αμφισβητώντας την θετική τους επίδραση στις προσαρμογές του οργανισμού κατά την προπόνηση. Το γεγονός ότι πριν από 35 χρόνια θεωρούνταν απαραίτητες για την καταπολέμηση του οξειδωτικού στρες που προκαλείται από την άσκηση, έχει αμφισβητηθεί την τελευταία δεκαετία. Αρκετές πρωτότυπες μελέτες και άρθρα ανασκόπησης έχουν υποστηρίξει σθεναρά την άποψη ότι η χορήγηση αντιοξειδωτικών συμπληρωμάτων θα πρέπει να αποθαρρύνεται κατά τη διάρκεια της άσκησης, επειδή οδηγεί σε μειωμένες μοριακές, βιοχημικές και φυσιολογικές προσαρμογές(237, 238).

Εκτός από τις αντιοξειδωτικές βιταμίνες, ορισμένα συμπληρώματα ωμέγα-3 λιπαρών οξέων EPA και DHA παρουσιάζουν ενδείξεις αντιφλεγμονώδους δράσης. Οι αντιοξειδωτικές βιταμίνες, ως σειρά συμπληρωμάτων ωμέγα-3 (EPA) και (DHA) λιπαρών οξέων, παρουσιάζουν ενδείξεις αντιφλεγμονώδους δράσης(239). Συγκεκριμένα, τα (EPA) και (DHA) ενσωματώνονται στις κυτταρικές μεμβράνες και ρυθμίζουν την απελευθέρωση μυϊκών ενζύμων και προφλεγμονωδών προσταγλανδινών. Μελέτες δείχνουν ότι τα ωμέγα 3 παρέχουν ευεργετικές επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία και σε ασθενείς με φλεγμονές και μπορούν να λειτουργήσουν ως σημαντικά ενεργειακά μόρια κατά τη διάρκεια της άσκησης που μπορούν

να ρυθμίσουν το οξειδωτικό στρες και τις φλεγμονώδεις αντιδράσεις(240). Ο μηχανισμός για τα αντιφλεγμονώδη χαρακτηριστικά των ωμέγα-3 PUFAs περιλαμβάνει τα ωμέγα-6 λιπαρά που προέρχονται από τη μεμβράνη με υπόστρωμα τα ωμέγα-3 λιπαρά, τα οποία προκαλούν λιγότερη παραγωγή φλεγμονωδών εικοσανοειδών και μειωμένη παραγωγή φλεγμονωδών.

Τα ωμέγα-6 PUFA, όπως το λινολεϊκό οξύ (LA) και το γ-λινολενικό οξύ (GLA), έχουν επίσης μελετηθεί για τις αντιφλεγμονώδεις ιδιότητές τους και την πιθανή επίδρασή τους στους φλεγμονώδεις δείκτες που προκαλούνται από την άσκηση. Ο Calder (2013) εξέτασε τη βιβλιογραφία σχετικά με τα ωμέγα-6 PUFAs και τη φλεγμονή και τόνισε το ρόλο τους στη ρύθμιση των φλεγμονωδών διεργασιών. Τα ωμέγα-6 PUFAs μπορούν να επηρεάσουν την παραγωγή προφλεγμονωδών και αντιφλεγμονωδών ενώσεων, ενδεχομένως μετριάζοντας τη φλεγμονή που προκαλείται από την άσκηση(241).

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η βέλτιστη αναλογία ωμέγα-3 προς ωμέγα-6 PUFA είναι απαραίτητη για τη διατήρηση μιας υγιούς φλεγμονώδους απόκρισης. Η ιδανική ισορροπία μεταξύ αυτών των λιπαρών οξέων εξακολουθεί να αποτελεί θέμα συνεχιζόμενης έρευνας και συζήτησης, καθώς η υπερβολική πρόσληψη ωμέγα-6 PUFA σε σχέση με ωμέγα-3 PUFA μπορεί να οδηγήσει σε ανισορροπία και να προάγει τη φλεγμονή. Η επίτευξη της κατάλληλης ισορροπίας μεταξύ αυτών των λιπαρών οξέων είναι ζωτικής σημασίας για τα πιθανά οφέλη τους στην απόδοση κατά την άσκηση και τη ρύθμιση της φλεγμονής.

Η αξία των λιπαρών οξέων στη διατήρηση της φλεγμονής, ειδικά στην άσκηση σε έκκεντρη φάση, αναδεικνύεται μέσα από τη διεθνή βιβλιογραφία. Ωστόσο, δεν υπάρχει πειστική απόδειξη σχετικά με την επίδραση των λιπαρών οξέων σε προγράμματα λειτουργικής προπόνησης υψηλής έντασης (HIFT), όπου μια δημοφιλής προπονητική προσέγγιση για την ενίσχυση της γενικής φυσικής κατάστασης και της απόδοσης ενσωματώνει στοιχεία ασκήσεων δύναμης, αντοχής και κινητικότητας.

Οι λειτουργικές προπονήσεις στα προγράμματα HIFT είναι μικρής διάρκειας και υψηλής έντασης και οι χρόνοι εκτέλεσης και αποκατάστασης είναι προκαθορισμένοι. Το καρδιαγγειακό σύστημα, η σύσταση του σώματος, οι μεταβολικές διεργασίες και οι λειτουργικές ικανότητες αυξάνονται ως αποτέλεσμα αυτής της στρατηγικής. Τα νεαρά άτομα μπορεί να βιώσουν ξεχωριστά οφέλη και να επιτύχουν τα καλύτερα αποτελέσματα άσκησης όταν ορισμένα διατροφικά συστατικά αλληλεπιδρούν με την άσκηση. Τα προγράμματα HIFT μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνα τους ή σε ομάδες χωρίς να χάσουν τα ευεργετικά τους οφέλη, γεγονός που καθιστά δυνατή την χρήση τους σε γυμναστήρια ή υπαίθριες ομάδες.

Δεδομένου ότι χρειάζεται μόνο λίγος χρόνος για να ολοκληρωθεί ένα καθημερινό πρόγραμμα προπόνησης, τα προγράμματα HIFT είναι περισσότερο αποδεκτά και αγαπητά από όσους αποφεύγουν συχνά την άσκηση λόγω χρονικών περιορισμών σε μια πρόσφατη δική μας μελέτη, δείξαμε ότι 8 εβδομάδες προπόνησης HIFT δεν παρουσίασαν υπερβολική αύξηση των δεικτών φλεγμονής και μυϊκής βλάβης, παρέχοντας βελτίωση σε επιμέρους δείκτες φυσικής κατάστασης. Αυτό που δεν γνωρίζουμε είναι αν η χορήγηση αντιοξειδωτικών βιταμινών και λιπαρών οξέων θα παρείχε περαιτέρω βελτίωση στους δείκτες φυσικής κατάστασης και αν οι συμμετέχοντες θα παρουσίαζαν αυξημένη απόδοση λόγω της επίδρασης των λιπαρών οξέων.

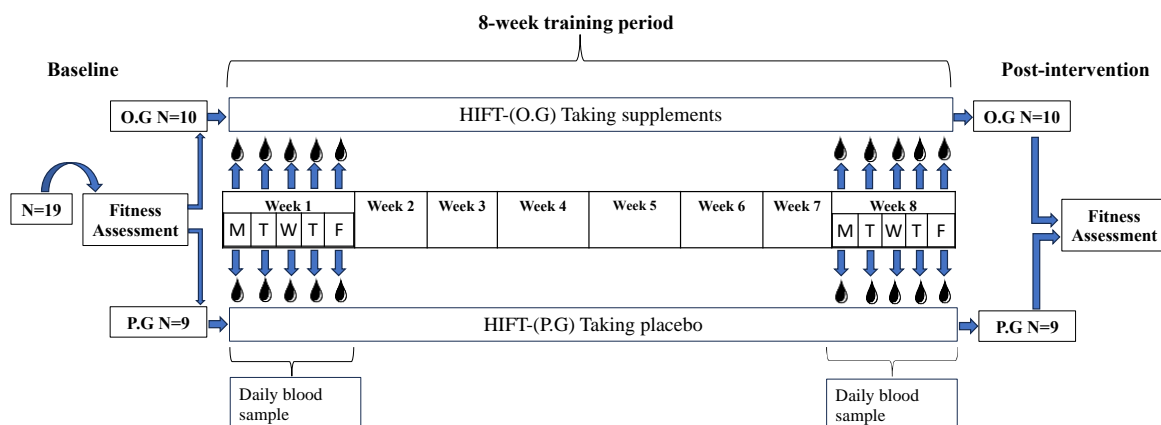
Ως εκ τούτου, η παρούσα μελέτη αποσκοπεί στη διερεύνηση των επιδράσεων συγκεκριμένων ωμέγα-3 και ωμέγα-6 PUFAs, καθώς και αντιοξειδωτικών βιταμινών, όταν συνδυάζονται με λειτουργική προπόνηση υψηλής έντασης στην απόδοση κατά την άσκηση, τη σύσταση του σώματος και τους δείκτες φλεγμονής σε υγιείς νεαρούς ενήλικες. Εξετάζοντας τη συνδυαστική επίδραση αυτών των θρεπτικών συστατικών με την άσκηση, ελπίζουμε να κατανοήσουμε καλύτερα τις δυνατότητές τους να ενισχύσουν την αθλητική απόδοση και να μετριάσουν τη φλεγμονή που προκαλείται από την άσκηση.

Υλικά και μέθοδοι

• Συμμετέχοντες

Δεκαεννέα υγιείς ενήλικες συμμετείχαν στη μελέτη (άνδρες $n = 9$, ηλικία $30,4 \pm 6,0$ y, γυναίκες $n = 10$, ηλικία $28,4 \pm 3,8$ y). Λόγω της απαιτητικής φύσης του HIFT, όλοι οι συμμετέχοντες ήταν εξοικειωμένοι με αυτή τη μορφή άσκησης, είχαν τουλάχιστον 6 μήνες εμπειρίας σε παρόμοια προγράμματα άσκησης και εξετάστηκαν από ιατρό, πριν συμμετάσχουν σε αυτή τη μελέτη. Μετά τις αρχικές μετρήσεις, οι συμμετέχοντες κατανεμήθηκαν τυχαία είτε στην πειραματική ομάδα (HIFT + συμπλήρωμα ωμέγα ιχθυελαίου- HIFT-OG= Ομάδα Ωμέγα) είτε στην ομάδα ελέγχου (HIFT + εικονικό φάρμακο- HIFT-PG= Ομάδα εικονικού φαρμάκου). Η OG αποτελούνταν από 10 συμμετέχοντες και η PG αντίστοιχα από 9 συμμετέχοντες. Η μελέτη αυτή εγκρίθηκε από την Εθνική τοπική επιτροπή βιοηθικής με αριθμό έγκρισης ΕΕΒΚ/ΕΠ/2016/56 και όλοι οι συμμετέχοντες υπέγραψαν έντυπο συγκατάθεσης μετά από γραπτή και προφορική επεξήγηση της φύσης, του σκοπού και της μεθοδολογίας της μελέτης.

Σχήμα 1. Πειραματικό πρωτόκολλο της μελέτης. OG = Ομάδα Ωμέγα, PG = Ομάδα εικονικού φαρμάκου.



• Σχεδιασμός μελέτης

Όλοι οι συμμετέχοντες υποβλήθηκαν σε περίοδο προπόνησης 8 εβδομάδων, εκτελώντας μαζί το ίδιο πρωτόκολλο HIFT τρεις φορές την εβδομάδα (Δευτέρα-Τετάρτη-Παρασκευή). Την εβδομάδα που προηγήθηκε (βασική γραμμή) και την εβδομάδα που ακολούθησε την προπονητική περίοδο (μετά την προπόνηση) όλοι οι συμμετέχοντες υποβλήθηκαν σε αξιολόγηση της φυσικής απόδοσης και της σύστασης του σώματος, συμπεριλαμβανομένης της ανθρωπομετρίας και της αξιολόγησης της σύστασης του σώματος, της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (VO_{2max}), της ισοκινητικής δύναμης των ποδιών, της δύναμης του άνω μέρους του σώματος, της ευλυγισίας και της αξιολόγησης της μυϊκής αντοχής. Οι συμμετέχοντες επισκέφθηκαν το εργαστήριο σε δύο διαφορετικές περιπτώσεις για να ολοκληρώσουν τη σειρά αξιολογήσεων της σωματικής απόδοσης και της σύστασης του σώματος. Όλες οι δοκιμασίες έλαβαν χώρα το πρωί, εκτός από τη δοκιμασία πάγκου 1RM και τις δοκιμασίες μυϊκής αντοχής που έλαβαν χώρα το απόγευμα.

Σε όλους τους συμμετέχοντες ζητήθηκε να απέχουν από έντονη άσκηση την ημέρα πριν από τις δοκιμές. Τηρήθηκε λεπτομερές αρχείο τροφίμων και υγρών για 24 ώρες πριν από την πρώτη τους επίσκεψη στο εργαστήριο, και αυτό επαναλήφθηκε κατά τη διάρκεια των δοκιμασιών μετά την προπόνηση. Οι δοκιμασίες μετά την προπόνηση πραγματοποιήθηκαν τουλάχιστον 72 ώρες μετά την τελευταία προπόνηση, ώστε να είναι δυνατή η επαρκής αποκατάσταση.

Κατά τη διάρκεια της περιόδου παρέμβασης, εκτός από την άσκηση, η ομάδα HIFT-OG λάμβανε ένα συμπλήρωμα πλούσιο σε ωμέγα λιπαρά οξέα και αντιοξειδωτικές βιταμίνες

(Neuroaspis PLP 10, Palupa Medical Ltd) και η ομάδα ελέγχου λάμβανε ένα εικονικό φάρμακο με δόση ενός μείγματος 19,5 ml καθαρού παρθένου ελαιολάδου (16 930 mg) συν άρωμα εσπεριδοειδών παρόμοιο σε γεύση, χρώμα και υφή.

• Ανθρωπομετρική αξιολόγηση και αξιολόγηση της σύστασης του σώματος

Το ύψος μετρήθηκε σε ψηφιακή θέση με αναστημόμετρο με ακρίβεια 0,5 cm. Όλες οι άλλες μεταβλητές σύστασης σώματος, όπως η σωματική μάζα (kg), το σωματικό λίπος (kg και % σωματικής μάζας) και η άλιπη σωματική μάζα (kg), μετρήθηκαν με αναλυτή βιοηλεκτρικής αντίστασης πολλαπλών συχνοτήτων (Sa m BCA 515, Sa, Chino, Καλιφόρνια, ΗΠΑ). Όλες οι μετρήσεις της σύστασης του σώματος πραγματοποιήθηκαν τις πρώτες πρωινές ώρες (7 π.μ.) σε κατάσταση νηστείας. Οι συμμετέχοντες φορούσαν μόνο ελαφρύ σορτς και μπλουζάκι.

• Αξιολόγηση καρδιοαναπνευστικής ικανότητας

Η $\dot{V}O_2\max$ και ο μέγιστος καρδιακός ρυθμός (HRmax) μετρήθηκαν με τη χρήση πρωτοκόλλου σταδιακού τρεξίματος σε επίπεδο διάδρομο (h/p/cosmos pulsar 3p; HP Cosmos, Nussdorf-Traunstein, Γερμανία). Η αρχική ταχύτητα ήταν 8 km-h21 και αυξανόταν κάθε λεπτό κατά 1 km-h21 μέχρι την εξάντληση. Η πρόσληψη οξυγόνου μετρήθηκε με αναλυτή ανά αναπνοή (Quark CPET- Cosmed, Ρώμη, Ιταλία). Το σημείο αναπνευστικής αντιστάθμισης (RC), που αντιστοιχεί στο δεύτερο αναπνευστικό κατώφλι, προσδιορίστηκε με βάση τις μεταβολές του λεπτού αερισμού (VE), του $\dot{V}O_2$ και του $\dot{V}CO_2$, σύμφωνα με τον Wasserman. Ο καρδιακός ρυθμός (HR) παρακολουθείτο συνεχώς με τη χρήση ενός οργάνου παρακολούθησης καρδιακού ρυθμού Polar (H10 Heart Rate sensor, Kempele, Φινλανδία). Όλα τα άτομα πέτυχαν πραγματική $\dot{V}O_2\max$, καθώς πληρούσαν τα κριτήρια που έθεσε η ACSM.

• Αξιολόγηση ισοκινητικής δύναμης

Η ισοκινητική δύναμη κάμψης και έκτασης του γονάτου μετρήθηκε με ισοκινητικό δυναμόμετρο (δυναμόμετρο Humac Norm, μοντέλο 770, CSMI Humac Norm, Stoughton, MA, ΗΠΑ). Ο προσανατολισμός του δυναμόμετρου διατηρήθηκε στις 0° τόσο για την κλίση όσο και για τον προσανατολισμό του καθίσματος. Η γωνία αυτή αφορά την γωνία του καθίσματος στην οποία είναι τοποθετημένο το γόνατο που μελετάται και γίνονται οι μετρήσεις. Αυτή

η συγκεκριμένη γωνία παραμένει σταθερή στο 0° κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Η διατήρηση μιας συγκεκριμένης γωνίας είναι σημαντική για την αξιοπιστία των μετρήσεων δύναμης στο γόνατο. Κρατώντας σταθερή τη γωνία στο 0° , το δυναμόμετρο διασφαλίζει ότι οι μετρήσεις γίνονται σε συγκεκριμένη θέση, προσφέροντας έτσι συγκρίσιμα και αξιόπιστα αποτελέσματα σχετικά με τη δύναμη που ασκείται κατά την κίνηση κάμψης και έκτασης του γονάτου.

Οι συμμετέχοντες κάθονταν και στερεώνονταν στη συσκευή με ιμάντες για το στήθος και τους μηρούς. Τα εξαρτήματα του δυναμόμετρου ρυθμίστηκαν έτσι ώστε το κέντρο κίνησης του μοχλοβραχίονα να ευθυγραμμίζεται με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια με τον ελαφρώς μεταβαλλόμενο άξονα κάμψης-έκτασης των αρθρώσεων. Το εύρος κίνησης διατηρήθηκε εντός των $0-90^\circ$ για την άρθρωση του γόνατος. Η αμφίπλευρη ισοκινητική (ομόκεντρη/συγκεντρωτική) κάμψη και έκταση του γόνατος σε $60^\circ/s$ εκτελέστηκε πέντε φορές. Οι συμμετέχοντες είχαν 15 δευτερόλεπτα ανάπαυσης μεταξύ των συνεδριών και τους δόθηκε λεκτική ενθάρρυνση.

• Απόδοση κατακόρυφου άλματος

Το κατακόρυφο άλμα χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση της ικανότητας άλματος και της εκρηκτικής δύναμης. Οι συμμετέχοντες εκτελούσαν άλμα από ημικάθισμα (SJ) με τα χέρια σταθερά στη μέση και άλμα με αντίθετη παροπαρασκευαστική κίνηση ελεύθερων χεριών (CMJ). Το ύψος άλματος μετρήθηκε με το Opto Jump Next (Microgate, Bolzano, Ιταλία). Επιτράπηκαν τρεις προσπάθειες για κάθε άλμα με 1 λεπτό ανάπαυσης μεταξύ των αλμάτων και καταγράφηκε η καλύτερη προσπάθεια.

• Δύναμη του άνω μέρους του σώματος

Για την αξιολόγηση της δύναμης του άνω μέρους του σώματος χρησιμοποιήθηκε η πίεση πάγκου. Δεδομένου ότι όλοι οι συμμετέχοντες είχαν κάποια προηγούμενη εμπειρία με το πάτημα πάγκου, χρησιμοποιήθηκε μια εκτίμηση του μέγιστου βάρους 1 επανάληψης (1RM) για τον καθορισμό της αντίστασης βάρους για τα αρχικά σετ της δοκιμασίας πάγκου. Μετά από μια προθέρμανση με ελαφριά βάρη, ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να εκτελέσουν 10 επαναλήψεις με 50% εκτίμηση 1 RM, στη συνέχεια 5 επαναλήψεις με 75% εκτίμηση 1RM, 3 επαναλήψεις με 85% εκτίμηση 1 RM και στη συνέχεια το βάρος συνέχισε να αυξάνεται κατά 5 ή 2,5 kg με τους συμμετέχοντες να εκτελούν 1 επανάληψη σε κάθε βάρος μέχρι να επιτευχθεί το πραγματικό 1RM. Μεταξύ κάθε σετ, υπήρχε ανάπαυση 4 λεπτών.

• Μυϊκή αντοχή

Δοκιμή μέγιστων επαναλήψεων 65% RM Bench press - Μετά τον προσδιορισμό του 1RM τους, οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να εκτελέσουν όσο το δυνατόν περισσότερες επαναλήψεις στο 65% του 1RM, με τη σωστή τεχνική. Η δοκιμασία τερματίστηκε όταν οι συμμετέχοντες δεν μπορούσαν να σηκώσουν τη μπάρα ή η τεχνική τους απέτυχε και χρειάστηκε βοήθεια για να σηκώσουν τη μπάρα.

Δοκιμασία αντοχής κοιλιακών - ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να εκτελέσουν όσο το δυνατόν περισσότερα ροκανίσματα σε 1 λεπτό. Ο συμμετέχων βρισκόταν σε ξαπλωμένη θέση στο έδαφος, με τα γόνατά του σε γωνία 90°, τα πόδια του σταθερά στο έδαφος και τα χέρια του σταυρωμένα στο στήθος.

• Πρωτόκολλο HIFT

Πριν από την παρέμβαση, όλοι οι συμμετέχοντες υποβλήθηκαν σε μια συνεδρία εξοικείωσης με το προτεινόμενο πρωτόκολλο άσκησης. Έμφαση δόθηκε στη σωστή τεχνική, την ασφάλεια και τον ορθό χειρισμό του εξοπλισμού άσκησης που θα χρησιμοποιούνταν κατά τη διάρκεια της μελέτης.

Πρωτόκολλο άσκησης - Κατά την άφιξη στον χώρο άσκησης, πραγματοποιήθηκε τυποποιημένη 10 λεπτή προθέρμανση των συμμετεχόντων πριν από το κύριο πρωτόκολλο HIFT. Η κύρια συνεδρία HIFT περιελάμβανε τέσσερις γύρους ενός κυκλώματος 9 ασκήσεων. Η αναλογία άσκησης προς ανάπαυση ήταν 30:15s. Μετά την ολοκλήρωση του 2ου γύρου επιτρεπόταν διάλειμμα δύο λεπτών (στο μέσο της συνεδρίας). Το πρωτόκολλο ασκήσεων περιελάμβανε τις ακόλουθες ασκήσεις: (1) Upright & sumo squat, (2) Abdominals-crunches whilst holding a medicine ball, (3) Clean & Press, (4) Jump Box, (5) TRX chest press, (6) Wallball throws, (7) Burpees, (8) Sledge Hammer, (9) Repeated 10m sprints. Η αντίσταση που χρησιμοποιήθηκε για τις ασκήσεις με βάρη ήταν 60% του 1RM. Το βάρος της ιατρικής μπάλας ήταν 3 και 4 κιλά.

Ο καρδιακός ρυθμός (HR) παρακολουθείτο συνεχώς και καταγραφόταν για τον προσδιορισμό της έντασης της άσκησης με τη χρήση αισθητήρων H7 της Polar Team και λογισμικού (Polar Team έκδοση 1.2).

Ζητήθηκε από όλους τους συμμετέχοντες να απέχουν από τη συμμετοχή σε άλλες έντονες δραστηριότητες κατά τη διάρκεια της μελέτης. Εξ όσων γνωρίζουμε, οι συμμετέχοντες τηρήσαν αυτή την κατεύθυνση.

• Συμπλήρωμα ιχθυελαίου ωμέγα - Neuroaspis PLP10

Οι συμμετέχοντες της πειραματικής ομάδας έλαβαν καθημερινά μια δόση ενός 19.5 ml μείγματος εικοσαπεντανοϊκού οξέος (EPA) (1650 mg)/δοκοσαεξανοϊκού οξέος (DHA) (4650 mg)/γ-λινολενικού οξέος (GLA) (2000 mg)/λινολεϊκού οξέος (LA) (3850 mg)/συνολικού άλλου ωμέγα-3 (600 mg)/συνολικού μονοακόρεστων λιπαρών οξέων (MUFA) (1714 mg) συν συνολικών κορεσμένων λιπαρών οξέων (SFA) (18:0 160 mg και 16:0 650 mg)/βιταμίνη A (0.6 mg)/βιταμίνη E (22 mg) συν καθαρή γ-τοκοφερόλη (760 mg) συν εσπεριδοαρώμα (Pantzaris et al., 2013). Οι συμμετέχοντες στην ομάδα του εικονικού φαρμάκου κατανάλωσαν μια δόση ενός μείγματος 19,5 ml καθαρού παρθένου ελαιολάδου (16 930 mg) συν άρωμα εσπεριδοειδών. Τόσο το συμπλήρωμα όσο και το εικονικό φάρμακο χορηγήθηκαν δια του στόματος (μία φορά ημερησίως-30 λεπτά πριν από το δείπνο) στην ίδια φιάλη. Τόσο οι συμμετέχοντες όσο και οι ερευνητές ήταν τυφλοί ως προς το περιεχόμενο των φιαλών.

• Βιοχημικές παράμετροι

Κατά τη διάρκεια της πρώτης και της τελευταίας εβδομάδας της προπονητικής περιόδου, λαμβάνονταν καθημερινά πρωινά δείγματα αίματος για την παρακολούθηση των μεταβολών της CK και της CRP. Σε κάθε λήψη λαμβάνονταν δείγματα αίματος 7,5 ml, εκ των οποίων τα 5 ml διανέμονταν στο απλό σωληνάριο για να αναλυθούν αργότερα η CRP και η CK, ενώ τα υπόλοιπα 2,5 ml διανέμονταν σε σωληνάριο EDTA για την επιβεβαίωση της πρόσληψης των ιχθυελαίων. Για τις εξετάσεις αίματος χρησιμοποιήθηκε ο αναλυτής Mindray BC 6800 και για τις βιοχημικές η φυγόκεντρος Beckham 680, η οποία περιστρεφόταν με ταχύτητα 4000 RPM για 8 λεπτά.

• Στατιστικές αναλύσεις

Οι αναλύσεις διενεργήθηκαν χρησιμοποιώντας το λογισμικό SPSS for Windows, έκδοση 23.0 (IBM, Armonk, NY, USA). Αξιολογήθηκε η κανονικότητα της κατανομής και η ομοιογένεια των διαφορών με τις δοκιμές Shapiro-Wilk και Levene, αντίστοιχα. Οι ανθρωπομετρικές και οι μεταβλητές απόδοσης αξιολογήθηκαν πριν και μετά την προπόνηση, χρησιμοποιώντας το ζευγαρωμένο Student t-test. Επιπλέον, για τις παραμέτρους CK και CRP, εφαρμόστηκε ανάλυση διακύμανσης με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις δύο κατευθύνσεων ANOVA (ANOVA with repeated measures), προκειμένου να εξεταστεί η επίδραση των

προπονητικών προγραμμάτων. Όταν παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση, χρησιμοποιήθηκε το post hoc τεστ Tukey για τον εντοπισμό σημαντικών διαφορών. Η στατιστική σημαντικότητα ορίστηκε στο επίπεδο $p < 0,05$. • *Αποτελέσματα*

Είκοσι άτομα ξεκίνησαν τη μελέτη, αλλά ένα άτομο εγκατέλειψε κατά τη διάρκεια της πρώτης εβδομάδας για προσωπικούς λόγους. Οι υπόλοιποι 19 χωρίστηκαν σε δύο ομάδες (HIFT-OG n=10, HIFT-PG n=9) και ολοκλήρωσαν το πρόγραμμα εκπαιδευτικής παρέμβασης διάρκειας 8 εβδομάδων. Κατά την έναρξη του προγράμματος (αρχική τιμή), οι δύο ομάδες ήταν παρόμοιες σε όλες τις μετρούμενες παραμέτρους.



Πίνακας 1. Σύσταση σώματος

ΔΣΜ=Δείκτης μάζας σώματος, Η έντονη γραφή υποδηλώνει σημαντικότητα σε $p < 0,05$.

OG= Ομάδα Ωμέγα, PG= Ομάδα εικονικού φαρμάκου

Μεταβλητή	OG (n=10)	Μεταβολή %	PG (n= 9)	Μεταβολή %	Κύριες επιδράσεις και αλληλε- πιδράσεις (p-value)		
					Χρόνος	Χρόνος X Ομάδα	Ομάδα
Ηλικία (χρόνια)	29.1 ± 6.1		30 ± 3.3		-	-	-
Μάζα σώματος (kg)							
Πριν	65.7 ± 10.3		64.2 ± 10.3		0.874		
Μετά	65.7 ± 9.6	-0.1%	63.6 ± 10.2	-1.07%	0.277	0.393	0.700
ΔΜΣ (kg m⁻²)							
Πριν	22.99 ± 2.45		23.43 ± 1.91		0.631		
Μετά	22.77 ± 2.52	-0.10%	23.12 ± 2.00	-1.32%	0.107	0.766	0.702
Μάζα σωματικού λίπους (%)							
Πριν	21.0 ± 5.3		24.0 ± 8.1		0.186		
Μετά	19.1 ± 5.3	-9.4%	23.6 ± 7.3	-1.8%	0.005	0.053	0.224
Μυϊκή μάζα (Kg)							
Πριν	24.8 ± 5.8		23 ± 6.3		0.625		
Μετά	25.2 ± 5.6	1.6%	22.7 ± 6.3	-1.2%	0.591	0.007	0.443
Άλιπη σωματική μάζα (Kg)							
Πριν	52.1 ± 10.1		48.9 ± 11.8		0.455		
Μετά	52.7 ± 10.2	1%	48.9 ± 11.4	-0.02%	0.118	0.107	0.488

• Σύσταση σώματος

Δεν υπήρχε διαφορά μεταξύ των ομάδων κατά την έναρξη της μελέτης στη σύσταση του σώματος ($p=0,186$). Σε σύγκριση με την αρχική τιμή, στο τέλος των 8 εβδομάδων προπόνησης HIIT, η στατιστική ανάλυση έδειξε επίδραση του χρόνου και μείωση της μάζας σωματικού λίπους (BFM) ($p=0,005$), αλλά δεν υπήρξε αλληλεπίδραση ομάδας ($p=0,224$) ή ομάδας x χρόνου ($p=0,053$).

Στην μάζα σώματος (kg) παρατηρήθηκε μικρή μείωση (O.G.=0,1%) (PG.= -1,07%), αλλά καμία σημαντική μεταβολή ($p=0,277$) σε σχέση με την αρχική αξιολόγηση ($p=0,874$). Η διαφορά παρέμεινε επίσης ασήμαντη ($p=0,700$).

Η μυϊκή μάζα παρουσίασε αύξηση (O.G.= 1,6%) ενώ ταυτόχρονα υπάρχει μείωση σε (PG.= -1,2%) καθώς και στατιστική διαφορά στην επίδραση του χρόνου στην ομάδα ($p=0,007$). Η αρχική μέτρηση ($p=0,625$), η μέτρηση μετά την παρέμβαση ($p=0,591$) και η μέτρηση μεταξύ των ομάδων δεν έδειξαν καμία διαφορά ($p=0,443$).

Τόσο η άλιπη σωματική μάζα (kg) ($p = 0,118$) όσο και ο ΔΜΣ ($p = 0,107$) στις δύο ομάδες δεν παρουσίασαν αλλαγή ούτε μεταξύ τους ούτε μετά την παρέμβαση σχετικά με τις αρχικές τιμές της άλιπης σωματικής μάζας ($p = 0,455$) και του ΔΜΣ ($p = 0,631$).

Πίνακας 2. Καρδιοαναπνευστικές παράμετροι

OG = Ομάδα Ωμέγα, PG = Ομάδα εικονικού φαρμάκου, Η έντονη γραφή υποδεικνύει τη σημαντικότητα σε $p < 0,05$.

Μεταβλητή	OG (n= 10)	Μεταβολή %	PG (n= 9)	Μεταβολή %	Κύριες επιδράσεις και αλληλεπιδράσεις (p-value)		
					Χρόνος	Χρόνος	Ομάδα
					X Ομάδα		
Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)							
Πριν	46.95 ± 5.24		42.84 ± 9.48		0.073		
Μετά	50.29 ± 4.83	7.1%	45.18 ± 9.30	5.5%	0.000	0.260	0.191
Μέγιστος καρδιακός ρυθμός ($\text{b}\cdot\text{min}$)							
Πριν	187 ± 10		188 ± 7		0.270		
Μετά	186 ± 6	-0.5%	189 ± 7	0.5%	0.735	0.551	0.595
Μέγιστη ταχύτητα ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)							
Πριν	15.0 ± 1.9		12.9 ± 3.0		0.065		
Μετά	15.6 ± 1.7	4%	13.7 ± 2.8	6%	0.000	0.579	0.078
Ταχύτητα αναπνευστικής αντιστάθμισης ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)							
Πριν	12.1 ± 1.3		10.2 ± 2.0		0.228		
Μετά	12.5 ± 1.0	3.7%	10.7 ± 1.9	4.3%	0.021	0.988	0.017
Καρδιακός ρυθμός αναπνευστικής αντιστάθμισης ($\text{b}\cdot\text{min}$)							
Πριν	171 ± 11		175 ± 8		0.293		
Μετά	170 ± 7	-0.5%	172 ± 6	-1.7%	0.062	0.408	0.388

• Καρδιοαναπνευστικές παράμετροι

Αρχικά οι ομάδες δεν παρουσίασαν καμία διαφορά ($p = 0,073$). Μετά την παρέμβαση, υπήρξε σημαντική μεταβολή της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου και στις δύο ομάδες (OG=7,1%, PG=5,5%, $p = 0,0001$), ενώ η μεταξύ τους διαφορά δεν ήταν στατιστικά σημαντική ($p = 0,191$).

Η μέγιστη ταχύτητα δεν παρουσίασε καμία διαφορά στην αρχή ($p=0.065$). Μετά την παρέμβαση υπήρξε σημαντική μεταβολή της μέγιστης ταχύτητας και στις δυο ομάδες (OG=4%, PG=6%, $p=0,000$), ενώ η μεταξύ τους διαφορά δεν ήταν στατιστικά σημαντική ($p = 0,078$).

Η ταχύτητας που αντιστοιχεί στην αναπνευστική αντιστάθμιση ενώ αρχικά δεν υπήρχε καμία διαφορά ($p=0.228$), μετά την παρέμβαση υπήρξε σημαντική μεταβολή (OG=3,7%, PG=4,3%, $p=0.021$). Επιπλέον, στην μεταξύ τους διαφορά παρουσιάστηκε στατιστική σημαντικότητα ($p=0,017$). Ο μέγιστος καρδιακός ρυθμός αρχικά δεν παρουσίασε καμία διαφορά ($p=0,270$). Μετα την παρεμβαση δεν υπηρξε σημαντική μεταβολη σε καμια ομαδα (OG=-0.5%%, PG=0,5%, $p = 0,735$), επίσης η μεταξύ τους διαφορά δεν ήταν στατιστικά σημαντική ($p = 0,595$). Ο καρδιακός ρυθμός αναπνευστικής αντιστάθμισης αρχικά δεν παρουσίασε καμια διαφορά ($p=0.293$). Μετα την παρέμβαση δεν υπήρξε σημαντική μεταβολη σε καμία ομαδα (OG=-0.5%%, PG=-1.7%, $p = 0,062$), επίσης η μεταξύ τους διαφορά δεν ήταν στατιστικά σημαντική ($p = 0,388$).

Πίνακας 3. Παράμετροι Μυϊκής Αντοχής της Δύναμης

OG = Ομάδα Ωμέγα, PG = Ομάδα εικονικού φαρμάκου, SJ, άλμα από ημικάθισμα - CMJ, άλμα με αντίθετη παροπαρασκευαστική κίνηση ελεύθερων χεριών. Η έντονη γραφή υποδεικνύει τη σημαντικότητα σε $p < 0,05$.

Μεταβλητή	OG (n=10)	Μεταβολή %	PG (n= 9)	Μεταβολή %	Κύριες επιδράσεις και αλληλεπιδράσεις (p-value)		
					Χρόνος	Χρόνος X Ομάδα	Ομάδα
Μέγιστη ροπή, έκτασης δεξιού ποδιού, $60^\circ \cdot s^{-1}$ (Nm)							
Πριν	165.8 ± 44.08		154 ± 59.00		0.150		
Μετά	173.4 ± 31.88	4.6%	147.66 ± 60.18	-4.1%	0.889	0.139	0.412
Μέγιστη ροπή, έκτασης αριστερού ποδιού, $60^\circ \cdot s^{-1}$ (Nm)							
Πριν	101.3 ± 31.98		92.33 ± 38.83		0.326		
Μετά	108.2 ± 28.37	6.8%	96.55 ± 39.95	4.6%	0.279	0.791	0.507
SJ (cm)							
Πριν	28.3 ± 5.8		26.5 ± 7.7		0.319		
Μετά	32.7 ± 8.1	15.5%	29.5 ± 7.5	11.3%	0.000	0.304	0.465
CMJ (cm)							
Πριν	33.8 ± 7.7		31.5 ± 9.5		0.438		
Μετά	38.1 ± 9.0	12.7%	34.2 ± 9.75	8.6%	0.000	0.137	0.465
Πιέσεις πάγκου 1ME (kg)							
Πριν	59 ± 21.4		43 ± 22.9		0.977		
Μετά	62 ± 22.6	5.1%	48 ± 21.6	11.6%	0.000	0.264	0.155
Πιέσεις πάγκου 65% 1 ME (επαναλήψεις)							
Πριν	21 ± 5.1		19 ± 5.0		0.697		
Μετά	23 ± 2.4	9.5%	22 ± 4.4	15.8%	0.012	0.797	0.650
Ροκανίσματα κοιλιακών σε 1 λεπτό (επαναλήψεις)							
Πριν	43 ± 5.2		37 ± 8.8		0.094		
Μετά	49 ± 7.4	22.5%	44 ± 8.1	18.9%	0.000	0.532	0.104

- **Μέγιστη ροπή, έκταση κυρίαρχου γόνατος $60^{\circ}\cdot s^{-1}$**

Οι δύο ομάδες κατά την έναρξη δεν παρουσίασαν καμία διαφορά ($p = 0,150$). Το ίδιο φαινόμενο παραμένει και μετά την παρέμβαση χωρίς βελτίωση ($p = 0,889$). Επιπλέον, η διαφορά μεταξύ των ομάδων δεν ήταν στατιστικά σημαντική ($p = 0,412$).

- **Μέγιστη ροπή, κάμψη κυρίαρχου γόνατος $60^{\circ}\cdot s^{-1}$**

Και οι δύο ομάδες κατά την έναρξη παρουσιάζουν παρόμοιες τιμές ($p = 0,326$). Μετά την παρέμβαση, δεν φαίνεται να υπάρχει σημαντική αλλαγή ($p = 0,279$).

Η απουσία σημαντικής διαφοράς μεταξύ τους παρέμεινε και στο τέλος της προπονητικής περιόδου 8 εβδομάδων ($p = 0,507$).

- **Παράμετροι Μυϊκής Αντοχής της Δύναμης**

Οι ομάδες ξεκίνησαν με τον ίδιο τρόπο ($p=0,319$). Η ομάδα OG στο CMJ παρουσίασε βελτίωση 15,5% από την αρχική της τιμή με την αντίστοιχη PG στο 11,3%. Συνολικά, και οι δύο ομάδες βελτίωσαν τις επιδόσεις τους σε άλμα ($p=0,000$) με μικρή διαφορά ($p=0,465$). Το ίδιο φαινόμενο παρουσιάζεται και στο CMJ και για τις δύο ομάδες, όπου αρχικά δεν υπήρχε διαφορά ($p=0,438$) αλλά μετά την παρέμβαση, παρουσίασαν βελτίωση στο OG=12,7% και PG=8,6%. Η συνολική τους βελτίωση ήταν σημαντική ($p<0,001$).

Στις πιέσεις πάγκου 1ME υπήρξε βελτίωση της δύναμης και στις δύο ομάδες ($p < 0,001$), και είχαν ξεκινήσει από παρόμοια αρχική κατάσταση ($p=0,977$ μεταξύ των ομάδων). Σημαντική απόκλιση παρουσιάστηκε στο PG=11,6% και στο OG=5,1%. με μικρές διαφορές μεταξύ τους ($p=0,155$).

Στις πιέσεις πάγκου 65% 1 ME πριν από την παρέμβαση, οι ομάδες είχαν την ίδια ικανότητα ($p=0,697$) και μετά την παρέμβαση, υπήρξε συνολική βελτίωση ($p=0,012$) με PG=15,8% και OG=9,5% αλλά η διαφορά μεταξύ τους παρέμεινε μικρή ($p=0,650$).

Παρόμοιο φαινόμενο παρουσιάστηκε στα ροκανίσματα κοιλιακών σε 1 λεπτό, όπου στην αρχή δεν υπήρξε διαφορά ($p=0,094$) αλλά μετά την παρέμβαση, η ικανότητα των ομάδων άλλαξε OG=22,5% και PG=18,9%. Υπήρξε συνολική βελτίωση μεταξύ των δύο ομάδων ($p=0,000$), χωρίς να υπάρξει σημαντική μεταβολή μεταξύ τους ($p=0,104$).

• Βιοχημικές παράμετροι

Οι συγκρίσεις στους βιοχημικούς δείκτες CK και CRP έγιναν ως εξής: 1) Διαφορά μεταξύ της ομάδας ελέγχου και του εικονικού φαρμάκου 2) Διαφορά μεταξύ της πρώτης και της όγδοης εβδομάδας 3) Διαφορές μεταξύ των ημερών προπόνησης.

Στον πρώτο παράγοντα, ομάδα, ο δείκτης κρεατινικής-κινάσης (CK) την πρώτη και την τελευταία εβδομάδα συνολικά έδειξε μέση τιμή \pm SD ομάδα ωμέγα OG = 209 ± 33 (U-L⁻¹) και ομάδα εικονικού φαρμάκου PG = 171 ± 35 (U-L⁻¹) όπου δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους ($p = 0,444$). Ανεξάρτητα από την ομάδα ελέγχου και την ομάδα εικονικού φαρμάκου, η προπόνηση δεν επέφερε σημαντική αλλαγή στην CK.

Στη σύγκριση μεταξύ εβδομάδων, η συνολική συγκέντρωση κρεατινικής-κινάσης στις δύο ομάδες παρουσιάστηκε ως OG & PG = 227 ± 33 (U-L⁻¹) την πρώτη εβδομάδα μετά την παρέμβαση η τιμή της συγκέντρωσης μειώθηκε σε OG & PG = 154 ± 19 (U-L⁻¹). Υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της πρώτης και της όγδοης εβδομάδας ($p = 0,009$), όπου οι συγκεντρώσεις της CK μειώθηκαν σημαντικά την όγδοη εβδομάδα.

Στον τρίτο παραγοντα, ημέρα, παρατηρήθηκαν επίσης στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η ημέρα προπόνησης επηρεάζει τη συγκέντρωση των τιμών της CK μεταξύ των ημερών προπόνησης. Η μείωση των αθροιστικών ημερών CK δείχνει ότι οι ημέρες προπόνησης ποικίλουν μεταξύ της διάρκειας των προπονήσεων (t_4)

Με βάση τα δεδομένα που παρουσιάστηκαν οι συγκεντρώσεις της CRP δεν φαίνεται να επηρεάζονται από την προπόνηση.

Με μέση τιμή \pm SD, OG = $1,43 \pm 0,47$ (mg-L⁻¹) και PG = $1,31 \pm 0,5$ (mg-L⁻¹) την πρώτη και την όγδοη εβδομάδα, η συγκέντρωση της CRP δεν παρουσίασε σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο ομάδων ($p = 0,865$).

Οι δύο ομάδες με μέσο όρο \pm SD την πρώτη OG & PG = $1,68 \pm 0,49$ (mg-L⁻¹) και την όγδοη εβδομάδα OG & PG = $1,05 \pm 0,34$ (mg-L⁻¹) έδειξαν ότι δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των εβδομάδων ($p = 0,212$).

Τέλος, ο παράγοντας ημέρα δεν παίζει ρόλο στη συγκέντρωση της CRP. Η διακύμανση εμφανίζεται σε όλες τις ημέρες χωρίς στατιστική σημαντικότητα

Πίνακας 4. Μέση διαφορά στην ημερήσια τιμή της Κρεατινικής Κινάσης (CK) μεταξύ των ομάδων

Κρεατινική Κινάση

Συγκρίσεις ημερών		Μέσος όρος διαφοράς	p-value
Δευτέρα	Τρίτη	-57.281	0.009
	Τετάρτη	-13.692	0.452
	Πέμπτη	-55.428	0.058
	Παρασκευή	-11.611	0.594
Τρίτη	Δευτέρα	57.281	0.009
	Τετάρτη	43.589	0.001
	Πέμπτη	1.853	0.877
	Παρασκευή	45.669	0.000
Τετάρτη	Δευτέρα	13.692	0.452
	Τρίτη	-43.589	0.001
	Πέμπτη	-41.736	0.022
	Παρασκευή	2.081	0.805
Πέμπτη	Δευτέρα	55.428	0.058
	Τρίτη	-1.853	0.877
	Τετάρτη	41.736	0.022
	Παρασκευή	43.817	0.003
Παρασκευή	Δευτέρα	11.611	0.594
	Τρίτη	-45.669	0.000
	Τετάρτη	-2.081	0.805
	Πέμπτη	-43.817	0.003

Πίνακας 5. Μέση διαφορά στην ημερήσια τιμή της C-αντιδρώσας πρωτεΐνης μεταξύ των ομάδων

C-αντιδρώσα πρωτεΐνη

Συγκρίσεις ημερών		Μέσος όρος διαφοράς	p-value
Δευτέρα	Τρίτη	0.133	0.173
	Τετάρτη	0.221	0.082
	Πέμπτη	-0.375	0.274
	Παρασκευή	-0.631	0.351
Τρίτη	Δευτέρα	-0.133	0.173
	Τετάρτη	0.088	0.159
	Πέμπτη	-0.508	0.188
	Παρασκευή	-0.764	0.288
Τετάρτη	Δευτέρα	-0.221	0.082
	Τρίτη	-0.088	0.159
	Πέμπτη	-0.596	0.117
	Παρασκευή	-0.851	0.238
Πέμπτη	Δευτέρα	0.375	0.274
	Τρίτη	0.508	0.188
	Τετάρτη	0.596	0.117
	Παρασκευή	-0.256	0.509
Παρασκευή	Δευτέρα	0.631	0.351
	Τρίτη	0.764	0.288
	Τετάρτη	0.851	0.238
	Πέμπτη	0.256	0.509

Συζήτηση

Η παρούσα μελέτη διερεύνησε την επίδραση του συνδυασμού ωμέγα-3 και ωμέγα-6 πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (PUFA) με αντιοξειδωτικές βιταμίνες σε ένα πρόγραμμα λειτουργικής προπόνησης υψηλής έντασης (HIFT). Η άσκηση υψηλής έντασης συχνά προκαλεί φλεγμονή, η οποία μπορεί να έχει αρνητική επίδραση στην απόδοση. Ωστόσο, τα ευρήματα αυτής της μελέτης καταδεικνύουν θετική επίδραση στην απόδοση, η οποία υποστηρίζεται από βιοχημικούς δείκτες, υποδεικνύοντας την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα των προγραμμάτων HIFT.

Μια πτυχή που συμβάλλει στη βελτίωση της απόδοσης είναι η βελτίωση της σύστασης του σώματος. Μετά από 8 εβδομάδες HIFT, και οι δύο ομάδες παρουσίασαν σημαντική μείωση της μάζας σωματικού λίπους. Ωστόσο, η ομάδα ωμέγα (OG) παρουσίασε σημαντική αύξηση της μυϊκής μάζας, ενώ η ομάδα εικονικού φαρμάκου (PG) παρουσίασε μείωση. Παρόλο που και οι δύο ομάδες ακολούθησαν ένα φορτίο τουλάχιστον 65% του μέγιστου της μιας επανάληψης (1RM), το οποίο είναι γνωστό ότι προκαλεί μυϊκή υπερτροφία, μόνο η OG παρουσίασε αύξηση. Αυτή η ασυμφωνία υποδηλώνει ότι η προπόνηση αντίστασης από μόνη της δεν συμβάλλει εξίσου στην αύξηση της μυϊκής μάζας στην ομάδα O.G..

Το γεγονός ότι η προπόνηση αντίστασης έχει αποδειχθεί εδώ και καιρό ως μέσο ανάπτυξης και διατήρησης της μυϊκής δύναμης, και της αντοχής, και επαγωγής της μυϊκής υπερτροφίας, δεν συνέβαλε εξίσου στην αύξηση της μυϊκής μάζας στην ομάδα PG. Εν μέρει, η εικόνα αυτή μπορεί να αποδοθεί στην υψηλή ένταση που αυξάνει την ικανότητα του οργανισμού να χρησιμοποιεί τα λιπίδια ως ενεργειακό υπόστρωμα σε μεγαλύτερο βαθμό από ό,τι η σταθερή αερόβια άσκηση, με αυξημένη διέγερση των ενζύμων που είναι υπεύθυνα για τη β-οξειδωση. Επιπλέον, το HIFT αυξάνει το ρυθμό υπερκατανάλωσης οξυγόνου μετά την άσκηση, ο οποίος έχει αποδειχθεί ότι συσχετίζεται θετικά με την ένταση της άσκησης.

Στη μυϊκή μάζα, η διαφορά μεταξύ των ομάδων μπορεί να εξηγηθεί από την αντιφλεγμονώδη λειτουργία των λιπαρών οξέων και των αντιοξειδωτικών βιταμινών που βοηθούν στην προστασία των κυττάρων από την οξειδωση που μπορεί να προκληθεί από την άσκηση. Τα λιπαρά οξέα που εκτός από εργογόνο βοήθημα, λειτουργούν επίσης ως μηχανισμός με τον οποίο η ενσωμάτωση των λιπαρών οξέων στις κυτταρικές μεμβράνες μεταβάλλει τη ρευστότητα τους μεταβάλλοντας έτσι τις πρωτεϊνικές δραστηριότητες και τη συνολική λειτουργία των κυττάρων. Συνεπώς το συμπλήρωμα ωμέγα λιπαρών οξέων έχει τη δυνατότητα να διαδραματίζει ρόλο στη βελτίωση της προσαρμογής στην άσκηση, της αποκατάστασης από

την άσκηση και της επακόλουθης απόδοσης. Έτσι, αυτή η μηχανική διαδικασία πιθανόν να προσέφερε τη δυνατότητα παραγωγής περισσότερου έργου για την ομάδα OG. και συνεπώς αύξηση του όγκου προπόνησης.

Στη μυϊκή μάζα, η διαφορά μεταξύ των ομάδων μπορεί να εξηγηθεί από την αντιφλεγμονώδη λειτουργία των λιπαρών οξέων και των αντιοξειδωτικών βιταμινών που συμβάλλουν στην προστασία των κυττάρων από την οξείδωση που μπορεί να προκληθεί από την άσκηση. Τα λιπαρά οξέα, εκτός από εργογόνο βοήθημα, δρουν επίσης ως μηχανισμός με τον οποίο η ενσωμάτωση των λιπαρών οξέων στις κυτταρικές μεμβράνες μεταβάλλει τη ρευστότητα των κυτταρικών μεμβρανών μεταβάλλοντας έτσι τις πρωτεϊνικές δραστηριότητες και τη συνολική κυτταρική λειτουργία, οπότε αυτές οι μηχανιστικές πληροφορίες υποδηλώνουν ότι τα συμπληρώματα έχουν τη δυνατότητα να διαδραματίσουν ρόλο στη βελτίωση της προσαρμογής στην άσκηση, της αποκατάστασης από την άσκηση και της επακόλουθης απόδοσης. Η άποψη αυτή υποστηρίζεται από άλλες τυχαιοποιημένες ελεγχόμενες μελέτες (RCT), οι οποίες συσχετίζουν θετικά τη μυϊκή μάζα και την απόδοση με συγκεκριμένα θρεπτικά συστατικά, όπως τα n-3 πολυακόρεστα λιπαρά οξέα από ψάρια (n-3 PUFAs) επομένως, η πρόσληψη n-3 PUFAs ενισχύει το ρυθμό σύνθεσης μυϊκής πρωτεΐνης. Οι Feito et al. σε μια μελέτη 16 εβδομάδων παρουσιάζουν παρόμοια στοιχεία, όσον αφορά τις παραμέτρους της φυσικής κατάστασης από τις οποίες παραλείπουν το συμπλήρωμα λιπαρών οξέων, αλλά η πραγματικότητα είναι ότι η βιβλιογραφία δεν παρέχει σαφείς κλινικές αποδείξεις για τα προγράμματα HIFT σε συνδυασμό με συμπλήρωμα ωμέγα λιπαρών οξέων. Εκτός λοιπόν από τις γνωστές ιδιότητες των ωμέγα λιπαρών οξέων για αναβολική δράση στους ανθρώπινους ιστούς, με τα αποτελέσματά της, η μελέτη αυτή ενισχύει τη δράση των ωμέγα σε προγράμματα HIFT, εμπλουτίζοντας τη διεθνή βιβλιογραφία.

Οι θετικές επιδράσεις στην απόδοση είναι πιο έντονες στην καρδιαγγειακή ικανότητα, όπου παρατηρείται βελτίωση και στις δύο ομάδες. Η αύξηση της VO₂max οφείλεται στην άσκηση υψηλής έντασης και στην κυκλική της μορφή, όπου η μορφή αυτή μπορεί να προκαλέσει αύξηση των δεικτών μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου σε σύγκριση με τα παραδοσιακά πρωτόκολλα άσκησης(76, 242). Το γεγονός της αύξησης της έντασης μπορεί να λειτουργήσει ως ισχυρό μέσο βελτίωσης της καρδιοαναπνευστικής ικανότητας, καθώς αυτή η μορφή άσκησης συνοδεύεται από την ενίσχυση των καρδιακών κυττάρων και της αρτηριακής πίεσης, καθώς και με τη βελτίωση της VO₂max. Επιπλέον, η προπόνηση υψηλής έντασης προσφέρει τη δυνατότητα βελτίωσης των περιφερικών προσαρμογών. Έρευνες έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι η διαλειμματική προπόνηση (90% HR_{max}) μπορεί να ωφελήσει την

αερόβια ικανότητα περισσότερο από το συνεχές τρέξιμο (75% HRmax), άποψη που συμπεριφέρονται και άλλες μελέτες. Παρά τις βελτιωμένες επιδόσεις των ομάδων, η παρουσία λιπαρών οξέων στην ομάδα πιθανόν να οδηγήσει σε προστατευτική επίδραση στην καρδιαγγειακή λειτουργία στο μέλλον. Το γεγονός αυτό υποστηρίζεται από τις ευεργετικές ιδιότητες των ωμέγα λιπαρών οξέων, όπου οι καρδιοπροστατευτικές επιδράσεις των ωμέγα-3 λιπαρών οξέων αποδίδονται σε βελτιώσεις σε διάφορους παράγοντες καρδιαγγειακού κινδύνου, συμπεριλαμβανομένης της μείωσης της συγκέντρωσης αιμοπεταλίων, της μείωσης της φλεγμονής, της βελτίωσης της ενδοθηλιακής λειτουργίας, των θετικών αλλαγών στα λιπίδια του αίματος και της μείωσης της αρτηριακής πίεσης. Έτσι, τα προγράμματα HIFT μπορούν να προταθούν ως ένα ισχυρό μέσο βελτίωσης της αερόβιας ικανότητας σε ομαδικό ή ατομικό επίπεδο. Ιδιαίτερα όταν συνοδεύονται από συμπληρώματα ωμέγα λιπαρών οξέων και αντιοξειδωτικών βιταμινών, θα μπορούσε κανείς να έχει ευνοϊκές συνθήκες για υγιή καρδιαγγειακά κύτταρα. Επιπλέον, το χαρακτηριστικό της μικρής διάρκειας μπορεί να λειτουργήσει αποτρεπτικά για την εγκατάλειψη της άσκησης. Αυτό συμβαίνει διότι η έλλειψη χρόνου, την οποία επικαλούνται οι ασκούμενοι, θεωρείται ένας από τους κύριους παράγοντες που οδηγούν στην εγκατάλειψη της άσκησης.

Στις άλλες παραμέτρους της καρδιαγγειακής ικανότητας, παρατηρήθηκε βελτίωση στη μέγιστη ταχύτητα, στην ταχύτητα στην RC και οριακή βελτίωση στην HR στην RC. Αυτές οι αυξήσεις μπορούν να αποδοθούν στο γεγονός ότι η άσκηση υψηλής έντασης μπορεί να προκαλέσει προσαρμογές στο καρδιαγγειακό, καθώς και τα προγράμματα HIFT, επιφέροντας περιφερειακές βελτιώσεις στην ισχύ, οι οποίες με τη σειρά τους οδηγούν σε αυξημένες εντάσεις που αποδίδουν υψηλότερες ταχύτητες.

Ένα ευρύ φάσμα βελτιώσεων της απόδοσης παρουσιάζεται από τα προγράμματα HIFT, στις παραμέτρους της δύναμης και της αντοχής. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης είναι ενθαρρυντικά λόγω της αυξημένης απόδοσης που παρατηρήθηκε. Το γεγονός ότι η προπόνηση αντίστασης είναι αποδεκτό ως μέσο ανάπτυξης και διατήρησης της μυϊκής δύναμης και της μυϊκής μάζας, επιβεβαιώνεται στην παρούσα μελέτη. Οι αντιστάσεις που χρησιμοποιήθηκαν αύξησαν τόσο τη μέγιστη ισχύ (% 1RM) και την αντοχή (65% της 1RM) όσο και τον αριθμό των επαναλήψεων των κοιλιακών του άνω μέρους του σώματος. Παρόλο που η επιβάρυνση διατηρήθηκε σε χαμηλότερα επίπεδα από ό,τι υπό μέγιστη ένταση, εντούτοις δεν υπήρξε έλλειψη αύξησης της δύναμης και της αντοχής του άνω μέρους του σώματος. Αυτές οι βελτιώσεις αποδίδονται στο γεγονός ότι ένα φορτίο 65% του 1RM μπορεί να προκαλέσει μυϊκή ανάπτυξη και κατά συνέπεια αύξηση της απόδοσης. Τα αποτελέσματα

παραμένουν θετικά για το κάτω μέρος του σώματος, το οποίο στερείται βελτίωσης στη δύναμη των κάτω άκρων, αλλά παρουσιάζει συνολική βελτίωση στο CMJ (χέρια). Ένας λόγος για τις βελτιώσεις στο άλμα αποδίδεται στην ένταξη πλειομετρικών ασκήσεων στο πρόγραμμα HIFT, οι οποίες βοήθησαν στη βελτίωση της νευρομυϊκής λειτουργίας και συνεπώς της απόδοσης στο άλμα. Μεταξύ των βιοχημικών δεικτών, η παρούσα μελέτη εξετάζει τη φλεγμονή CRP και τη μυϊκή βλάβη (CK) κατά τη διάρκεια του HIFT. Επίσης, η παρούσα μελέτη αποσκοπεί στη διερεύνηση των πιθανών επιδράσεων του πλούσιου ιχθυελαίου, δηλαδή κατά πόσον το συμπλήρωμα αυτό θα μείωνε τη φλεγμονή και τη μυϊκή βλάβη που προκαλείται από την άσκηση. Η απάντηση στις παραπάνω έρευνες δείχνει θετικό αποτέλεσμα.

Στην υπάρχουσα βιβλιογραφία αναφέρεται ότι η συμπλήρωση με ωμέγα-3 μπορεί να λειτουργήσει ως φυσικός αντιφλεγμονώδης παράγοντας για άτομα που δεν λαμβάνουν στεροειδή αντιφλεγμονώδη φάρμακα για ιατρική χρήση. Επιπλέον, κατά τη διαδικασία αποκατάστασης, η οποία είναι υψίστης σημασίας για τους ασκούμενους, τα ωμέγα-3 λιπαρά οξέα συμβάλλουν θετικά στην επιτάχυνση του χρόνου αποκατάστασης μετριάζοντας τις αρνητικές επιπτώσεις της EIMD και του DOMS, ενώ ταυτόχρονα ενισχύουν τη μυϊκή λειτουργία. Σε πολλές κλινικές δοκιμές όπου διενεργήθηκαν σε ανθρώπους με 14.900 συμμετέχοντες, εξαχθήκαν στοιχεία που υποστηρίζουν την αποτελεσματικότητα του ιχθυελαίου και των ω-3 λιπαρών οξέων στην πρόληψη και τη θεραπεία φλεγμονωδών καταστάσεων. Μια άλλη μελέτη σημειώνει ότι η υψηλή κατανάλωση ω-3 μειώνει τη φλεγμονή και το οξειδωτικό στρες, ωστόσο τα ευρήματα της παρούσας μελέτης δείχνουν ότι και οι δύο ομάδες που ακολουθούν το HIFT δεν παρουσιάζουν αυξημένα ποσοστά φλεγμονής (CRPs) που δεν υπερβαίνουν τα φυσιολογικά όρια των 0-10 mg/L. Παρόμοια είναι η εικόνα και στο σκορ μυϊκής βλάβης (CK) όπου και στις δύο ομάδες οι τιμές δεν υπερβαίνουν τα φυσιολογικά όρια. Μελέτες αναφέρονται στη θετική επίδραση των συμπληρωμάτων ω-3 ως φυσικός αντιφλεγμονώδης παράγοντας στη μείωση των ρυθμών φλεγμονής. Μια προηγούμενη μελέτη διαπίστωσε ότι ένα συμπλήρωμα που περιέχει ω-3 λιπαρό οξύ DHA εξασθένησε τη φλεγμονώδη απόκριση στην έκκεντρη άσκηση. Ενώ στην παρούσα μελέτη γίνεται εκτενής αναφορά στο ω-3 σε φλεγμονώδεις καταστάσεις, τα συμπληρώματα ω-3 που έλαβε η ομάδα ελέγχου και το φυσικό έλαιο που έλαβε η ομάδα εικονικού φαρμάκου δεν παρουσίασαν καμία διαφορά στους δείκτες φλεγμονής και μυϊκής βλάβης, ούτε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους.

Το γεγονός ότι δεν υπήρξαν υψηλές συγκεντρώσεις επιλεγμένων δεικτών φλεγμονής και

μυϊκής βλάβης οφείλεται στην απουσία έντονης έκκεντρης άσκησης. Μια μελέτη διαπίστωσε ότι με την παρουσία της έκκεντρης μορφής άσκησης προκαλείται αύξηση των επιπέδων φλεγμονής. Ακόμη και η απουσία διαφορών μεταξύ των ομάδων είναι πιθανό να δικαιολογεί ότι σε μέτρια επίπεδα φλεγμονής η δράση των ωμέγα-3 αναστέλλεται. Επίσης, αύξηση της φλεγμονής προκαλείται από μακροχρόνιες ασκήσεις όπως ο μαραθώνιος και το τρίαθλο(243).

Σε μια άλλη μελέτη σχετικά με την επίδραση του ιχθυελαίου, το συμπλήρωμα ω-3 συσχετίστηκε με μείωση του πόνου στο δικέφαλο μετά από συμπλήρωμα για 14 ημέρες. Αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι παρά την έκκεντρη άσκηση, τα άτομα που κατανάλωναν συμπληρώματα ω-3 σε δόση 3.000 mg/ημέρα παρουσίασαν μειωμένο πόνο και μεγαλύτερη ευλυγισία των κάτω άκρων και κατά συνέπεια μειωμένη φλεγμονή. Για την σημαντική αύξηση των συμπληρωμάτων ωμεγα-3 των απαιτείται 14ήμερη ημερήσια δοσολογία. Στην παρούσα μελέτη, η ομάδα ελέγχου ακολούθησε αυξημένη δόση 7000 mg / d και έλαβε ιχθυέλαιο για 8 εβδομάδες καθημερινά. Με βάση την υπάρχουσα βιβλιογραφία, αναμενόταν ότι θα εμφανίζονταν χαμηλότερα ποσοστά φλεγμονώδους συναρμογής.

Συνολικά, με βάση τις βιοχημικές αναλύσεις, οι δείκτες δείχνουν ότι το πρωτόκολλο HIFT που χρησιμοποιήθηκε δεν προκαλεί σημαντική φλεγμονή και μυϊκή βλάβη, παρά την υψηλή ένταση της άσκησης και τη χρήση ορισμένων ασκήσεων άρσης βαρών και άλματος στο κουτί κ.λπ.

Συμπέρασμα

Η παρούσα μελέτη δείχνει ότι και οι δύο ομάδες έδειξαν σημαντική μείωση του σωματικού λίπους. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι μόνο η ομάδα OG. παρουσίασε αύξηση της μυϊκής μάζας. Όσον αφορά τις καρδιαγγειακές παραμέτρους, και οι δύο ομάδες βελτίωσαν τους δείκτες, συμπεριλαμβανομένων της VO₂max, της ταχύτητας στο σημείο αναπνευστικής αντιστάθμισης (RC) και της καρδιακής συχνότητας στο RC. Ως προς τη δύναμη και την αντοχή, η αντίσταση που χρησιμοποιήθηκε αύξησε τόσο τη μέγιστη ισχύ (% 1RM) όσο και την αντοχή (65% της 1RM), καθώς και τον αριθμό των επαναλήψεων των άνω κοιλιακών. Όσον αφορά τους βιοχημικούς δείκτες, καμία από τις δύο ομάδες δεν εμφάνισε αυξημένα επίπεδα φλεγμονής CRP και μυϊκής βλάβης (CK), τα οποία υπερέβαιναν τα φυσιολογικά όρια. Παρατηρήθηκε ότι το πρόγραμμα HIFT που χρησιμοποιήθηκε δεν προκάλεσε αύξηση της CRP και της CK πέραν των φυσιολογικών ορίων. Επιπλέον, τα ωμέγα λιπαρά οξέα δεν μείωσαν τα επίπεδα CRP και CK, καθώς διατηρήθηκαν εντός των φυσιολογικών ορίων. Τα

αποτελέσματα αυτά υποδηλώνουν ότι το πρόγραμμα HIFT προσφέρει σημαντικά σωματικά και καρδιαγγειακά οφέλη για την υγεία χωρίς να προκαλεί υπερβολική φλεγμονή ή μυϊκή βλάβη.

Γενική συζήτηση

Η παρούσα διατριβή αφορά τα προγράμματα υψηλής έντασης (High-Intensity Functional Training - HIFT) σε συνδυασμό με την λήψη των λιπαρών οξέων καθώς των αντιοξειδωτικών βιταμινών και την επίδραση τους σε παραμέτρους φυσικής κατάστασης και υγείας.

Διερευνά την επίδραση της παροχής συμπληρωμάτων λιπαρών οξέων με αντιοξειδωτικές βιταμίνες σε ένα πρόγραμμα HIFT στις τιμές φλεγμονής και μυϊκής βλάβης. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι αυτό το συμπλήρωμα δεν μειώνει τους δείκτες φλεγμονής και μυϊκής βλάβης. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η απουσία σημαντικών αυξήσεων στις τιμές της CRP και της κρεατινικής κινάσης (CK) ευθυγραμμίζεται με την ιδέα ότι το πρόγραμμα HIFT μπορεί να θεωρηθεί εργαλείο βελτίωσης της απόδοσης για αθλητές και προπονητές.

Επίσης υπογραμμίζει τα ευρέως πλεονεκτήματα της λειτουργικής άσκησης υψηλής έντασης, τονίζοντας την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητά της στη βελτίωση των παραμέτρων φυσικής κατάστασης. Αυτά τα ευρήματα παρέχουν πολύτιμες γνώσεις για αθλητές, προπονητές και λάτρεις της φυσικής κατάστασης, ενισχύοντας τις δυνατότητες του HIFT ως μια πολύτιμη προσέγγιση άσκησης. Περαιτέρω έρευνα χρειάζεται ώστε να διερευνηθούν οι επιδράσεις της HIFT και των εφαρμογών του στη βελτίωση της ανθρώπινης απόδοσης και υγείας.

Αρχικά, στο πρώτο μέρος πραγματοποιήθηκε ανασκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας που αφορούσε την εξέλιξη και την προέλευση των προγραμμάτων υψηλής έντασης, εστιάζοντας στους ορισμούς και τις αρχικές σταδιοδρομίες τους, καθώς και στα πλεονεκτήματά τους σε σύγκριση με άλλες μορφές άσκησης. Εξετάστηκαν διεξοδικά η συχνότητα, η ένταση, η διάρκεια και η αντοχή, που αποτελούν θεμέλια της άσκησης.

Στη συνέχεια, εξετάστηκαν διαφορετικά πρωτόκολλα υψηλής έντασης και η ενσωμάτωσή τους σε διάφορες πληθυσμιακές ομάδες. Η υψηλή ένταση και το αναερόβιο στοιχείο αναλύθηκαν λεπτομερώς, αποκαλύπτοντας τη λειτουργία τους και την επίδρασή τους στους δείκτες υγείας. Ειδική έμφαση δόθηκε στη σημασία των λιπαρών οξέων και των αντιοξειδωτικών βιταμινών, οι οποίες αναδεικνύονταν ως στοιχεία που συνέβαλλαν στην ενίσχυση της

αθλητικής απόδοσης. Παράλληλα, μέσω των αιματολογικών δεικτών εξετάστηκαν οι δείκτες φλεγμονής και μυϊκής βλάβης, με στόχο τη βελτιωμένη σχεδίαση των προγραμμάτων άσκησης και την πρόληψη τραυματισμών, προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η φυσική κατάσταση.

Τέλος, εξετάστηκε ο συνδυασμός των λιπαρών οξέων και των αντιοξειδωτικών βιταμινών στην άσκηση υψηλής έντασης HIFT, με εμβάθυνση στην κρίσιμη συμβολή τους στην ανάπτυξη και ενίσχυση της διεθνούς βιβλιογραφίας στον συγκεκριμένο τομέα

Ένα κύριο εύρημα της παρούσας διατριβής ήταν ότι το πρόγραμμα HIFT διάρκειας 8 εβδομάδων είχε θετική επίδραση στην καρδιοαναπνευστική ικανότητα, τη μυϊκή αντοχή, και τη μέγιστη δύναμη του άνω μέρους του σώματος, χωρίς να προκαλεί μυϊκή βλάβη ή φλεγμονή. Τα ευρήματα υποδεικνύουν ότι η HIFT είναι μια ασφαλής και αποτελεσματική προσέγγιση για άτομα που ασχολούνται με φυσική δραστηριότητα, με στόχο τη βελτίωση διαφόρων πτυχών της φυσικής τους κατάστασης. Εντυπωσιακό είναι το γεγονός ότι αυτή η εντατική άσκηση επιτυγχάνεται μόνο με συνεδρίες διάρκειας 30 λεπτών, τρεις φορές την εβδομάδα. Ενώ τα προγράμματα προπόνησης αντοχής και τα προγράμματα HIIT με ποδηλασία, τρέξιμο, ή κωπηλασία έχουν αναγνωριστεί για την επίδρασή τους στη βελτίωση της καρδιοαναπνευστικής ικανότητας, η παρούσα μελέτη προσθέτει την επίδραση της HIFT στην $\dot{V}O_{2max}$. Παρατηρήθηκε ότι η HIFT μπορεί να επιφέρει υψηλό φορτίο στο καρδιοαναπνευστικό σύστημα, με τη μέγιστη καρδιακή συχνότητα να φτάνει το 95% του μέγιστου και τη μέση καρδιακή συχνότητα να υπερβαίνει το 90% του μέγιστου για το 50-65% της διάρκειας των προπονητικών συνεδριών.

Το πρωτόκολλο HIFT αποδείχθηκε επίσης αποτελεσματικό στη μείωση του σωματικού λίπους μετά από 8 εβδομάδες, ενισχύοντας τη σύσταση του σώματος. Τα ευρήματα υποδηλώνουν την αύξηση της οξείδωσης του λίπους μετά τη συνεδρία HIFT, ενώ άλλες μελέτες υποστηρίζουν την αύξηση της έκκρισης αυξητικών ορμονών που ενισχύουν το μεταβολισμό και την οξείδωση του λίπους.

Η HIFT φαίνεται να προκαλεί σημαντική αύξηση της μυϊκής δύναμης και αντοχής στο άνω και κάτω μέρος του σώματος, ενισχύοντας την οξειδωτική ικανότητα των μυών και τη λειτουργία των μιτοχονδρίων. Παρά την αύξηση της δύναμης και της απόδοσης, δεν παρατηρήθηκε αντίστοιχη αύξηση στη μυϊκή μάζα. Οι ερευνητές υποστηρίζουν ότι αυτό οφείλεται σε πολλούς παράγοντες, όπως η ταυτόχρονη επίδραση της προπόνησης στη μυϊκή υπερτροφία και την αύξηση της σηματοδότησης του μονοπατιού AMPK. (Adenosine Monophosphate-Activated Protein Kinase). Επιπλέον, υποστηρίζεται ότι η έλλειψη αύξησης

της μέγιστης ισοκινητικής ροπής σε ορισμένους μύες μπορεί να οφείλεται στη μη επαρκή εμπλοκή των συγκεκριμένων μυών στις ασκήσεις που περιλαμβάνονται στο πρόγραμμα HIFT. Η μελέτη εστιάζει επίσης στις βιοχημικές δείκτες που προκαλούνται από την προπόνηση υψηλής έντασης, όπως η αύξηση της κρεατινικής κινάσης και της C-αντιδρώσα πρωτεΐνη, τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στους συγκεκριμένους δείκτες δεν υπερβαίνουν σημαντικά το ανώτερο όριο των φυσιολογικών τιμών.

Η δεύτερη μελέτη της διατριβής διερευνά την επίδραση της προσθήκης δύο ασκήσεων αντίστασης με υψηλό φορτίο σε ένα τυπικό πρόγραμμα HIFT, με στόχο την ανάδειξη πιθανών βελτιώσεων στη μυϊκή μάζα και δύναμη σε σωματικά δραστήριους ενήλικες. Η ανάλυση έδειξε ότι μόνο το τροποποιημένο πρόγραμμα HIFT (HIFT-P) οδήγησε σε αύξηση της μυϊκής μάζας και της μέγιστης δύναμης του άνω μέρους του σώματος. Αυτό επιβεβαιώνει ότι η προσθήκη ασκήσεων αντίστασης με υψηλό φορτίο μπορεί να ενισχύσει την απόδοση των προγραμμάτων HIFT όσον αφορά τη μυϊκή ανάπτυξη.

Έτσι, η τροποποίηση των προγραμμάτων HIFT με την προσθήκη ασκήσεων υψηλού φορτίου μπορεί να αποτελέσει αποδοτική στρατηγική για όσους επιδιώκουν τη μυϊκή ανάπτυξη και την αύξηση της μέγιστης δύναμης του σώματος. Επιπλέον, οι πρόσφατες έρευνες έχουν υποδείξει ότι τα προγράμματα HIFT μπορούν να επιφέρουν ουσιαστικές βελτιώσεις στην αερόβια και αναερόβια αντοχή και να συμβάλουν στη μείωση του σωματικού λίπους. Επομένως, τα προγράμματα HIFT μπορούν να αποτελέσουν αποτελεσματική προσέγγιση για την απώλεια βάρους και λίπους, ειδικά για τα άτομα που αντιμετωπίζουν προβλήματα υπερβαρικού και παχύσαρκου πληθυσμού. Επιπλέον, η εξέταση των διαφορετικών προγραμμάτων προπόνησης και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων τους μέσω συγκεκριμένων μετρήσεων, όπως η πίεση πάγκου 1 RM και οι επιδόσεις σε δοκιμασίες αλτικής ικανότητας, παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για την αποτελεσματικότητα του προγράμματος προπόνησης. Ειδικότερα, η παρατήρηση ότι η προσθήκη ασκήσεων υψηλού φορτίου στο πρόγραμμα επιφέρει σημαντικές βελτιώσεις στη δύναμη του άνω μέρους του σώματος είναι ιδιαίτερα σημαντική. Η αναφορά στη συμπερίληψη πολυαρθρικών ασκήσεων στα προγράμματα προπόνησης ως βελτιωτικό παράγοντα του 1 RM είναι σημαντική για την κατανόηση του πώς οι διαφορετικές ασκήσεις μπορούν να επηρεάσουν τη μυϊκή δύναμη.

Έτσι η αναφορά στη συντομία των προγραμμάτων προπόνησης και στην εφαρμογή τους στην καθημερινή ζωή λόγω της έλλειψης χρόνου είναι επίσης ενδιαφέρουσα. Αυτό υποδεικνύει την ανάγκη για αποδοτικά και αποτελεσματικά προγράμματα προπόνησης που μπορούν να ενσωματωθούν στην καθημερινή ρουτίνα με αποτελεσματικό τρόπο. Παρόλα αυτά,

πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι υπάρχουν και ορισμένες αδυναμίες, όπως η χρήση μεθόδων αξιολόγησης του σώματος που μπορεί να μην παρέχουν την πλήρη εικόνα της σύστασης του σώματος. Ωστόσο, η ακριβής εφαρμογή του ερευνητικού σχεδιασμού και των τεχνικών αξιολόγησης συμβάλλει στην αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της μελέτης.

Τα ευρήματα της παρούσας μελέτης υποδηλώνουν ότι η προσθήκη ασκήσεων υψηλού φορτίου στα προγράμματα HIFT μπορεί να ενισχύσει τη μυϊκή υπερτροφία, ενισχύοντας ταυτόχρονα την αντοχή και τη δύναμη των μυών. Αυτό υποδηλώνει ότι η συνταγογράφηση των προγραμμάτων HIFT πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις ειδικές ανάγκες των ατόμων και να περιλαμβάνει ασκήσεις υψηλού φορτίου για την επίτευξη επιθυμητών αποτελεσμάτων.

Γενικά, αυτή η μελέτη παρέχει σημαντικές ενδείξεις για τη σημασία της δύναμης και της άσκησης στην προώθηση της υγείας και της ποιότητας ζωής. Ωστόσο, περαιτέρω έρευνα είναι αναγκαία για να επιβεβαιωθούν αυτά τα αποτελέσματα και να εξαχθούν πιο αξιόπιστα συμπεράσματα.

Η τρίτη μελέτη της διατριβής εξέτασε την επίδραση του συνδυασμού ωμέγα-3 και ωμέγα-6 πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (PUFA) με αντιοξειδωτικές βιταμίνες σε ένα πρόγραμμα λειτουργικής προπόνησης υψηλής έντασης (HIFT). Τα αποτελέσματα της μελέτης υποδεικνύουν ότι ο συνδυασμός αυτός επηρεάζει θετικά την απόδοση, καθώς υποστηρίζεται από βιοχημικούς δείκτες. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε σημαντική μείωση της μάζας σωματικού λίπους και τις δύο ομάδες μετά από 8 εβδομάδες του προγράμματος HIFT. Ωστόσο, η ομάδα ωμέγα (OG) εμφάνισε σημαντική αύξηση της μυϊκής μάζας, ενώ η ομάδα εικονικού φαρμάκου (PG) παρουσίασε μείωση. Αυτό δείχνει τον σημαντικό ρόλο του συγκεκριμένου συμπληρώματος στη μυϊκή ανάπτυξη.

Όσον αφορά την καρδιοαναπνευστική ικανότητα, παρατηρήθηκε βελτίωση και στις δύο ομάδες, η οποία οφείλεται στη μορφή της άσκησης υψηλής έντασης και την κυκλική της φύση. Το χαρακτηριστικό της μικρής διάρκειας μπορεί να λειτουργήσει αποτρεπτικά για την εγκατάλειψη της άσκησης. Αυτό συμβαίνει διότι η έλλειψη χρόνου, την οποία επικαλούνται οι ασκούμενοι, θεωρείται ένας από τους κύριους παράγοντες που οδηγούν στην εγκατάλειψη της άσκησης.

Στις άλλες παραμέτρους της καρδιαγγειακής ικανότητας, παρατηρήθηκε βελτίωση στη μέγιστη ταχύτητα, στην ταχύτητα στην RC και οριακή βελτίωση στην HR στην RC. Αυτές οι αυξήσεις μπορούν να αποδοθούν στο γεγονός ότι η άσκηση υψηλής έντασης μπορεί να προκαλέσει προσαρμογές στο καρδιαγγειακό, καθώς και τα προγράμματα HIFT, επιφέρουν πε-

ριφερειακές βελτιώσεις στην ισχύ, οι οποίες με τη σειρά τους οδηγούν σε αυξημένες εντάσεις που αποδίδουν υψηλότερες ταχύτητες. Ένα ευρύ φάσμα βελτιώσεων της απόδοσης παρουσιάζεται από τα προγράμματα HIFT, στις παραμέτρους της δύναμης και της αντοχής. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης είναι ενθαρρυντικά λόγω της αυξημένης απόδοσης που παρατηρήθηκε. Το γεγονός ότι η προπόνηση αντίστασης είναι αποδεκτό ως μέσο ανάπτυξης και διατήρησης της μυϊκής δύναμης και της μυϊκής μάζας, επιβεβαιώνεται στην παρούσα μελέτη. Οι αντιστάσεις που χρησιμοποιήθηκαν αύξησαν τόσο τη μέγιστη ισχύ (% 1RM) και την αντοχή (65% της 1RM) όσο και τον αριθμό των επαναλήψεων των κοιλιακών του άνω μέρους του σώματος. Παρόλο που η επιβάρυνση διατηρήθηκε σε χαμηλότερα επίπεδα από ό,τι υπό μέγιστη ένταση, εντούτοις δεν υπήρξε έλλειψη αύξησης της δύναμης και της αντοχής του άνω μέρους του σώματος. Αυτές οι βελτιώσεις αποδίδονται στο γεγονός ότι ένα φορτίο 65% του 1RM μπορεί να προκαλέσει μυϊκή ανάπτυξη και κατά συνέπεια αύξηση της απόδοσης. Τα αποτελέσματα παραμένουν θετικά για το κάτω μέρος του σώματος, το οποίο στερείται βελτίωσης στη δύναμη των κάτω άκρων, αλλά παρουσιάζει συνολική βελτίωση στο CMJ. Ένας λόγος για τις βελτιώσεις στο άλμα αποδίδεται στην ένταξη πλειομετρικών ασκήσεων στο πρόγραμμα HIFT, οι οποίες βοήθησαν στη βελτίωση της νευρομυϊκής λειτουργίας και συνεπώς της απόδοσης στο άλμα. Μεταξύ των βιοχημικών δεικτών, η παρούσα μελέτη εξετάζει τη φλεγμονή CRP και τη μυϊκή βλάβη (CK) κατά τη διάρκεια του HIFT. Οι δείκτες της CK και της CRP έχουν καταδείξει ευρέως την επίδραση των προγραμμάτων HIFT. Συγκεκριμένα, παρατηρείται μείωση της CK και της CRP, υποδεικνύοντας μειωμένη μυϊκή βλάβη και φλεγμονή, αντίστοιχα, κατά τη διάρκεια και μετά από την άσκηση υψηλής έντασης. Αυτή η μείωση αποτελεί σημαντικό στοιχείο που υποστηρίζει την αποτελεσματικότητα των προγραμμάτων HIFT στην προστασία του μυοσκελετικού συστήματος και στην προαγωγή της γενικής υγείας. Συνολικά, η παρατηρούμενη αύξηση των λιπαρών οξέων και η μείωση των δεικτών CK και CRP αποδεικνύουν την αποτελεσματικότητα των προγραμμάτων HIFT όσον αφορά την υγεία των ασκούμενων και την απόδοσή τους. Αυτά τα ευρήματα διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην προώθηση της ευεξίας και της φυσικής κατάστασης μέσω της άσκησης υψηλής έντασης και της υποστήριξης της σωστής λειτουργίας του μυοσκελετικού και καρδιαγγειακού συστήματος. Τέλος, όλα αυτά τα ευρήματα υποστηρίζουν την HIFT ως μια υποσχόμενη μέθοδο για την ενίσχυση της φυσικής κατάστασης και τη βελτίωση της συνολικής ευεξίας χωρίς την υπέρβαση των δεικτών μυϊκής βλάβης και φλεγμονής.

Περιορισμοί της διατριβής

Οι σημαντικότεροι περιορισμοί της παρούσας διατριβής ήταν οι εξής:

- 1) Παράγοντες όπως η συμμόρφωση των συμμετεχόντων στο πρόγραμμα HIFT εκτός της μελέτης, οι πιθανές αλλαγές στη διατροφή και στον τρόπο ζωής ή άλλες ταυτόχρονες δραστηριότητες προπόνησης δεν ελέγχονταν πλήρως. Αυτοί οι παράγοντες θα μπορούσαν να εισάγουν συγχυτικές μεταβλητές που μπορεί να έχουν επηρεάσει τα παρατηρούμενα αποτελέσματα.
- 2) Περιορισμένο μέγεθος δείγματος: Οι μελέτες που διεξήχθησαν σε αυτή τη διατριβή μπορεί να περιλάμβαναν σχετικά μικρό αριθμό συμμετεχόντων, γεγονός που θα μπορούσε να περιορίσει τη γενίκευση των ευρημάτων σε μεγαλύτερους πληθυσμούς.
- 3) Ειδική ηλικιακή ομάδα: Η έρευνα επικεντρώνεται σε νεαρούς ενήλικες, γεγονός που περιορίζει την εφαρμογή των αποτελεσμάτων σε άλλες ηλικιακές ομάδες. Οι επιδράσεις του HIFT σε άτομα μεγαλύτερης ηλικίας ή διαφορετικούς πληθυσμούς μπορεί να διαφέρουν και θα πρέπει να διερευνηθούν σε μελλοντικές μελέτες.
- 4) Βραχυπρόθεσμες παρεμβάσεις: Η διάρκεια των παρεμβάσεων στις μελέτες μπορεί να ήταν σχετικά μικρή, γεγονός που περιορίζει την κατανόηση των μακροπρόθεσμων επιπτώσεων του HIFT. Οι επακόλουθες αξιολογήσεις για μια πιο εκτεταμένη περίοδο θα μπορούσαν να παρέχουν μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα των διαρκών οφελών και των πιθανών κινδύνων.

Αναγνωρίζοντας αυτούς τους περιορισμούς, η διατριβή καταδεικνύει την επίγνωση των πιθανών περιορισμών και των περιοχών για περαιτέρω έρευνα. Η αντιμετώπιση αυτών των περιορισμών θα συμβάλει σε μια πιο ολοκληρωμένη κατανόηση των επιπτώσεων του HIFT και θα ενίσχυε την εφαρμογή των ευρημάτων σε έναν ευρύτερο πληθυσμό.

Μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις

- 1) Μελέτη μακροπρόθεσμων επιπτώσεων: Επιπλέον έρευνα με μακροπρόθεσμες παρακολούθησεις μπορεί να αποκαλύψει τη μακροπρόθεσμη επίδραση του HIFT στην απόδοση, την υγεία και την ευημερία.

- 2) Σύγκριση των αποτελεσμάτων με άλλες μεθόδους άσκησης: Τα αποτελέσματα του HIFT με άλλες μεθόδους άσκησης, όπως η μέτρια ένταση άσκησης ή η αερόβια άσκηση, μπορούν να παρέχουν συγκριτική κατανόηση των οφελών και των προσαρμογών που επιτυγχάνονται με την εφαρμογή του HIFT.
- 3) Εφαρμογή του HIFT σε διάφορες πληθυσμιακές ομάδες: Περαιτέρω έρευνα μπορεί να εξετάσει την αποτελεσματικότητα και τις αντιδράσεις στο HIFT σε διάφορες πληθυσμιακές ομάδες, όπως ηλικιωμένοι, παιδιά, αθλητές, άτομα με αναπηρία κ.ά. Αυτό θα μπορούσε να διευρύνει την κατανόηση των εφαρμογών του HIFT σε διαφορετικούς πληθυσμούς και να αποκαλύψει πιθανά πλεονεκτήματα και προσαρμογές που απαιτούνται.
- 4) Περαιτέρω εξέταση της επίδραση διαφορετικών τύπων και δόσεων συμπληρωμάτων, καθώς και η αλληλεπίδρασή τους με άλλες διατροφικές παράγοντες. Αυτές οι μελλοντικές έρευνες θα συμβάλλουν στην περαιτέρω κατανόηση των πλεονεκτημάτων και των πιθανών περιορισμών της χρήσης συμπληρωμάτων στο πλαίσιο του HIFT και θα επιτρέψουν την ανάπτυξη βελτιστοποιημένων πρωτοκόλλων διατροφής και προπόνησης για την επίτευξη βέλτιστων αποτελεσμάτων.

Επίλογος

Συνοπτικά, η παρούσα διατριβή εξέτασε την επίδραση της λειτουργικής άσκησης υψηλής έντασης (HIFT) σε διάφορες πτυχές της σωματικής απόδοσης και της φλεγμονής σε νέους ανθρώπους. Τα ευρήματα των μελετών έδειξαν ότι η HIFT είναι μια αποτελεσματική μέθοδος προπόνησης για τη βελτίωση της καρδιοαναπνευστικής ικανότητας, της σύστασης του σώματος και της μυϊκής δύναμης χωρίς να προκαλεί φλεγμονή ή μυϊκή βλάβη.

Επιπλέον, η ενσωμάτωση ασκήσεων υψηλής φόρτισης αντίστασης στο πρόγραμμα HIFT οδηγεί σε περαιτέρω βελτίωση της σύστασης του σώματος και της δύναμης.

Η προσθήκη συμπληρωμάτων, όπως τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα και οι αντιοξειδωτικές βιταμίνες, δεν φαίνεται να επηρεάζει τη φλεγμονή που συνδέεται με την άσκηση ή τη μυϊκή βλάβη, αλλά βοηθά στην περαιτέρω αύξηση της μυϊκής μάζας. Σημαντικό να τονιστεί είναι ότι το συγκεκριμένο πρόγραμμα δεν αύξησε πάνω από τα ανώτατα όρια τους δείκτες φλεγμονής και μυϊκής βλάβης. Τα ευρήματα αυτά υποστηρίζουν την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα του συγκεκριμένου προγράμματος HIFT ως μεθόδου προπόνησης για νεαρούς ενήλικες. Η συνεχιζόμενη έρευνα στον τομέα αυτό μπορεί να παράσχει περαιτέρω στοιχεία

για τους μηχανισμούς πίσω από τις θετικές επιδράσεις του HIFT και να βοηθήσει στην ανάπτυξη βελτιστοποιημένων πρωτοκόλλων προπόνησης και διατροφής. Συνολικά, η παρούσα διατριβή συμβάλλει στις γνώσεις μας σχετικά με την αποτελεσματικότητα και τις δυνατότητες του HIFT και υπογραμμίζει τη σημασία της σωστής προπόνησης για την επίτευξη βέλτιστων σωματικών αποτελεσμάτων και την προαγωγή της υγείας και τη βελτίωση της απόδοσης.



Παραρτήματα





Έντυπα συγκατάθεσης συμμετεχόντων

ΕΝΤΥΠΑ ΣΥΓΚΑΤΑΘΕΣΗΣ για συμμετοχή σε πρόγραμμα έρευνας (Τα έντυπα αποτελούνται συνολικά από σελίδες)
Σύντομος Τίτλος του Προγράμματος στο οποίο καλείστε να συμμετάσχετε
Group Based High Intensity Functional Training (HIFT) – Effectiveness of HIFT on aerobic capacity, strength and lean body mass following an 8-week training period.

Δείτε συγκατάθεση για τον εαυτό σας ή για κάποιο άλλο άτομο;	
Εάν πιο πάνω απαντήσατε για κάποιον άλλο, τότε δώστε λεπτομέρειες και το όνομα του.	

Ερώτηση	ΝΑΙ ή ΟΧΙ
Συμπληρώσατε τα έντυπα συγκατάθεσης εσείς προσωπικά; Τους τελευταίους 12 μήνες έχετε συμμετάσχει σε οποιοδήποτε άλλο ερευνητικό πρόγραμμα;	
Διαβάσατε και καταλάβατε τις πληροφορίες για ασθενείς ή/και εθελοντές;	
Είχατε την ευκαιρία να ρωτήσετε ερωτήσεις και να συζητήσετε το Πρόγραμμα;	
Δόθηκαν ικανοποιητικές απαντήσεις και εξηγήσεις στα τυχόν ερωτήματά σας;	
Καταλαβαίνετε ότι μπορείτε να αποσυρθείτε από το πρόγραμμα, όποτε θέλετε; Καταλαβαίνετε ότι, εάν αποσυρθείτε, δεν είναι αναγκαίο να δώσετε οποιεσδήποτε εξηγήσεις για την απόφαση που πήρατε;	
(Για ασθενείς) καταλαβαίνετε ότι, εάν αποσυρθείτε, δεν θα υπάρξουν επιπτώσεις στην τυχόν θεραπεία που παίρνετε ή που μπορεί να πάρετε μελλοντικά;	
Συμφωνείτε να συμμετάσχετε στο πρόγραμμα;	
Με ποιόν υπεύθυνο μιλήσατε;	

Επίθετο:		Όνομα:	
Υπογραφή:		Ημερομηνία:	

ΕΘΝΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΒΙΟΗΘΙΚΗΣ ΚΥΠΡΟΥ

ΑΡ. Φακ: ΕΕΒΚ/ΕΠ/2016/56

Ερευνητική πρόταση με τίτλο: «Group Based High-Intensity Functional Training (HIFT)-HIFT: effects on physical fitness and body composition»

Βιβλιογραφία

1. Thompson Pd CE, Sady SP, Flynn MM, Bernier DN. Modest changes in high density lipoprotein concentration and metabolism with prolonged exercise training. *Circulation*. 1988;78:25-34.
2. Feingold RS. Health and Fitness in the Third Millenium. *Intemationa1 Jouma1 ofPhysica1 Education*. 1993;2:10-8.
3. Colberg S SR, Fernhall B, et al. . Exercise and Type 2 Diabetes. The American College of Sports Medicine and the American Diabetes Association: joint position statement. *Diabetes Care* 2010;33:147-67.
4. Atha J. Strengthening muscle. *Exerc Sport Sci Rev*. 1981;9:1-73.
5. Komi PV. *Strength and Power in Sport*, Oxford, UK. Blackwell Scientific Publications. 1991.
6. American College of Sports Medicine Position Stand. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*. 1998;30(6):975-91.
7. Pollock ML, Evans WJ. Resistance training for health and disease: introduction. *Med Sci Sports Exerc*. 1999;31(1):10-1.
8. Services UDoHaH. *Physical Activity and Health: A Report of the Surgeon General*. Atlanta, Ga: US Dept of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention,. National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion. 1996.
9. Pratley R, Nicklas B, Rubin M, Miller J, Smith A, Smith M, et al. Strength training increases resting metabolic rate and norepinephrine levels in healthy 50- to 65-yr-old men. *J Appl Physiol* (1985). 1994;76(1):133-7.
10. Fleck SJ. Cardiovascular adaptations to resistance training. *Med Sci Sports Exerc*. 1988;20(5 Suppl):S146-51.
11. Goldberg AP. Aerobic and resistive exercise modify risk factors for coronary heart disease. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, . 1989;21:669–74.
12. Hurley BF, Kokkinos PF. Effects of weight training on risk factors for coronary artery disease. *Sports Med*. 1987;4(4):231-8.
13. Koffler KH, Menkes A, Redmond RA, Whitehead WE, Pratley RE, Hurley BF. Strength training accelerates gastrointestinal transit in middle-aged and older men. *Med Sci Sports Exerc*. 1992;24(4):415-9.
14. Layne JE, Nelson ME. The effects of progressive resistance training on bone density: a review. *Med Sci Sports Exerc*. 1999;31(1):25-30.
15. Ewart CK. Psychological effects of resistive weight training: implications for cardiac patients. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, . 1989;21:683–8.
16. Pate RR, Pratt M, Blair SN, Haskell WL, Macera CA, Bouchard C, et al. Physical activity and public health. A recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine. *JAMA*. 1995;273(5):402-7.
17. Services USDoHaH. *Surgeon General’s report: Physical activity and health*. Washington, DC: US Department of Health and Human Services. 1996.
18. Blair SN, LaMonte MJ, Nichaman MZ. The evolution of physical activity recommendations: how much is enough? *Am J Clin Nutr*. 2004;79(5):913S-20S.
19. Trumbo P, Schlicker S, Yates AA, Poos M, Food, Nutrition Board of the Institute of Medicine TNA. Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein and amino acids. *J Am Diet Assoc*. 2002;102(11):1621-30.

20. Bond Brill J, Perry AC, Parker L, Robinson A, Burnett K. Dose-response effect of walking exercise on weight loss. How much is enough? *Int J Obes Relat Metab Disord.* 2002;26(11):1484-93.
21. Church TS, Earnest CP, Skinner JS, Blair SN. Effects of different doses of physical activity on cardiorespiratory fitness among sedentary, overweight or obese postmenopausal women with elevated blood pressure: a randomized controlled trial. *JAMA.* 2007;297(19):2081-91.
22. Kraemer WJ, Ratamess NA. Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(4):674-88.
23. Campos GE, Luecke TJ, Wendeln HK, Toma K, Hagerman FC, Murray TF, et al. Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *Eur J Appl Physiol.* 2002;88(1-2):50-60.
24. Schroeder ET, Villanueva M, West DD, Phillips SM. Are acute post-resistance exercise increases in testosterone, growth hormone, and IGF-1 necessary to stimulate skeletal muscle anabolism and hypertrophy? *Med Sci Sports Exerc.* 2013;45(11):2044-51.
25. American College of Sports M. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(3):687-708.
26. Hakkinen K, Alen M, Komi PV. Changes in isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. *Acta Physiol Scand.* 1985;125(4):573-85.
27. Peterson MD, Rhea MR, Alvar BA. Maximizing strength development in athletes: a meta-analysis to determine the dose-response relationship. *J Strength Cond Res.* 2004;18(2):377-82.
28. Kraemer WJ, Ratamess NA, French DN. Resistance training for health and performance. *Curr Sports Med Rep.* 2002;1(3):165-71.
29. Hass CJ, Feigenbaum MS, Franklin BA. Prescription of resistance training for healthy populations. *Sports Med.* 2001;31(14):953-64.
30. Carroll TJ, Abernethy PJ, Logan PA, Barber M, McEniery MT. Resistance training frequency: strength and myosin heavy chain responses to two and three bouts per week. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1998;78(3):270-5.
31. Graves JE, Pollock ML, Leggett SH, Braith RW, Carpenter DM, Bishop LE. Effect of reduced training frequency on muscular strength. *Int J Sports Med.* 1988;9(5):316-9.
32. DL. WJaC. *Physiology of Sport and Exercise: 3rd Edition.* Champaign, IL: Human Kinetics 2005.
33. Saltin B, Rowell LB. Functional adaptations to physical activity and inactivity. *Fed Proc.* 1980;39(5):1506-13.
34. K. AP-OaR. *The Textbook of Work Physiology: Physiological Bases of Exercise (3rd ed.).* . New York: McGraw-Hill 1986.
35. Pollock MLV, K.R. *The Quantification of Endurance Training Programs.* Wilmore, JH, Ed, *Exercise and Sports Science Reviews,* Academic Press,. 1973:155-88.
36. Pate RR, Branch JD. Training for endurance sport. *Med Sci Sports Exerc.* 1992;24(9 Suppl):S340-3.
37. Stoggl TL, Bjorklund G. High Intensity Interval Training Leads to Greater Improvements in Acute Heart Rate Recovery and Anaerobic Power as High Volume Low Intensity Training. *Front Physiol.* 2017;8:562.
38. Saltin B. Physiological effects of physical conditioning. *Medicine & Science in Sports & Exercise,*. 1969;1:50-6.
39. Deschenes MR, Kraemer WJ. Performance and physiologic adaptations to resistance training. *Am J Phys Med Rehabil.* 2002;81(11 Suppl):S3-16.
40. Hedayatpour N, Falla D. Physiological and Neural Adaptations to Eccentric Exercise: Mechanisms and Considerations for Training. *Biomed Res Int.* 2015;2015:193741.

41. Steven J. Fleck WJK. *Designing Resistance Training Programs*. 2, editor: Human Kinetics; 1997. 275 p.
42. Komi PV, Kaneko M, Aura O. EMG activity of the leg extensor muscles with special reference to mechanical efficiency in concentric and eccentric exercise. *Int J Sports Med*. 1987;8 Suppl 1:22-9.
43. Glowacki SP, Martin SE, Maurer A, Baek W, Green JS, Crouse SF. Effects of resistance, endurance, and concurrent exercise on training outcomes in men. *Med Sci Sports Exerc*. 2004;36(12):2119-27.
44. Wilson GJ, Newton RU, Murphy AJ, Humphries BJ. The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Med Sci Sports Exerc*. 1993;25(11):1279-86.
45. Garhammer JG, R. Propulsion forces as a function of intensity for weightlifting and vertical jumping. *The journal of applied sport science research*. 1992;6:129-34.
46. Tricoli V, Lamas L, Carnevale R, Ugrinowitsch C. Short-term effects on lower-body functional power development: weightlifting vs. vertical jump training programs. *J Strength Cond Res*. 2005;19(2):433-7.
47. Folsom-Meek SL, Herauf J, Adams NA. Relationships among selected attributes and three measures of upper body strength and endurance in elementary school children. *Percept Mot Skills*. 1992;75(3 Pt 2):1115-23.
48. McGlynn GH. The relationship between maximum strength and endurance of individuals with different levels of strength. *Res Q*. 1969;40(3):529-35.
49. Marx JO, Ratamess NA, Nindl BC, Gotshalk LA, Volek JS, Dohi K, et al. Low-volume circuit versus high-volume periodized resistance training in women. *Med Sci Sports Exerc*. 2001;33(4):635-43.
50. Goto K, Nagasawa M, Yanagisawa O, Kizuka T, Ishii N, Takamatsu K. Muscular adaptations to combinations of high- and low-intensity resistance exercises. *J Strength Cond Res*. 2004;18(4):730-7.
51. Rhea MR, Alvar BA, Burkett LN, Ball SD. A meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Med Sci Sports Exerc*. 2003;35(3):456-64.
52. Billat LV. Interval training for performance: a scientific and empirical practice. Special recommendations for middle- and long-distance running. Part I: aerobic interval training. *Sports Med*. 2001;31(1):13-31.
53. Laursen PB. Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training? *Scand J Med Sci Sports*. 2010;20 Suppl 2:1-10.
54. Weston AR, Myburgh KH, Lindsay FH, Dennis SC, Noakes TD, Hawley JA. Skeletal muscle buffering capacity and endurance performance after high-intensity interval training by well-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1997;75(1):7-13.
55. Seiler KS, Kjerland GO. Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an "optimal" distribution? *Scand J Med Sci Sports*. 2006;16(1):49-56.
56. Laursen PB, Jenkins DG. The scientific basis for high-intensity interval training: optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports Med*. 2002;32(1):53-73.
57. Helgerud J, Hoydal K, Wang E, Karlsen T, Berg P, Bjerkaas M, et al. Aerobic high-intensity intervals improve VO₂max more than moderate training. *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39(4):665-71.
58. Stoggl TL, Sperlich B. The training intensity distribution among well-trained and elite endurance athletes. *Front Physiol*. 2015;6:295.
59. Edwards RH, Ekelund LG, Harris RC, Hesser CM, Hultman E, Melcher A, et al. Cardiorespiratory and metabolic costs of continuous and intermittent exercise in man. *J Physiol*. 1973;234(2):481-97.

60. Tardieu-Berger M, Thevenet D, Zouhal H, Prioux J. Effects of active recovery between series on performance during an intermittent exercise model in young endurance athletes. *Eur J Appl Physiol*. 2004;93(1-2):145-52.
61. Gorostiaga EM, Walter CB, Foster C, Hickson RC. Uniqueness of interval and continuous training at the same maintained exercise intensity. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1991;63(2):101-7.
62. Astrand I, Astrand PO, Christensen EH, Hedman R. Intermittent muscular work. *Acta Physiol Scand*. 1960;48:448-53.
63. Fox EL, Bartels RL, Billings CE, O'Brien R, Bason R, Mathews DK. Frequency and duration of interval training programs and changes in aerobic power. *J Appl Physiol*. 1975;38(3):481-4.
64. Billat V, Renoux JC, Pinoteau J, Petit B, Koralsztejn JP. Times to exhaustion at 100% of velocity at VO₂max and modelling of the time-limit/velocity relationship in elite long-distance runners. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1994;69(3):271-3.
65. Esfarjani F, Laursen PB. Manipulating high-intensity interval training: effects on VO₂max, the lactate threshold and 3000 m running performance in moderately trained males. *J Sci Med Sport*. 2007;10(1):27-35.
66. Billat LV. Interval training for performance: a scientific and empirical practice. Special recommendations for middle- and long-distance running. Part I: aerobic interval training. *Sports Med*. 2001;31(1):75-90.
67. Ross A, Leveritt M. Long-term metabolic and skeletal muscle adaptations to short-sprint training: implications for sprint training and tapering. *Sports Med*. 2001;31(15):1063-82.
68. Parolin ML, Chesley A, Matsos MP, Spriet LL, Jones NL, Heigenhauser GJ. Regulation of skeletal muscle glycogen phosphorylase and PDH during maximal intermittent exercise. *Am J Physiol*. 1999;277(5):E890-900.
69. Kubukeli ZN, Noakes TD, Dennis SC. Training techniques to improve endurance exercise performances. *Sports Med*. 2002;32(8):489-509.
70. Tabata I, Nishimura K, Kouzaki M, Hirai Y, Ogita F, Miyachi M, et al. Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO₂max. *Med Sci Sports Exerc*. 1996;28(10):1327-30.
71. Medbo JI, Tabata I. Relative importance of aerobic and anaerobic energy release during short-lasting exhausting bicycle exercise. *J Appl Physiol* (1985). 1989;67(5):1881-6.
72. Saltin B, and P.D. Gollnick Skeletal muscle adaptability: significance for metabolism and performance. Bethesda: American Physiological Society; 1983.
73. MacDougall JD, Hicks AL, MacDonald JR, McKelvie RS, Green HJ, Smith KM. Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. *J Appl Physiol* (1985). 1998;84(6):2138-42.
74. Grosser MS, S. Προπόνηση Φυσικής Κατάστασης. Θεσσαλονίκη: SALTO.; 2000.
75. Fox EL, Bartels RL, Klinzing J, Ragg K. Metabolic responses to interval training programs of high and low power output. *Med Sci Sports*. 1977;9(3):191-6.
76. Wisloff U, Stoylen A, Loennechen JP, Bruvold M, Rognum O, Haram PM, et al. Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients: a randomized study. *Circulation*. 2007;115(24):3086-94.
77. Walter R. Thompson PD, FACSM. WORLDWIDE SURVEY OF FITNESS TRENDS FOR 2020. *HEALTH & FITNESS JOURNAL*. 2019;23(6):10-8.
78. Boutcher SH. High-intensity intermittent exercise and fat loss. *J Obes*. 2011;2011:868305.
79. Kessler HS, Sisson SB, Short KR. The potential for high-intensity interval training to reduce cardiometabolic disease risk. *Sports Med*. 2012;42(6):489-509.
80. Slordahl SA, Madslie VO, Stoylen A, Kjos A, Helgerud J, Wisloff U. Atrioventricular plane displacement in untrained and trained females. *Med Sci Sports Exerc*. 2004;36(11):1871-5.

81. Burgomaster KA, Hughes SC, Heigenhauser GJ, Bradwell SN, Gibala MJ. Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. *J Appl Physiol* (1985). 2005;98(6):1985-90.
82. Burgomaster KA, Heigenhauser GJ, Gibala MJ. Effect of short-term sprint interval training on human skeletal muscle carbohydrate metabolism during exercise and time-trial performance. *J Appl Physiol* (1985). 2006;100(6):2041-7.
83. Burgomaster KA, Cermak NM, Phillips SM, Benton CR, Bonen A, Gibala MJ. Divergent response of metabolite transport proteins in human skeletal muscle after sprint interval training and detraining. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2007;292(5):R1970-6.
84. Burgomaster KA, Howarth KR, Phillips SM, Rakobowchuk M, Macdonald MJ, McGee SL, et al. Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *J Physiol*. 2008;586(1):151-60.
85. Babraj JA, Vollaard NB, Keast C, Guppy FM, Cottrell G, Timmons JA. Extremely short duration high intensity interval training substantially improves insulin action in young healthy males. *BMC Endocr Disord*. 2009;9:3.
86. Whyte LJ, Gill JM, Cathcart AJ. Effect of 2 weeks of sprint interval training on health-related outcomes in sedentary overweight/obese men. *Metabolism*. 2010;59(10):1421-8.
87. Richards JC, Johnson TK, Kuzma JN, Lonac MC, Schweder MM, Voyles WF, et al. Short-term sprint interval training increases insulin sensitivity in healthy adults but does not affect the thermogenic response to beta-adrenergic stimulation. *J Physiol*. 2010;588(Pt 15):2961-72.
88. Stavrinou PS, Bogdanis GC, Giannaki CD, Terzis G, Hadjicharalambous M. High-intensity Interval Training Frequency: Cardiometabolic Effects and Quality of Life. *Int J Sports Med*. 2018;39(3):210-7.
89. Trapp EG, Chisholm DJ, Freund J, Boutcher SH. The effects of high-intensity intermittent exercise training on fat loss and fasting insulin levels of young women. *Int J Obes (Lond)*. 2008;32(4):684-91.
90. Heydari M, Boutcher YN, Boutcher SH. High-intensity intermittent exercise and cardiovascular and autonomic function. *Clin Auton Res*. 2013;23(1):57-65.
91. Haddock CK, Poston WS, Heinrich KM, Jahnke SA, Jitnarin N. The Benefits of High-Intensity Functional Training Fitness Programs for Military Personnel. *Mil Med*. 2016;181(11):e1508-e14.
92. Poston WS, Haddock CK, Heinrich KM, Jahnke SA, Jitnarin N, Batchelor DB. Is High-Intensity Functional Training (HIFT)/CrossFit Safe for Military Fitness Training? *Mil Med*. 2016;181(7):627-37.
93. Heinrich KM, Spencer V, Fehl N, Poston WS. Mission essential fitness: comparison of functional circuit training to traditional Army physical training for active duty military. *Mil Med*. 2012;177(10):1125-30.
94. Roy TCS, B.A. McNulty, V. Butler, N.L. Physical Fitness. *MILITARY MEDICINE*. 2010;175(8):14-20.
95. Hodzovic E. High Intensity Functional Training 2016.
96. Heinrich KM, Patel PM, O'Neal JL, Heinrich BS. High-intensity compared to moderate-intensity training for exercise initiation, enjoyment, adherence, and intentions: an intervention study. *BMC Public Health*. 2014;14:789.
97. Alcaraz PE, Sanchez-Lorente J, Blazevich AJ. Physical performance and cardiovascular responses to an acute bout of heavy resistance circuit training versus traditional strength training. *J Strength Cond Res*. 2008;22(3):667-71.
98. Gibala MJ, Little JP, Macdonald MJ, Hawley JA. Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *J Physiol*. 2012;590(5):1077-84.
99. Cochran AJ, Percival ME, Tricarico S, Little JP, Cermak N, Gillen JB, et al. Intermittent and continuous high-intensity exercise training induce similar acute but different chronic muscle adaptations. *Exp Physiol*. 2014;99(5):782-91.

100. Gibala MJ, Little JP, van Essen M, Wilkin GP, Burgomaster KA, Safdar A, et al. Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *J Physiol*. 2006;575(Pt 3):901-11.
101. Butcher SJ, Neyedly TJ, Horvey KJ, Benko CR. Do physiological measures predict selected CrossFit((R)) benchmark performance? *Open Access J Sports Med*. 2015;6:241-7.
102. Kliszczewicz B, Quindry CJ, Blessing LD, Oliver DG, Esco RM, Taylor JK. Acute Exercise and Oxidative Stress: CrossFit() vs. Treadmill Bout. *J Hum Kinet*. 2015;47:81-90.
103. Kliszczewicz BB, Robert | Bechke, Emily | Williamson, Cassie. Metabolic biomarkers following a short and long bout of high-intensity functional training in recreationally trained men. *Journal of Human Sport and Exercise*. 2017;12:710-8.
104. Sylvester BDC, T.; Standage, M.; Sabiston, C.M.; Beauchamp, M.R. Predicting exercise motivation and exercise behavior: A moderated mediation model testing the interaction between perceived exercise variety and basic psychological needs satisfaction. *Psychology of Sport and Exercise*. 2018;36:50-6.
105. Ryan RM, Deci EL. Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *Am Psychol*. 2000;55(1):68-78.
106. Teixeira PJ, Carraca EV, Markland D, Silva MN, Ryan RM. Exercise, physical activity, and self-determination theory: a systematic review. *Int J Behav Nutr Phys Act*. 2012;9:78.
107. Nielsen GW, J.M.; Jensen, C.J.; Schmidt, J.F.; Gliemann, L.; Andersen, T.R. Health promotion: The impact of beliefs of health benefits, social relations and enjoyment on exercise continuation. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2014;24:66–75.
108. Dierdra Bycura YF, Courtney C. Prather. Motivational Factors in CrossFit® Training Participation. *Health behavior and policy review*. 2017;4:539–50.
109. Cadmus-Bertram L, Irwin M, Alfano C, Campbell K, Duggan C, Foster-Schubert K, et al. Predicting adherence of adults to a 12-month exercise intervention. *J Phys Act Health*. 2014;11(7):1304-12.
110. Köteles FK, M.; Kollsete, H. Psychological concomitants of crossfit training: does more exercise really make your everyday psychological functioning better? *Kinesiology*. 2016;48:39–48.
111. Sibley BAB, S.M. What keeps athletes in the gym? Goals, psychological needs, and motivation of CrossFit™ participants. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*. 2017;16(5):1-20.
112. Fisher J, Sales A, Carlson L, Steele J. A comparison of the motivational factors between CrossFit participants and other resistance exercise modalities: a pilot study. *J Sports Med Phys Fitness*. 2017;57(9):1227-34.
113. Dawson MC. *CrossFit: Fitness cult or reinventive institution?* SAGE Journals. 2015.
114. Whiteman-Sandland J, Hawkins J, Clayton D. The role of social capital and community belongingness for exercise adherence: An exploratory study of the CrossFit gym model. *J Health Psychol*. 2018;23(12):1545-56.
115. Heywood L. *The CrossFit Sensorium: Visuality, Affect and Immersive Sport*. Paragraph. 2015;38(1):20-36.
116. Lichtenstein MB, Jensen TT. Exercise addiction in CrossFit: Prevalence and psychometric properties of the Exercise Addiction Inventory. *Addict Behav Rep*. 2016;3:33-7.
117. Feito Y, Heinrich KM, Butcher SJ, Poston WSC. High-Intensity Functional Training (HIFT): Definition and Research Implications for Improved Fitness. *Sports (Basel)*. 2018;6(3).
118. Sillanpaa E, Laaksonen DE, Hakkinen A, Karavirta L, Jensen B, Kraemer WJ, et al. Body composition, fitness, and metabolic health during strength and endurance training and their combination in middle-aged and older women. *Eur J Appl Physiol*. 2009;106(2):285-96.
119. Westcott WL, Annesi JJ, Skaggs JM, Gibson JR, Reynolds RD, O'Dell JP. Comparison of two exercise protocols on fitness score improvement in poorly conditioned Air Force personnel. *Percept Mot Skills*. 2007;104(2):629-36.

120. Ramos-Campo DJ, Martinez-Guardado I, Olcina G, Marin-Pagan C, Martinez-Noguera FJ, Carlos-Vivas J, et al. Effect of high-intensity resistance circuit-based training in hypoxia on aerobic performance and repeat sprint ability. *Scand J Med Sci Sports*. 2018;28(10):2135-43.
121. Crawford DA, Drake NB, Carper MJ, DeBlauw J, Heinrich KM. Are Changes in Physical Work Capacity Induced by High-Intensity Functional Training Related to Changes in Associated Physiologic Measures? *Sports (Basel)*. 2018;6(2).
122. Mate-Munoz JL, Lougedo JH, Barba M, Garcia-Fernandez P, Garnacho-Castano MV, Dominguez R. Muscular fatigue in response to different modalities of CrossFit sessions. *PLoS One*. 2017;12(7):e0181855.
123. Hermassi S, Wollny R, Schwesig R, Shephard RJ, Chelly MS. Effects of In-Season Circuit Training on Physical Abilities in Male Handball Players. *J Strength Cond Res*. 2019;33(4):944-57.
124. Barfield JPC, Brian; Pugh, Chip; Tuck, Matt; Pendel, Dustin. Format of Basic Instruction Program Resistance Training Classes: Effect on Fitness Change in College StudentsPhysical EducatorPhysical Educator. *Physical Educator*. 2012;69:325-41.
125. Buckley S, Knapp K, Lackie A, Lewry C, Horvey K, Benko C, et al. Multimodal high-intensity interval training increases muscle function and metabolic performance in females. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2015;40(11):1157-62.
126. McRae G, Payne A, Zelt JG, Scribbans TD, Jung ME, Little JP, et al. Extremely low volume, whole-body aerobic-resistance training improves aerobic fitness and muscular endurance in females. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2012;37(6):1124-31.
127. Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, Franklin BA, Lamonte MJ, Lee IM, et al. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2011;43(7):1334-59.
128. Heinrich KM, Becker C, Carlisle T, Gilmore K, Hauser J, Frye J, et al. High-intensity functional training improves functional movement and body composition among cancer survivors: a pilot study. *Eur J Cancer Care (Engl)*. 2015;24(6):812-7.
129. Feito Y, Hoffstetter W, Serafini P, Mangine G. Changes in body composition, bone metabolism, strength, and skill-specific performance resulting from 16-weeks of HIFT. *PLoS One*. 2018;13(6):e0198324.
130. Nieuwoudt S, Fealy CE, Foucher JA, Scelsi AR, Malin SK, Pagadala M, et al. Functional high-intensity training improves pancreatic beta-cell function in adults with type 2 diabetes. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2017;313(3):E314-E20.
131. Young WB. Transfer of strength and power training to sports performance. *Int J Sports Physiol Perform*. 2006;1(2):74-83.
132. Eddens L, van Someren K, Howatson G. The Role of Intra-Session Exercise Sequence in the Interference Effect: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports Med*. 2018;48(1):177-88.
133. Jones TW, Howatson G, Russell M, French DN. Effects of strength and endurance exercise order on endocrine responses to concurrent training. *Eur J Sport Sci*. 2017;17(3):326-34.
134. Arilson F. M. de Sousa GBdS, Tiago dos Reis, Alexis J. R. Valerino, Sebastián Del Rosso, Daniel A. Boullosa. Differences in Physical Fitness between Recreational CrossFit® and Resistance Trained Individuals. *Journal of Exercise Physiology*. 2016;19.
135. De Sousa A.F. dSGB, dos Reis T., Valerino A.J., Del Rosso S., Boullosa D.A. Differences in physical fitness between recreational CrossFit® and resistance trained individuals. 2016;19:112–22.
136. Schoenfeld BJ, Peterson MD, Ogborn D, Contreras B, Sonmez GT. Effects of Low- vs. High-Load Resistance Training on Muscle Strength and Hypertrophy in Well-Trained Men. *J Strength Cond Res*. 2015;29(10):2954-63.
137. Tibana RA, de Almeida LM, Frade de Sousa NM, Nascimento Dda C, Neto IV, de Almeida JA, et al. Two Consecutive Days of Crossfit Training Affects Pro and Anti-inflammatory Cytokines and Osteoprotegerin without Impairments in Muscle Power. *Front Physiol*. 2016;7:260.

138. Bergeron MF, Nindl BC, Deuster PA, Baumgartner N, Kane SF, Kraemer WJ, et al. Consortium for Health and Military Performance and American College of Sports Medicine consensus paper on extreme conditioning programs in military personnel. *Curr Sports Med Rep*. 2011;10(6):383-9.
139. Aune KT, Powers JM. Injuries in an Extreme Conditioning Program. *Sports Health*. 2017;9(1):52-8.
140. Montalvo AM, Shaefer H, Rodriguez B, Li T, Epnere K, Myer GD. Retrospective Injury Epidemiology and Risk Factors for Injury in CrossFit. *J Sports Sci Med*. 2017;16(1):53-9.
141. Hootman JM, Macera CA, Ainsworth BE, Addy CL, Martin M, Blair SN. Epidemiology of musculoskeletal injuries among sedentary and physically active adults. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34(5):838-44.
142. Weisenthal BM, Beck CA, Maloney MD, DeHaven KE, Giordano BD. Injury Rate and Patterns Among CrossFit Athletes. *Orthop J Sports Med*. 2014;2(4):2325967114531177.
143. Gray SE, Finch CF. Epidemiology of hospital-treated injuries sustained by fitness participants. *Res Q Exerc Sport*. 2015;86(1):81-7.
144. Armstrong RB. Mechanisms of exercise-induced delayed onset muscular soreness: a brief review. *Med Sci Sports Exerc*. 1984;16(6):529-38.
145. Tidball JG. Mechanisms of muscle injury, repair, and regeneration. *Compr Physiol*. 2011;1(4):2029-62.
146. Tidball JG, Villalta SA. Regulatory interactions between muscle and the immune system during muscle regeneration. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2010;298(5):R1173-87.
147. Schoenfeld BJ. Does exercise-induced muscle damage play a role in skeletal muscle hypertrophy? *J Strength Cond Res*. 2012;26(5):1441-53.
148. McNeil PL, Khakee R. Disruptions of muscle fiber plasma membranes. Role in exercise-induced damage. *Am J Pathol*. 1992;140(5):1097-109.
149. Friden J, Lieber RL, Thornell LE. Subtle indications of muscle damage following eccentric contractions. *Acta Physiol Scand*. 1991;142(4):523-4.
150. Friden J, Seger J, Ekblom B. Sublethal muscle fibre injuries after high-tension anaerobic exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1988;57(3):360-8.
151. Friden J, Sfakianos PN, Hargens AR, Akeson WH. Residual muscular swelling after repetitive eccentric contractions. *J Orthop Res*. 1988;6(4):493-8.
152. Kasperek GJ, Conway GR, Kraveski DS, Lohne JJ. A reexamination of the effect of exercise on rate of muscle protein degradation. *Am J Physiol*. 1992;263(6):E1144-50.
153. Mayhew DL, Thyfault JP, Koch AJ. Rest-interval length affects leukocyte levels during heavy resistance exercise. *J Strength Cond Res*. 2005;19(1):16-22.
154. Machado M, Koch AJ, Willardson JM, Pereira LS, Cardoso MI, Motta MK, et al. Effect of varying rest intervals between sets of assistance exercises on creatine kinase and lactate dehydrogenase responses. *J Strength Cond Res*. 2011;25(5):1339-45.
155. Brentano MA, Martins Krueel LF. A review on strength exercise-induced muscle damage: applications, adaptation mechanisms and limitations. *J Sports Med Phys Fitness*. 2011;51(1):1-10.
156. Roth SM, Martel GF, Ivey FM, Lemmer JT, Tracy BL, Hurlbut DE, et al. Ultrastructural muscle damage in young vs. older men after high-volume, heavy-resistance strength training. *J Appl Physiol* (1985). 1999;86(6):1833-40.
157. Roth SM, Martel GF, Ivey FM, Lemmer JT, Metter EJ, Hurley BF, et al. High-volume, heavy-resistance strength training and muscle damage in young and older women. *J Appl Physiol* (1985). 2000;88(3):1112-8.
158. Vingren JL, Kraemer WJ, Ratamess NA, Anderson JM, Volek JS, Maresh CM. Testosterone physiology in resistance exercise and training: the up-stream regulatory elements. *Sports Med*. 2010;40(12):1037-53.
159. Notkins AL, Berry RJ, Moloney JB, Greenfield RE. Relationship of the lactic dehydrogenase factor to certain murine tumours. *Nature*. 1962;193:79-80.

160. R PMB. Serum enzymes. In: Burtis C, Bruns D, eds. St Louis, MO: Elsevier Saunders: Teitz Fundamentals of Clinical Chemistry and Molecular Diagnostics; 2014.
161. Pincus RMM. Henry's Clinical Diagnosis and Management by Laboratory Methods 2011.
162. Randall DC, Jones DL. Eliminating unnecessary lactate dehydrogenase testing. A utilization review study and national survey. *Arch Intern Med.* 1997;157(13):1441-4.
163. Palmer SR, Erickson LA, Ichetovkin I, Knauer DJ, Markovic SN. Circulating serologic and molecular biomarkers in malignant melanoma. *Mayo Clin Proc.* 2011;86(10):981-90.
164. Callegari GA, Novaes JS, Neto GR, Dias I, Garrido ND, Dani C. Creatine Kinase and Lactate Dehydrogenase Responses after Different Resistance and Aerobic Exercise Protocols. *J Hum Kinet.* 2017;58:65-72.
165. Brancaccio P, Lippi G, Maffulli N. Biochemical markers of muscular damage. *Clin Chem Lab Med.* 2010;48(6):757-67.
166. Verma S, Moiz JA, Shareef MY, Husain ME. Physical performance and markers of muscle damage following sport-specific sprints in male collegiate soccer players: repeated bout effect. *J Sports Med Phys Fitness.* 2016;56(6):765-74.
167. Delanghe JR, Chapelle JP, Vanderschueren SC. Quantitative nephelometric assay for determining myoglobin evaluated. *Clin Chem.* 1990;36(9):1675-8.
168. Stone MJ, Willerson JT. Myoglobinemia in myocardial infarction. *Int J Cardiol.* 1983;4(1):49-52.
169. Varki AP, Roby DS, Watts H, Zatzuchni J. Serum myoglobin in acute myocardial infarction: a clinical study and review of the literature. *Am Heart J.* 1978;96(5):680-8.
170. Baird MF, Graham SM, Baker JS, Bickerstaff GF. Creatine-kinase- and exercise-related muscle damage implications for muscle performance and recovery. *J Nutr Metab.* 2012;2012:960363.
171. Hyldahl RD, Hubal MJ. Lengthening our perspective: morphological, cellular, and molecular responses to eccentric exercise. *Muscle Nerve.* 2014;49(2):155-70.
172. Goldspink G. Gene expression in muscle in response to exercise. *J Muscle Res Cell Motil.* 2003;24(2-3):121-6.
173. Jouris KB, McDaniel JL, Weiss EP. The Effect of Omega-3 Fatty Acid Supplementation on the Inflammatory Response to eccentric strength exercise. *J Sports Sci Med.* 2011;10(3):432-8.
174. Howatson G, van Someren KA. The prevention and treatment of exercise-induced muscle damage. *Sports Med.* 2008;38(6):483-503.
175. Ridker PM. C-reactive protein and the prediction of cardiovascular events among those at intermediate risk: moving an inflammatory hypothesis toward consensus. *J Am Coll Cardiol.* 2007;49(21):2129-38.
176. Pearson TA, Mensah GA, Alexander RW, Anderson JL, Cannon RO, 3rd, Criqui M, et al. Markers of inflammation and cardiovascular disease: application to clinical and public health practice: A statement for healthcare professionals from the Centers for Disease Control and Prevention and the American Heart Association. *Circulation.* 2003;107(3):499-511.
177. Emerging Risk Factors C, Kaptoge S, Di Angelantonio E, Lowe G, Pepys MB, Thompson SG, et al. C-reactive protein concentration and risk of coronary heart disease, stroke, and mortality: an individual participant meta-analysis. *Lancet.* 2010;375(9709):132-40.
178. Ridker PM, Rifai N, Rose L, Buring JE, Cook NR. Comparison of C-reactive protein and low-density lipoprotein cholesterol levels in the prediction of first cardiovascular events. *N Engl J Med.* 2002;347(20):1557-65.
179. Gabay C, Kushner I. Acute-phase proteins and other systemic responses to inflammation. *N Engl J Med.* 1999;340(6):448-54.
180. Pepys MB, Hirschfield GM. C-reactive protein: a critical update. *J Clin Invest.* 2003;111(12):1805-12.
181. Dinarello CA. Overview of the IL-1 family in innate inflammation and acquired immunity. *Immunol Rev.* 2018;281(1):8-27.

182. Bradley JR. TNF-mediated inflammatory disease. *J Pathol.* 2008;214(2):149-60.
183. Feldmann M, Maini RN. Anti-TNF alpha therapy of rheumatoid arthritis: what have we learned? *Annu Rev Immunol.* 2001;19:163-96.
184. Petersen AM, Pedersen BK. The anti-inflammatory effect of exercise. *J Appl Physiol (1985).* 2005;98(4):1154-62.
185. Townsend JR, Hoffman JR, Fragala MS, Jajtner AR, Gonzalez AM, Wells AJ, et al. TNF-alpha and TNFR1 responses to recovery therapies following acute resistance exercise. *Front Physiol.* 2015;6:48.
186. Febbraio MA. Exercise metabolism in 2016: Health benefits of exercise - more than meets the eye! *Nat Rev Endocrinol.* 2017;13(2):72-4.
187. Arnold L, Henry A, Poron F, Baba-Amer Y, van Rooijen N, Plonquet A, et al. Inflammatory monocytes recruited after skeletal muscle injury switch into antiinflammatory macrophages to support myogenesis. *J Exp Med.* 2007;204(5):1057-69.
188. Rullman E, Norrbom J, Stromberg A, Wagsater D, Rundqvist H, Haas T, et al. Endurance exercise activates matrix metalloproteinases in human skeletal muscle. *J Appl Physiol (1985).* 2009;106(3):804-12.
189. Medzhitov R. Origin and physiological roles of inflammation. *Nature.* 2008;454(7203):428-35.
190. Tu H, Li YL. Inflammation balance in skeletal muscle damage and repair. *Front Immunol.* 2023;14:1133355.
191. Nathan C. Points of control in inflammation. *Nature.* 2002;420(6917):846-52.
192. Seifert O, Baerwald C. Interaction of pain and chronic inflammation. *Z Rheumatol.* 2021;80(3):205-13.
193. Nieman DC, Wentz LM. The compelling link between physical activity and the body's defense system. *J Sport Health Sci.* 2019;8(3):201-17.
194. Vargas-Mendoza N, Angeles-Valencia M, Morales-Gonzalez A, Madrigal-Santillan EO, Morales-Martinez M, Madrigal-Bujaidar E, et al. Oxidative Stress, Mitochondrial Function and Adaptation to Exercise: New Perspectives in Nutrition. *Life (Basel).* 2021;11(11).
195. Kreher JB, Schwartz JB. Overtraining syndrome: a practical guide. *Sports Health.* 2012;4(2):128-38.
196. Tuttle CSL, Thang LAN, Maier AB. Markers of inflammation and their association with muscle strength and mass: A systematic review and meta-analysis. *Ageing Res Rev.* 2020;64:101185.
197. Gleeson M, Pyne DB. Respiratory inflammation and infections in high-performance athletes. *Immunol Cell Biol.* 2016;94(2):124-31.
198. Gleeson M. Immune function in sport and exercise. *J Appl Physiol (1985).* 2007;103(2):693-9.
199. Ferrucci L, Penninx BW, Volpato S, Harris TB, Bandeen-Roche K, Balfour J, et al. Change in muscle strength explains accelerated decline of physical function in older women with high interleukin-6 serum levels. *J Am Geriatr Soc.* 2002;50(12):1947-54.
200. Schaap LA, Pluijm SM, Deeg DJ, Visser M. Inflammatory markers and loss of muscle mass (sarcopenia) and strength. *Am J Med.* 2006;119(6):526 e9-17.
201. Ostrowski K, Rohde T, Zacho M, Asp S, Pedersen BK. Evidence that interleukin-6 is produced in human skeletal muscle during prolonged running. *J Physiol.* 1998;508 (Pt 3)(Pt 3):949-53.
202. Nieman DC, Davis JM, Henson DA, Walberg-Rankin J, Shute M, Dumke CL, et al. Carbohydrate ingestion influences skeletal muscle cytokine mRNA and plasma cytokine levels after a 3-h run. *J Appl Physiol (1985).* 2003;94(5):1917-25.
203. Gleeson M, Bishop NC, Stensel DJ, Lindley MR, Mastana SS, Nimmo MA. The anti-inflammatory effects of exercise: mechanisms and implications for the prevention and treatment of disease. *Nat Rev Immunol.* 2011;11(9):607-15.

204. Rhibi F, Zouhal H, Lira FS, Ouerghi N, Prioux J, Besbes S, et al. Inflammatory cytokines and metabolic responses to high-intensity intermittent training: effect of the exercise intensity. *Biol Sport*. 2022;39(2):263-72.
205. Cerqueira E, Marinho DA, Neiva HP, Lourenco O. Inflammatory Effects of High and Moderate Intensity Exercise-A Systematic Review. *Front Physiol*. 2019;10:1550.
206. Liberman K, Njemini R, Forti LN, Cools W, Debacq-Chainiaux F, Kooijman R, et al. Three Months of Strength Training Changes the Gene Expression of Inflammation-Related Genes in PBMC of Older Women: A Randomized Controlled Trial. *Cells*. 2022;11(3).
207. Guo Z, Li M, Cai J, Gong W, Liu Y, Liu Z. Effect of High-Intensity Interval Training vs. Moderate-Intensity Continuous Training on Fat Loss and Cardiorespiratory Fitness in the Young and Middle-Aged a Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 2023;20(6).
208. Sheweita SA, Khoshhal KI. Calcium metabolism and oxidative stress in bone fractures: role of antioxidants. *Curr Drug Metab*. 2007;8(5):519-25.
209. Braakhuis AJ, Hopkins WG, Lowe TE. Effects of dietary antioxidants on training and performance in female runners. *Eur J Sport Sci*. 2014;14(2):160-8.
210. Fiedor J, Burda K. Potential role of carotenoids as antioxidants in human health and disease. *Nutrients*. 2014;6(2):466-88.
211. Powers SK, Jackson MJ. Exercise-induced oxidative stress: cellular mechanisms and impact on muscle force production. *Physiol Rev*. 2008;88(4):1243-76.
212. Avery NG, Kaiser JL, Sharman MJ, Scheett TP, Barnes DM, Gomez AL, et al. Effects of vitamin E supplementation on recovery from repeated bouts of resistance exercise. *J Strength Cond Res*. 2003;17(4):801-9.
213. Malm C, Svensson M, Ekblom B, Sjodin B. Effects of ubiquinone-10 supplementation and high intensity training on physical performance in humans. *Acta Physiol Scand*. 1997;161(3):379-84.
214. Sen CK, Khanna S, Roy S. Tocotrienols: Vitamin E beyond tocopherols. *Life Sci*. 2006;78(18):2088-98.
215. Simopoulos AP. The importance of the omega-6/omega-3 fatty acid ratio in cardiovascular disease and other chronic diseases. *Exp Biol Med (Maywood)*. 2008;233(6):674-88.
216. Aung T, Halsey J, Kromhout D, Gerstein HC, Marchioli R, Tavazzi L, et al. Associations of Omega-3 Fatty Acid Supplement Use With Cardiovascular Disease Risks: Meta-analysis of 10 Trials Involving 77 917 Individuals. *JAMA Cardiol*. 2018;3(3):225-34.
217. Mozaffarian D, Wu JH. Omega-3 fatty acids and cardiovascular disease: effects on risk factors, molecular pathways, and clinical events. *J Am Coll Cardiol*. 2011;58(20):2047-67.
218. Li Y, Hruby A, Bernstein AM, Ley SH, Wang DD, Chiuve SE, et al. Saturated Fats Compared With Unsaturated Fats and Sources of Carbohydrates in Relation to Risk of Coronary Heart Disease: A Prospective Cohort Study. *J Am Coll Cardiol*. 2015;66(14):1538-48.
219. Simopoulos AP. An Increase in the Omega-6/Omega-3 Fatty Acid Ratio Increases the Risk for Obesity. *Nutrients*. 2016;8(3):128.
220. DiNicolantonio JJ, O'Keefe J. The Importance of Maintaining a Low Omega-6/Omega-3 Ratio for Reducing the Risk of Autoimmune Diseases, Asthma, and Allergies. *Mo Med*. 2021;118(5):453-9.
221. Calder PC. Marine omega-3 fatty acids and inflammatory processes: Effects, mechanisms and clinical relevance. *Biochim Biophys Acta*. 2015;1851(4):469-84.
222. Berquin IM, Min Y, Wu R, Wu J, Perry D, Cline JM, et al. Modulation of prostate cancer genetic risk by omega-3 and omega-6 fatty acids. *J Clin Invest*. 2007;117(7):1866-75.
223. Mendoza-Nunez VM, Garcia-Martinez BI, Rosado-Perez J, Santiago-Osorio E, Pedraza-Chaverri J, Hernandez-Abad VJ. The Effect of 600 mg Alpha-lipoic Acid Supplementation on Oxidative Stress, Inflammation, and RAGE in Older Adults with Type 2 Diabetes Mellitus. *Oxid Med Cell Longev*. 2019;2019:3276958.

224. Djuricic I, Calder PC. Beneficial Outcomes of Omega-6 and Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids on Human Health: An Update for 2021. *Nutrients*. 2021;13(7).
225. Tartibian B, Maleki BH, Abbasi A. The effects of omega-3 supplementation on pulmonary function of young wrestlers during intensive training. *J Sci Med Sport*. 2010;13(2):281-6.
226. Gray P, Chappell A, Jenkinson AM, Thies F, Gray SR. Fish oil supplementation reduces markers of oxidative stress but not muscle soreness after eccentric exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2014;24(2):206-14.
227. WR. T. Worldwide survey of fitness trends 2019. *ACSM's Health Fit J* 22. 2018;22:10-7.
228. Posnakidis G, Aphasimis G, Giannaki CD, Mougios V, Aristotelous P, Samoutis G, et al. High-Intensity Functional Training Improves Cardiorespiratory Fitness and Neuromuscular Performance Without Inflammation or Muscle Damage. *J Strength Cond Res*. 2022;36(3):615-23.
229. Batrakoulis A, Loules G, Georgakouli K, Tsimeas P, Draganidis D, Chatzinikolaou A, et al. High-intensity interval neuromuscular training promotes exercise behavioral regulation, adherence and weight loss in inactive obese women. *Eur J Sport Sci*. 2020;20(6):783-92.
230. Kapsis DP, Tsoukos A, Psarraki MP, Douda HT, Smilios I, Bogdanis GC. Changes in Body Composition and Strength after 12 Weeks of High-Intensity Functional Training with Two Different Loads in Physically Active Men and Women: A Randomized Controlled Study. *Sports (Basel)*. 2022;10(1).
231. Cosgrove SJ, Crawford DA, Heinrich KM. Multiple Fitness Improvements Found after 6-Months of High Intensity Functional Training. *Sports (Basel)*. 2019;7(9).
232. Iversen VM, Norum M, Schoenfeld BJ, Fimland MS. No Time to Lift? Designing Time-Efficient Training Programs for Strength and Hypertrophy: A Narrative Review. *Sports Med*. 2021;51(10):2079-95.
233. Linda S. Pescatello RA, Deborah Riebe, Paul D. Thompson, American College of Sports Medicine, Lippincott Williams & Wilkins. *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, ; 2014.*
234. Batrakoulis A, Jamurtas AZ, Metsios GS, Perivoliotis K, Liguori G, Feito Y, et al. Comparative Efficacy of 5 Exercise Types on Cardiometabolic Health in Overweight and Obese Adults: A Systematic Review and Network Meta-Analysis of 81 Randomized Controlled Trials. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes*. 2022;15(6):e008243.
235. Paoli A, Gentil P, Moro T, Marcolin G, Bianco A. Resistance Training with Single vs. Multi-joint Exercises at Equal Total Load Volume: Effects on Body Composition, Cardiorespiratory Fitness, and Muscle Strength. *Front Physiol*. 2017;8:1105.
236. Ramos-Campo DJ, Andreu Caravaca L, Martinez-Rodriguez A, Rubio-Arias JA. Effects of Resistance Circuit-Based Training on Body Composition, Strength and Cardiorespiratory Fitness: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Biology (Basel)*. 2021;10(5).
237. Gomez-Cabrera MC, Salvador-Pascual A, Cabo H, Ferrando B, Vina J. Redox modulation of mitochondriogenesis in exercise. Does antioxidant supplementation blunt the benefits of exercise training? *Free Radic Biol Med*. 2015;86:37-46.
238. Merry TL, Ristow M. Do antioxidant supplements interfere with skeletal muscle adaptation to exercise training? *J Physiol*. 2016;594(18):5135-47.
239. Xiao K, Liu C, Qin Q, Zhang Y, Wang X, Zhang J, et al. EPA and DHA attenuate deoxynivalenol-induced intestinal porcine epithelial cell injury and protect barrier function integrity by inhibiting necroptosis signaling pathway. *FASEB J*. 2020;34(2):2483-96.
240. Schunck WH, Konkel A, Fischer R, Weylandt KH. Therapeutic potential of omega-3 fatty acid-derived epoxyeicosanoids in cardiovascular and inflammatory diseases. *Pharmacol Ther*. 2018;183:177-204.
241. Calder PC. Omega-3 polyunsaturated fatty acids and inflammatory processes: nutrition or pharmacology? *Br J Clin Pharmacol*. 2013;75(3):645-62.
242. Gielen S, Schuler G, Adams V. Cardiovascular effects of exercise training: molecular mechanisms. *Circulation*. 2010;122(12):1221-38.

243. Castell LM, Poortmans JR, Leclercq R, Brasseur M, Duchateau J, Newsholme EA. Some aspects of the acute phase response after a marathon race, and the effects of glutamine supplementation. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1997;75(1):47-53.