



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ



ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΤΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ**

Από:

Μαρία Ι. Μισαηλίδη

Επιβλέπων Καθηγητής:

Δρ. Ανδρέας Δ. Φλουρής

*Η διατριβή υποβάλλεται στα πλαίσια των υποχρεώσεων του διδακτορικού κύκλου
σπουδών για την απόκτηση του πτυχίου του Διδάκτορα*

προς

Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ιούνιος 2021

Μέλη Επταμελούς Εξεταστικής Επιτροπής

Όνομα Επώνυμο	Πανεπιστήμιο	Πληροφορίες
Φλουρής Ανδρέας	Τ.Ε.Φ.Α.Α., Θεσσαλίας	Επιβλέπων Καθηγητής
Παπαϊωάννου Αθανάσιος	Τ.Ε.Φ.Α.Α., Θεσσαλίας	Μέλος 3μελούς Συμβουλευτικής
Τζιαμούρτας Αθανάσιος	Τ.Ε.Φ.Α.Α., Θεσσαλίας	Μέλος 3μελούς Συμβουλευτικής
Καρατζαφέρη Χριστίνα	Τ.Ε.Φ.Α.Α., Θεσσαλίας	Μέλος 7μελούς Εξεταστικής
Μέτσιος Γιώργος	Τ.Δ.Δ., Θεσσαλίας.	Μέλος 7μελούς Εξεταστικής
Σακκάς Γιώργος	Τ.Ε.Φ.Α.Α., Θεσσαλίας	Μέλος 7μελούς Εξεταστικής
Φατούρος Ιωάννης	Τ.Ε.Φ.Α.Α., Θεσσαλίας	Μέλος 7μελούς Εξεταστικής

Δήλωση

Εγώ, Μαρία Ι. Μισαηλίδη, δηλώνω ότι η παρούσα διατριβή δεν έχει υποβληθεί προηγουμένως σε αυτό το Πανεπιστήμιο ή σε οποιοδήποτε άλλο Πανεπιστήμιο για την απόκτηση πτυχίου, διπλώματος ή άλλων παρόμοιων τίτλων αναγνώρισης.

Τίτλος	Η επίδραση των παραγόντων του περιβάλλοντος στην
Διπλωματικής	άσκηση
Σελίδες	215
Λέξεις	53466
Πίνακες	5
Γραφήματα	10

Όνομα Επώνυμο: Μαρία Ι. Μισαηλίδη

Υπογραφή από: Μαρία Ι. Μισαηλίδη

Ημερομηνία υποβολής:

Ημερομηνία :

Αποποίηση ευθυνών Λογοκλοπής

Δηλώνω ότι η διατριβή αυτή αποτελείται από τρεις μελέτες/εργασίες εκ των οποίων η μια έχει δημοσιευθεί (Κεφάλαιο 6) και οι άλλες δύο είναι προς δημοσίευση (Κεφάλαιο 4 και Κεφάλαιο 5) και τρεις μελέτες/εργασίες Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας εκ των οποίων η μία έχει δημοσιευθεί και οι άλλες δύο είναι προς δημοσίευση (Κεφάλαιο 2.). Τα δημοσιευμένα άρθρα παρατίθενται στο Παράρτημα Α και τα άρθρα που είναι προς δημοσίευση αναφέρονται στα αντίστοιχα κεφάλαια της διατριβής.

Δημοσιευμένα Άρθρα

Κεφάλαιο 2 Μαρία Μισαηλίδη & Ανδρέας Δ. Φλουρής. Φυσιολογία του Ανθρώπινου Θερμορυθμιστικού Συστήματος – Θερμική Ισορροπία. *Αναζητήσεις στη Φυσική Αγωγή & τον Αθλητισμό*, 2021 ISSN 1790-3041

Κεφάλαιο 6 Misailidi M., Mantzios K., Papakostadinou Ch., Ioannou L.G., Flouris A.D. Environmental and psychophysical heat stress in adolescent tennis athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2021.

v

Όνομα Επώνυμο: Μαρία Ι. Μισαηλίδη

Υπογραφή από: Μαρία Ι. Μισαηλίδη

Ημερομηνία υποβολής:

Ημερομηνία :

Προς δημοσίευση Άρθρα

Κεφάλαιο 4 Misailidi M., & Flouris A.D. Changes in whole body sweat rate during childhood and adolescence: impacts of age and aerobic fitness

Κεφάλαιο 2 Μαρία Μισαηλίδη & Ανδρέας Δ. Φλουρής. Προσαρμοστικές αποκρίσεις του οργανισμού κατά την έκθεση σε αυξημένους θερμικά στρεσογόνους παράγοντες

Κεφάλαιο 2 Μαρία Μισαηλίδη & Ανδρέας Δ. Φλουρής. Θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος. Θερμικοί - μη θερμικοί παράγοντες που την επηρεάζουν

Όνομα Επώνυμο: Μαρία Ι. Μισαηλίδη

Υπογραφή από: Μαρία Ι. Μισαηλίδη

Ημερομηνία υποβολής:

Ημερομηνία :

Αφιερωμένο

στα αγαπημένα μου πρόσωπα

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΙΝΑΚΕΣ.....	xiv
ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ.....	xv
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	xvi
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	xviii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΥΟ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	23
ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΘΕΡΜΟΥΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ – ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ.....	24
Εξέλιξη της έννοιας της θερμορύθμισης.....	25
Θερμορύθμιση του ανθρώπινου οργανισμού – θερμική ισορροπία.....	26
– <i>Ανταλλαγή θερμότητας ξηρού τύπου</i>	28
α. Ακτινοβολία.....	28
β. Αγωγή.....	29
γ. Μεταφορά.....	30
– <i>Ανταλλαγή θερμότητας υγρού τύπου</i>	31
α. Θερμική απώλεια με εξάτμιση μέσω του δέρματος.....	32
β. Θερμική απώλεια με εξάτμιση μέσω της αναπνοής.....	33
Μηχανισμοί συμπεριφοριστικής θερμορύθμισης.....	34

Μηχανισμοί αυτόνομης θερμορύθμισης.....	38
Παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική ισορροπία.....	40
- Σωματικά Χαρακτηριστικά / Σύνθεση Σώματος.....	40
- Φύλο.....	42
- Ηλικία	43
- Ύπνος.....	44
- Επίπεδα ορισμένων ορμονών στο αίμα.....	45
- Λήψη τροφής.....	46
- Μυϊκή δραστηριότητα.....	48
- Περιβαλλοντική θερμοκρασία.....	49
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ. ΘΕΡΜΙΚΟΙ - ΜΗ ΘΕΡΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΤΗΝ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ.....	49
Θερμοκρασία σώματος.....	50
- Θερμοκρασία πυρήνα.....	51
- Θερμοκρασία κελύφους.....	52
Μέθοδοι εκτίμησης του θερμικού περιεχομένου στο ανθρώπινο σώμα.....	53
- Εκτίμηση του ρυθμού παραγωγής μεταβολικής θερμότητας	54
α. Έμμεση θερμοδομετρία.....	54
β. Εκτίμηση μεταβολικού ρυθμού μέσω καρδιακού ρυθμού.....	55
γ. Εκτίμηση του μεταβολικού ρυθμού μέσω της κλίμακας υποκειμενικής αίσθησης της κόπωσης	56

δ. Εκτίμηση του μεταβολικού ρυθμού μέσω εμπειρικών πινάκων.....	56
– Εκτίμηση του ρυθμού αποβολής της θερμότητας προς το περιβάλλον	56
α. Άμεση θερμοδομετρία.....	57
β. Θερμοδομετρία ροής.....	58
γ. Θερμοδομετρία «gradient layer».....	58
Ρύθμιση της θερμοκρασίας σώματος: θερμικοί – μη θερμικοί παράγοντες.....	59
– Θερμικά επηρεαζόμενοι παράγοντες.....	61
α. Δερματικοί θερμοϋποδοχείς.....	62
β. Θερμοϋποδοχείς στο εσωτερικό του σώματος.....	63
γ. Θερμοϋποδοχείς στο κεντρικό νευρικό σύστημα.....	63
– Μη θερμικά επηρεαζόμενοι παράγοντες.....	64
α. Αισθητήριοι υποδοχείς.....	64
β. Προσωπικοί ενδογενείς παράγοντες.....	66
ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΕΣ ΑΠΟΚΡΙΣΕΙΣ ΤΟΥ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΚΘΕΣΗ ΣΕ ΑΥΞΗΜΕΝΟΥΣ ΘΕΡΜΙΚΑ ΣΤΡΕΣΟΓΟΝΟΥΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ.....	67
Στρεσογόνοι παράγοντες αυξημένου θερμικά φορτίου.....	69
- Παθητική έκθεση σε θερμό περιβάλλον.....	69
- Άσκηση.....	70
α. Έναρξη της άσκησης.....	70
β. Εξέλιξη της άσκησης.....	71

γ. Ανάκαμψη μετά το τέλος της άσκησης.....	74
Προσαρμοστικές αποκρίσεις κατά την έκθεση σε αυξημένους θερμικά στρεσογόνους παράγοντες	77
Μηχανισμοί απώλειας θερμότητας.....	82
- Άδηλη αναπνοή.....	82
- Έκκριση – Εξάτμιση ιδρώτα.....	83
- Δερματική αγγειοδιαστολή.....	86
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ.....	88
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΣΣΕΡΑ ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΟ ΡΥΘΜΟ ΕΦΙΔΡΩΣΗΣ ΟΛΟΥ ΤΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΑΙΔΙΚΗ ΗΛΙΚΙΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΦΗΒΕΙΑ: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΚΙΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	91
Εισαγωγή.....	91
Μεθοδολογία.....	93
- Συμμετέχοντες και έγκριση Ηθικής.....	93
- Πειραματικό Πρωτόκολλο.....	93
- Μετρήσεις.....	94
- Στατιστικές Αναλύσεις.....	95
Αποτελέσματα.....	96
Συζήτηση.....	97
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΝΤΕ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΩΜΑΤΙΚΟΥ ΛΙΠΟΥΣ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΣΩΜΑΤΟΣ ΣΤΙΣ ΘΕΡΜΟΥΘΜΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΛΗΠΤΙΚΕΣ ΑΝΤΑΠΟΚΡΙΣΕΙΣ ΕΦΗΒΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΚΘΕΣΗ ΣΕ ΘΕΡΜΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ.....	104

Εισαγωγή.....	104
Μεθοδολογία.....	108
- Συμμετέχοντες και έγκριση Ηθικής.....	108
- Πειραματικό Πρωτόκολλο.....	109
- Μετρήσεις.....	111
- Στατιστικές Αναλύσεις.....	114
Αποτελέσματα.....	115
Συζήτηση.....	117
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΞΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΚΑΙ ΨΥΧΟΣΩΜΑΤΙΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΕΦΗΒΩΝ ΑΘΛΗΤΩΝ ΤΟΥ ΤΕΝΙΣ.....	129
Εισαγωγή.....	130
Μεθοδολογία.....	131
- Στοιχεία Αγώνων και Μετεωρολογικά στοιχεία	131
- Συμμετέχοντες και έγκριση Ηθικής.....	132
- Πειραματικό Πρωτόκολλο.....	133
-	
Μετρήσεις.....	134
- Στατιστικές Αναλύσεις.....	135
Αποτελέσματα.....	136
Συζήτηση.....	137

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΠΤΑ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	146
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΧΤΩ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	153
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	155
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	186
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....	211

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 2.1. Ποσοστιαία συνεισφορά των τρόπων ανταλλαγής θερμότητας μεταξύ του σώματος και του περιβάλλοντος σε ηρεμία και κατά την άσκηση σε θερμό περιβάλλον.....	28
Πίνακας 2.2. Παραγωγής θερμότητας κατά την ηρεμία και την άσκηση σε διάφορους ιστούς και όργανα του σώματος.....	40
Πίνακας 4.1. Ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά , διάρκεια άσκησης και ρυθμός εφίδρωσης όλου του σώματος.....	101
Πίνακας 5.1. Ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά.....	124
Πίνακας 6.1. Αποτελέσματα των φυσιολογικών και αντιληπτικών δεικτών και της απόδοσης των εφήβων αθλητών του τένις κατά τη διάρκεια των δοκιμασιών σε διάφορες χρονικές στιγμές.....	142

ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ

- Γράφημα 2.1.** Μοντέλο της συμπεριφοριστικής θερμορύθμισης κατά τη διάρκεια της άσκησης σε θερμό περιβάλλον.....38
- Γράφημα 4.1.** Ρυθμός εφίδρωσης όλου του σώματος σε παιδιά και εφήβους ηλικίας 9-17 ετών ως συνάρτηση του χρόνου άσκησης στο παλίνδρομο τεστ 20μ.....102
- Γράφημα 4.2.** Διαφορές διάφορων παραμέτρων σε σχέση με την ηλικία και η σχέση ανάμεσα στη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου και το ρυθμό εφίδρωσης όλου του σώματος.....103
- Γράφημα 5.1.** Consort διάγραμμα μελέτης125
- Γράφημα 5.2.** Θερμοκρασία Επιφάνειας Σώματος στο Ουδέτερο και Θερμό Περιβάλλον κατά τη διάρκεια των τριών σταδίων του πρωτοκόλλου.....126
- Γράφημα 5.3.** Ρυθμός εφίδρωσης τραπεζοειδούς μυός πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την άσκηση με βάση το σωματικό λίπος και την επιφάνεια σώματος.....126
- Γράφημα 5.4.** Καρδιακοί Παλμοί στο Ουδέτερο και Θερμό Περιβάλλον κατά τη άσκηση και αποκατάσταση.....126
- Γράφημα 5.5.** Καρδιακοί Παλμοί στο Ουδέτερο και Θερμό Περιβάλλον κατά την άσκηση και αποκατάσταση με βάση το σωματικό λίπος και την επιφάνεια σώματος.....127
- Γράφημα 6.1.** Consort διάγραμμα μελέτης.....144
- Γράφημα 6.1.** Στοιχεία από 3056 αγώνες τένις της ITF Νέων..... 145

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός αυτής της Διατριβής είναι να μελετήσει την επίδραση ενός συνόλου παραγόντων ως προς τις θερμορυθμιστικές και αντιληπτικές ανταποκρίσεις των παιδιών κατά την άσκηση. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν 3 έρευνες, δύο εργαστηριακές και μία πεδίου. Σε δύο μελέτες διερευνήθηκε η επίδραση της ηλικίας, της φυσικής κατάστασης, του σωματικού λίπους και της επιφάνειας σώματος ως προς τη θερμορυθμιστικές και αντιληπτικές ανταποκρίσεις των παιδιών σε συνθήκες αυξημένου θερμικού φορτίου και σε μία μελέτη εκτιμήθηκε η αποτελεσματικότητα μια τεχνικής παρέμβασης, της πρόψυξης της κεφαλής - λαιμού, ως προς τη μείωση του φυσιολογικού και αντιληπτικού θερμικού φορτίου και τη βελτίωση της απόδοσης σε έφηβους αθλητές του τένις. Μελετώντας ένα σύνολο 304 παιδιών συμπεραίνεται ότι η ηλικία και η φυσική κατάσταση επηρεάζουν σημαντικά τον ρυθμό εφίδρωσης όλου του σώματος ερμηνεύοντας το 18,8% της μεταβλητότητά του. Συγκεκριμένα ο ρυθμός εφίδρωσης όλου του σώματος δεν παρουσιάζει κάποια σημαντική εξέλιξη από την ηλικία 9-13 ετών ωστόσο αυξάνεται ραγδαία μέχρι την ηλικία των 14 ετών όπου και παραμένει σε υψηλά επίπεδα έως και την ηλικία των 17 ετών. Επίσης τα παιδιά με καλύτερη φυσική κατάσταση βρέθηκε ότι έχουν και υψηλότερο ρυθμό εφίδρωσης, επιβεβαιώνοντας τη θετική επίδραση της φυσικής κατάστασης ως προς τη θερμορυθμιστική ανταπόκριση του οργανισμού. Το σωματικό λίπος και η επιφάνεια σώματος δεν προκάλεσαν σημαντικές διαφορές στις θερμορυθμιστικές και αντιληπτικές ανταποκρίσεις των εφήβων κατά την έκθεσή τους σε θερμικό φορτίο. Ωστόσο ο ρυθμός εφίδρωσης σε τοπικό επίπεδο (τραπεζοειδής μυς) επηρεάζεται σημαντικά από το σωματικό λίπος και την επιφάνεια σώματος. Στη συνέχεια, λαμβάνοντας υπόψη ότι το

1/3 των αγώνων της Διεθνούς Ομοσπονδίας Τένις Νέων πραγματοποιούνται σε θερμές ή πολύ θερμές περιβαλλοντικές συνθήκες, εφαρμόζοντας μια τεχνική παρέμβασης, την πρόψυξη της κεφαλής - λαιμού, βρέθηκε ότι ίσως προκαλείται βελτίωση της φυσιολογικής και αντιληπτικής θερμικής καταπόνησης των εφήβων αθλητών του τένις, καθώς μειώνονται η θερμοκρασία της επιφάνειας σώματος, οι δείκτες της θερμικής αίσθησης, θερμικής άνεσης και της υποκειμενικής αίσθησης της κόπωσης, που οδηγεί σε μικρή προς μέτρια βελτίωση της απόδοσης.

Ευχαριστίες

Γράφοντας αυτό το τμήμα της διατριβής δεν έχω παρά να ανατρέξω στο μεγάλο ταξίδι που έκανα προκειμένου να φτάσω τώρα εδώ νοιώθοντας ικανοποίηση για την ολοκλήρωσή του. Ο σεβασμός και η ευγνωμοσύνη μου για τους ανθρώπους που με εμπιστεύτηκαν, με ενέπνευσαν, με παρότρυναν και με βοήθησαν είναι μεγάλος που δύσκολο μπορεί να εκφραστεί μέσα από λίγες λέξεις. Σε όλους αυτούς αφιερώνω αυτό το έργο.

Πρώτα απ' όλα, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον κύριο επιβλέποντα καθηγητή μου, Δρ. Ανδρέα Δ. Φλουρή, για τη συνεχή καθοδήγηση, υποστήριξη, ενθάρρυνση, και υπομονή του καθ' όλη τη διάρκεια των ερευνών και της συγγραφής της διατριβής.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον κ. Ιωάννη Κουτεντάκη που με εμπιστεύτηκε και μου έδωσε την ευκαιρία να παρακολουθήσω αυτό το διδακτορικό κύκλο σπουδών. Η συμβολή του ήταν σημαντική για την επίλυση των δυσκολιών που προέκυψαν.

Τις ευχαριστίες μου σε όλο το προσωπικό του εργαστηρίου FAME και κυρίως στην κ. Παρασκευή Γκιάτα για την συνεχή βοήθεια τους κυρίως σε τεχνικά θέματα.

Σε όλους τους δοκιμαζόμενους, ενήλικες και μη, και ιδιαίτερα στους γονείς των παιδιών που συμμετείχαν εθελοντικά στα πειράματα παρά το επίπονο της πειραματικής διαδικασίας. Στους συναδέλφους καθηγητές Φυσικής Αγωγής που με εμπιστεύτηκαν και παρότρυναν τους δοκιμαζόμενους να συμμετέχουν στα πειράματά της έρευνάς μου.

Στην αγαπημένη μου αδελφή που με την αγάπη της και τη συνεχή υποστήριξή της με παρότρυνε στην ολοκλήρωση αυτού του έργου.

Κεφάλαιο Ένα

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η άσκηση από άποψη θερμορύθμισης αποτελεί ένα θερμικά στρεσογόνο παράγοντα αυξημένου θερμικά φορτίου. Κάθε μορφή μυϊκής δραστηριότητας χαρακτηρίζεται από ένα υψηλό επίπεδο παραγωγής θερμότητας ως υποπροϊόν του μυϊκού μεταβολισμού. Πράγματι, κατά την εκτέλεση μυϊκής δραστηριότητας απαιτείται ενέργεια, η οποία προέρχεται από την υδρόλυση της τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP). Όταν η ATP υδρολύεται, το μεγαλύτερο μέρος (~60-95%) της ενέργειας που εκλύεται απελευθερώνεται με τη μορφή θερμότητας μέσα στο σώμα και μόνο το υπόλοιπο χρησιμοποιείται για την παραγωγή μηχανικού έργου (Bangsbo, Krstrup, Gonzalez-Alonso, & Saltin, 2001; Edwards, Hill, & Jones, 1975; Gonzalez-Alonso, 2012; Gonzalez-Alonso, Quistorff, Krstrup, Bangsbo, & Saltin, 2000; G. P. Kenny & A. D. Flouris, 2014a; Kenny & Jay, 2013; Krstrup, Ferguson, Kjaer, & Bangsbo, 2003; Krstrup, Gonzalez-Alonso, Quistorff, & Bangsbo, 2001). Η αποτελεσματικότητα της διαδικασίας αυτής, δηλαδή της μετατροπής της χημικής ενέργειας των καύσιμων συστατικών σε μηχανικό έργο και θερμότητα, διαφέρει ανάλογα με το είδος της άσκησης. Στις ισομετρικές ασκήσεις, όπου το μήκος του μυός δεν αλλάζει, το εξωτερικό μηχανικό έργο είναι μηδέν. Ένα μικρό ποσό επίσης από το μηχανικό έργο μετατρέπεται μέσω της τριβής σε θερμότητα (C. B. Wenger, 1997). Όσο αυξάνεται η ένταση της άσκησης, τόσο γίνεται πιο αποδοτική η μετατροπή της χημικής ενέργειας των καύσιμων συστατικών σε μηχανικό έργο (Fiala, 1998). Κάτω από τις καλύτερες

συνθήκες μόνο το ένα πέμπτο της μεταβολικής ενέργειας που ελευθερώνεται μετατρέπεται σε μηχανικό έργο έξω από το σώμα ενώ τα τέσσερα πέμπτα μετατρέπονται σε θερμότητα μέσα σε αυτό (Astrand & Rodahl, 1977). Τα αποθέματα όμως του σώματος σε ATP είναι πολύ περιορισμένα, αρκετά μόνο για μερικές συσπάσεις, και απαιτείται επανασύνθεσή της προκειμένου να συνεχιστεί η μυϊκή δραστηριότητα. Το παραπάνω επιτυγχάνεται μέσω της φωσφοριλύωσης της διφωσφορικής αδενοσίνης (ADP). Από τη διαδικασία αυτή, το ~58% της ενέργειας που απελευθερώνεται από τα καύσιμα υλικά μετατρέπεται σε θερμότητα και μόνο το ~42% συγκεντρώνεται στο ATP που σχηματίζεται (C. B. Wenger, 1997). Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η απελευθέρωση μεγάλων ποσών θερμικής ενέργειας που μέσω της κυκλοφορίας του αίματος μεταφέρεται σε όλο το σώμα διαταράσσοντας τη θερμική ισορροπία του ανθρώπινου οργανισμού. Αν δεν δραστηριοποιηθούν άμεσα και αποτελεσματικά οι μηχανισμοί διάχυσης τη θερμότητας, η θερμοκρασία του πυρήνα του σώματος και των διαφόρων ιστών του θα φθάσει σε επικίνδυνα επίπεδα βάζοντας σε κίνδυνο τη ζωή του ανθρώπου. Ωστόσο υπάρχει ένα σύνολο παραγόντων που επηρεάζουν τη δραστηριοποίηση και την αποτελεσματικότητα των μηχανισμών διάχυσης και παραγωγής θερμότητας και κατά επέκταση τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του οργανισμού. Στους παράγοντες αυτούς συγκαταλέγονται η ηλικία, τα σωματικά χαρακτηριστικά / σύσταση του σώματος, το επίπεδο φυσικής κατάστασης, το φύλο, οι περιβαλλοντικές συνθήκες και άλλα.

Το γεγονός ότι σήμερα η γνώση για την επίδραση των διαφόρων παραγόντων στη ρύθμιση της θερμοκρασίας του οργανισμού, κυρίως κατά την άσκηση, μετά από μελέτη πολλών ετών δεν είναι όχι μόνο ολοκληρωμένη και ξεκάθαρη αλλά με πολλά κενά, κυρίως κατά την παιδική ηλικία και εφηβεία, μου έκανε εντύπωση. Έτσι αποφάσισα ότι οι προσπάθειες μου θα πρέπει να επικεντρωθούν στο να διαλευκανθεί

όσο το δυνατό γίνεται αυτή η αβεβαιότητα. Έχοντας στο μυαλό μου ότι η θερμορύθμιση είναι ένας από τους πιο σημαντικούς και ολοκληρωμένους κλάδους της φυσιολογίας του ανθρώπου ξεκίνησα τη διερεύνηση για την επίδραση των διαφόρων παραγόντων στη ρύθμιση της θερμοκρασίας εστιάζοντας την προσοχή μου στη παιδική ηλικία.

Η παρούσα διατριβή αποτελείται από 8 κεφάλαια. Το **Κεφάλαιο 2** παρουσιάζει μια περιεκτική βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με τη φυσιολογία του ανθρώπινου θερμορυθμιστικού συστήματος, τις αρχές και τους μηχανισμούς που το διέπουν, τους παράγοντες που το επηρεάζουν καθώς και τις προσαρμοστικές αποκρίσεις του κατά την έκθεση σε αυξημένο θερμικά στρεσογόνο παράγοντα (κυρίως κατά την άσκηση). Το **Κεφάλαιο 3** περιγράφει τους συγκεκριμένους ερευνητικούς στόχους και τις υποθέσεις της Διατριβής. Τα **Κεφάλαια 4 έως και 6** περιέχουν τα αποτελέσματα 3 κλινικών μελετών που έχουν σχεδιαστεί σύμφωνα με τους στόχους της διατριβής και γράφονται με τη μορφή που έχουν δημοσιευτεί ή είναι προς δημοσίευση. Ως εκ τούτου περιλαμβάνουν ξεχωριστή εισαγωγή και συζήτηση. Μια ενιαία συζήτηση παρουσιάζεται στο **Κεφάλαιο 7** προβάλλοντας τα κύρια ευρήματα που προέκυψαν από τα τρέχοντα πειράματα σε συνδυασμό με τα δημοσιευμένα δεδομένα σε μια προσπάθεια στο να προσδιοριστούν με μεγαλύτερη σαφήνεια ερωτήματα που σχετίζονται με το θεμελιώδη θέμα αυτής της Διατριβής: την επίδραση των παραγόντων του περιβάλλοντος στην άσκηση. Επίσης παραθέτονται τα αδύνατα σημεία των τρεχόντων πειραμάτων και προτάσεις για μελλοντική έρευνα. Το **Κεφάλαιο 8** συνοψίζει τα κύρια αποτελέσματα των τριών μελετών.

Κεφάλαιο Δύο

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Σε αυτό το Κεφάλαιο παρουσιάζεται μια ανασκόπηση της δημοσιευμένης βιβλιογραφίας σε θέματα σχετικά με τη Διατριβή. Αποτελείται από τρεις ενότητες προκειμένου να γίνει βαθιά κατανόηση του ανθρώπινου θερμορυθμιστικού συστήματος με σκοπό να μελετηθεί το θεμελιώδες ερώτημα αυτής της διατριβής. Αρχικά γίνεται μια διεξοδική αναφορά στη φυσιολογία του ανθρώπινου θερμορυθμιστικού συστήματος, των μηχανισμών, των βασικών αρχών καθώς και των παραγόντων που το επηρεάζουν. Στην επόμενη ενότητα παρουσιάζονται οι μέθοδοι εκτίμησης του θερμικού περιεχομένου του σώματος, αναλύοντας τόσο την εκτίμηση του ρυθμού παραγωγής όσο και του ρυθμού αποβολής μεταβολικής θερμότητας. Εδώ αναφέρονται λεπτομερώς το σύνολο των θερμικών και μη παραγόντων που επηρεάζουν τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του οργανισμού. Στην τελευταία ενότητα αυτού του κεφαλαίου αναλύονται οι προσαρμοστικές αποκρίσεις του οργανισμού κατά την έκθεση σε αυξημένο θερμικά στρεσογόνο παράγοντα όπως κατά την άσκηση δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στους μηχανισμούς απώλειας θερμότητας από το σώμα προκειμένου να επιτευχθεί η θεμελιώδης αρχή της θερμικής ισορροπίας στον ανθρώπινο οργανισμό.

Οι παραπάνω τρεις ενότητες έχουν αποτελέσει άρθρα ανασκόπησης και έχουν κατατεθεί προς δημοσίευση. Η συλλογή των πληροφοριών, η συγγραφή της πρώτης

δημοσιευμένης μορφής των άρθρων καθώς και η υποβολή τους σε επιστημονικά περιοδικά πραγματοποιήθηκε από τη Μισαηλίδη Μαρία. Η αναθεώρησή τους έγινε από τον Δρ. Ανδρέα Δ. Φλουρή ενώ η ίδια η συγγραφέας έχει την ευθύνη για την ακεραιότητα των στοιχείων. Το ένα από τα τρία άρθρα έχει γίνει ήδη δεκτό προς δημοσίευση από το ηλεκτρονικό περιοδικό Αναζητήσεις στη Φυσική Αγωγή και τον Αθλητισμό ως εξής: Μαρία Μισαηλίδη & Ανδρέας Δ. Φλουρής. Φυσιολογία του Ανθρώπινου Θερμορυθμιστικού Συστήματος – Θερμική Ισορροπία. Αναζητήσεις στη Φυσική Αγωγή & τον Αθλητισμό, 2021 ISSN 1790-304. Η δημοσιευμένη έκδοση του άρθρου βρίσκεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.

ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΘΕΡΜΟΥΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ – ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ

Ο άνθρωπος είναι ομοιόθερμος, δηλαδή η εσωτερική θερμοκρασία του σώματός του παραμένει σε σχετικά σταθερό επίπεδο. Η διατήρηση της σχετικά σταθερής θερμοκρασίας, περίπου 37°C σε φυσιολογικά άτομα σε ηρεμία, που εξασφαλίζει το ιδανικό περιβάλλον για τη διεξαγωγή των βιοχημικών αντιδράσεων, επιτυγχάνεται μέσω του θερμορυθμιστικού συστήματος (Flouris, 2011; Flouris & Schlader, 2015) το οποίο απαιτεί την επιστράτευση συμπεριφοριστικών και φυσιολογικών μηχανισμών (G. P. Kenny & A. D. Flouris, 2014a; Van Someren, Raymann, Scherder, Daanen, & Swaab, 2002). Η σημασία των συμπεριφοριστικών μηχανισμών έχει αναγνωριστεί από την εποχή του Αριστοτέλη και θεωρείται ως η πρώτη γραμμή άμυνας για τη διατήρηση και την αποκατάσταση της θερμικής ισορροπίας σε ηρεμία και ιδίως κατά την παραγωγή έργου: άσκηση ή εργασία σε θερμό περιβάλλον (Flouris & Schlader, 2015; Lanza & Vegetti, 1996). Ωστόσο, παρά την ενεργοποίηση της συμπεριφοριστικής θερμορύθμισης, πολλές φορές διαταράσσεται η θερμική ισορροπία του σώματος. Σε

αυτές τις περιπτώσεις, το θερμορυθμιστικό σύστημα ενεργοποιεί τους αυτόνομους μηχανισμούς του προκειμένου να επέλθει εξισορρόπηση του ρυθμού παραγωγής θερμότητας στο σώμα και του ρυθμού αποβολής θερμότητας προς το περιβάλλον (Nagashima, 2006).

ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΕΝΝΟΙΑΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΡΥΘΜΙΣΗΣ

Ο Αριστοτέλης ήταν ο πρώτος που αναφέρθηκε στη συμβολή του εγκεφάλου για τη διατήρηση της ακεραιότητας του σώματος μέσω της ρύθμισης της συμπεριφοράς και της πρόσληψης της τροφής, τα οποία σχετίζονται άμεσα με την θερμοκρασία του σώματος (Lanza & Vegetti, 1996). Αργότερα, στα τέλη του 18ου και στις αρχές του 19ου αιώνα ο Lavoisier, ο Carnot και ο Mayer καθιέρωσαν τη θερμορύθμιση, δηλαδή τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του σώματος, ως σημαντική πληροφορία για την άσκηση της ιατρικής (Riggs, Millecchia, & Riggs, 2004). Ο Γάλλος επιστήμονας Claude Bernard (1878) συνέχισε τη δουλειά των Lavoisier, Carnot και Mayer διαπιστώνοντας ότι οι άνθρωποι μπορούν να αφηφούν το εξωτερικό περιβάλλον διότι μπορούν να διατηρούν τη σταθερότητα στα κύτταρά τους (C. Bernard, 1878). Ο Bernard ονόμασε το εσωτερικό περιβάλλον των κυττάρων «milieu interieur» και παρατήρησε ότι, χάρη στη διατήρηση της εσωτερικής αυτής σταθερότητας, οι άνθρωποι είναι ανεξάρτητοι από το εξωτερικό περιβάλλον. Έτσι εξηγείται γιατί μπορούμε να ζούμε, να εργαζόμαστε και να ασκούμε σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες όπως ζέστη ή κρύο, υψηλή υγρασία ή ξηρό περιβάλλον, υψηλό ή χαμηλό υψόμετρο, αλλά και πώς/γιατί προκύπτουν συγκεκριμένες ασθένειες. Σύμφωνα με τον Bernard, ο οργανισμός είναι έτσι φτιαγμένος ώστε από την μία πλευρά να υπάρχει πλήρης επικοινωνία μεταξύ εξωτερικού περιβάλλοντος και «milieu interieur» και από την άλλη

να υπάρχουν αμυντικές διεργασίες στο οργανισμό που να διατηρούν και να συντηρούν τα αποθέματα των ζωντανών συστατικών (C. Bernard, 1865; C. Bernard, 1878). Υπό αυτό το πρίσμα, η νόσος και ο θάνατος δεν είναι παρά η αποδιοργάνωση ή η διαταραχή αυτών των διεργασιών (C. Bernard, 1865).

Το έργο του Bernard συνεχίστηκε από τον Walter Cannon (1929) ο οποίος δεν μίλησε για απόλυτη ενδοκυτταρική σταθερότητα αλλά περιέγραψε τις ενέργειες των κυττάρων κατά την ανταπόκρισή τους σε απειλητικά ερεθίσματα με όρους δυναμικής ισορροπίας και μεταβλητότητας (Cannon, 1929). Ο Cannon επινόησε τον όρο ομοιόσταση για να υποδείξει ότι υπάρχει ομοιότητα με ένα βαθμό μεταβολής και όχι απόλυτης σταθερότητας. Μεταβολές αναπόφευκτα υπάρχουν, αλλά το μέγεθος αυτών είναι μικρό και συνήθως διατηρείται σε στενά όρια (Cannon, 1929). Στη συνέχεια, και ιδιαίτερα την περίοδο 1930-1970, η έρευνα για την κατανόηση του θερμορυθμιστικού συστήματος γνώρισε ιδιαίτερη άνθηση (Carrillo, Koutedakis, & Flouris, 2011). Τέλος, από τα μέσα της δεκαετίας του 1990, οι μελέτες για τη θερμορύθμιση άρχισαν να εντάσσουν ολοένα και περισσότερο βιολογικά, ψυχολογικά, και κλινικά στοιχεία (Carrillo et al., 2011).

ΘΕΡΜΟΥΡΥΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ – ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ

Η θερμορύθμιση είναι ένα από τα βασικά συστήματα ομοιοστατικού ελέγχου του οργανισμού και ανήκει στη γενική κατηγορία απόκρισης των αντανακλαστικών, δηλαδή σε μια ιδιαίτερη αλληλουχία γεγονότων ανάμεσα σε ένα ερέθισμα και μια απόκριση. Για τη θερμορύθμιση, ως ερέθισμα ορίζεται η οποιαδήποτε ανιχνεύσιμη

μεταβολή της θερμοκρασίας κάποιου ιστού του σώματος που ανιχνεύεται με αισθητήρες/υποδοχείς οι οποίοι είναι απολήξεις αισθητήριων νευρώνων στην επιφάνεια του δέρματος ή σε διάφορα μέρη στο εσωτερικό του σώματος (εγκέφαλος, σπονδυλική στήλη, γαστρεντερικός σωλήνας, κ.α.) (Flouris, 2011). Οι αισθητήρες αυτοί παράγουν ηλεκτρικά σήματα επί των αντίστοιχων νευρώνων με συχνότητα ανάλογη της θερμοκρασίας. Τα παραχθέντα ηλεκτρικά σήματα άγονται από τις νευρικές ίνες στην προοπτική χώρα και τον πρόσθιο υποθάλαμο, που αποτελούν το κέντρο ολοκλήρωσης της αυτόνομης θερμορύθμισης (Flouris & Schlader, 2015). Το κέντρο ολοκλήρωσης με την σειρά του καθορίζει: (α) τη δραστηριότητα των νευρώνων που προκαλούν τη συστολή/διαστολή των μυών γύρω από τα αιμοφόρα αγγεία του δέρματος ή παράγουν ιδρώτα/μυϊκό τρόμο, και (β) την απελευθέρωση διαφόρων ορμονών που οδηγούν σε αύξηση της θερμογένεσης.

Προκειμένου να επιτευχθεί θερμική ισορροπία, το θερμορυθμιστικό σύστημα δραστηριοποιεί μηχανισμούς που εξισορροπούν τον ρυθμό παραγωγής θερμότητας στο σώμα με τον ρυθμό αποβολής θερμότητας προς το περιβάλλον (Nagashima, 2006). Οποιαδήποτε ανισορροπία στα παραπάνω έχει ως αποτέλεσμα την μεταβολή της συνολικής θερμότητας που είναι αποθηκευμένη στο σώμα. Ο ρυθμός συσσώρευσης θερμότητας στο σώμα προσδιορίζεται από το μεταβολικό ρυθμό, την παραγωγή εξωτερικού έργου, την ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ του σώματος και του περιβάλλοντος μέσω ακτινοβολίας, μεταφοράς και αγωγής, καθώς και την αποβολή θερμότητας από το σώμα μέσω της εξάτμισης και περιγράφεται στην εξίσωση της θερμικής ισορροπίας (A. Gagge & Gonzalez, 1996; Parsons, 2003):

$$\dot{S} = \dot{M} - (\pm \dot{W}) \pm (\dot{R} + \dot{C} + \dot{K}) - \dot{E} \quad (1)$$

όπου \dot{S} είναι ο ρυθμός αποθήκευσης θερμότητας στο σώμα, \dot{M} είναι ο μεταβολικός ρυθμός (πάντα θετικός), \dot{W} είναι ο ρυθμός παραγωγής εξωτερικού έργου (θετικός στην ομόκεντρη, αρνητικός στην έκκεντρη άσκηση, και μηδενικός σε ηρεμία), \dot{R} είναι ο ρυθμός ανταλλαγής θερμότητας μέσω ακτινοβολίας, \dot{C} είναι ο ρυθμός ανταλλαγής θερμότητας μέσω μεταφοράς, \dot{K} είναι ο ρυθμός ανταλλαγής θερμότητας μέσω αγωγής και \dot{E} είναι ο ρυθμός αποβολής θερμότητας μέσω εξάτμισης.

Οι τρόποι ανταλλαγής θερμότητας μεταξύ του σώματος και του περιβάλλοντος χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: 1) ξηρού τύπου (ακτινοβολία, μεταφορά και αγωγή) και 2) υγρού τύπου (εξάτμιση). Η ανταλλαγή θερμότητας ξηρού τύπου (κυρίως η ακτινοβολία) παίζει βασικό ρόλο σε συνθήκες ηρεμίας, ενώ η ανταλλαγή θερμότητας υγρού τύπου αποτελεί την κύρια οδό αποβολής θερμότητας κατά την άσκηση σε θερμό περιβάλλον (Πίνακας 1) (G. P. Kenny & A. D. Flouris, 2014a; C.B. Wenger, 2002).

Πίνακας 2.1. Ποσοστιαία συνεισφορά των τρόπων ανταλλαγής θερμότητας μεταξύ του σώματος και του περιβάλλοντος σε ηρεμία και κατά την άσκηση σε θερμό περιβάλλον.

	Ηρεμία		Μέτρια άσκηση (300 W)	
	%	kcal/min	%	kcal/min
Αγωγή & Μεταφορά	20	0.3	15	2.2
Ακτινοβολία	60	0.9	5	0.8
Εξάτμιση	20	0.3	80	12
Σύνολο	100	1.5	100	15

Ανταλλαγή θερμότητας ξηρού τύπου

Ακτινοβολία. Οι επιφάνειες όλων των αντικειμένων εκπέμπουν θερμότητα με την μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (C. B. Wenger, 1997). Η ακτινοβολία περιλαμβάνει τη μεταφορά θερμότητας από την επιφάνεια ενός αντικειμένου στην επιφάνεια ενός άλλου αντικειμένου χωρίς όμως να υπάρχει καμία επαφή μεταξύ των δύο επιφανειών. Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια μεταφέρεται από το θερμότερο προς το ψυχρότερο αντικείμενο. Έτσι, αν η θερμοκρασία του δέρματος είναι υψηλότερη από την θερμοκρασία των αντικειμένων που το περιβάλλουν, τότε εκδηλώνεται καθαρή απώλεια θερμότητας από το σώμα. Αντίθετα, αν η θερμοκρασία των επιφανειών που περιβάλλουν το σώμα είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του δέρματος, τότε το σώμα απορροφά θερμική ενέργεια μέσω ακτινοβολίας. Η καθαρή ακτινοβολούμενη ενέργεια που ανταλλάσσεται είναι ευθέως ανάλογη της ικανότητας ακτινοβολίας των αντικειμένων ή του σώματος (G. P. Kenny & A. D. Flouris, 2014). Σε ένα άνθρωπο, η ανταλλαγή θερμότητας μέσω ακτινοβολίας εξαρτάται από την ικανότητα ακτινοβολίας της εξωτερικής επιφάνειας του σώματός του και την ακτινοβολούσα περιοχή του σώματος, η οποία, με τη σειρά της, εξαρτάται από τη στάση του ατόμου και τον προσανατολισμό του σε σχέση με την πηγή ακτινοβολίας (Parsons, 2003), καθώς και την απόχρωση της επιδερμίδας (Русанов, 1981). Η μεγαλύτερη πηγή θερμικής ακτινοβολίας στη φύση είναι ο ήλιος (Kenny & Jay, 2013).

Αγωγή. Η αγωγή αναφέρεται στην απώλεια ή στην πρόσληψη θερμότητας μέσω μεταφοράς θερμικής ενέργειας κατά την πρόσκρουση γειτονικών μορίων. Στην ουσία η θερμότητα άγεται από μόριο σε μόριο. Στο ανθρώπινο σώμα, η αγωγή επιτυγχάνεται διαμέσου άμεσης επαφής με μια θερμότερη ή ψυχρότερη επιφάνεια. Σε φυσιολογικές συνθήκες, θεωρείται ότι η ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον μέσω αυτής της οδού είναι ασήμαντη (Parsons, 2003). Αυτό συμβαίνει διότι η άμεση επαφή του

δέρματος με στερεές και υψηλά αγώγιμες επιφάνειες είναι συνήθως πολύ σύντομη και εμπλέκεται συνήθως ένα πολύ μικρό μέρος της συνολικής επιφάνειας του σώματος (π.χ., οι άκρες των δακτύλων). Επιπλέον, το μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας του σώματος είναι σχεδόν πάντα μονωμένο μέσω του ρουχισμού, μειώνοντας δραστικά την πιθανότητα για ανταλλαγή θερμότητας μέσω αγωγής.

Μεταφορά. Η μεταφορά αναφέρεται στη διαδικασία σύμφωνα με την οποία θερμότητα αποβάλλεται ή προσλαμβάνεται με τη μετακίνηση του αέρα ή του νερού που περιβάλλει το σώμα. Για παράδειγμα ο αέρας δίπλα από το σώμα θερμαίνεται μέσω αγωγής, μετακινείται λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας του, κι έτσι απομακρύνει τη θερμική ενέργεια μακριά από το σώμα. Τη θέση του θερμού στρώματος αέρα που μετακινήθηκε παίρνει ένα στρώμα ψυχρού αέρα και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Η μεταφορά θερμότητας υφίσταται πάντοτε διότι ο θερμός αέρας είναι λιγότερα πυκνός κι έτσι ανυψώνεται. Έτσι η μεταφορά θερμότητας βοηθά επίσης τη δια-της-αγωγής ανταλλαγή θερμότητας, με την διατήρηση σταθερής παροχής κρύου αέρα (Vander, Sherman, & Luciano, 2001). Ο ρυθμός ανταλλαγής θερμότητας μέσω μεταφοράς εξαρτάται από (α) την πυκνότητα του αέρα ή του νερού που περιβάλλουν το σώμα, (β) τη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στην επιφάνεια του δέρματος και το μέσο (αέρας ή νερό) που περιβάλλει το σώμα, (γ) την εκτιθέμενη περιοχή και (δ) την ταχύτητα που κινείται το μέσο (αέρας ή νερό) που περιβάλλει το σώμα (G. P. Kenny & A. D. Flouris, 2014). Αν η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στην εξωτερική επιφάνεια του σώματος και του μέσου που την περιβάλλει είναι αρνητική (δηλαδή, αν η θερμοκρασία του αέρα που περιβάλλει το σώμα είναι υψηλότερη από την θερμοκρασία του σώματος), τότε εμφανίζεται αρνητική ανταλλαγή θερμότητας μέσω μεταφοράς και το σώμα προσλαμβάνει θερμότητα αντί να αποβάλει (Kenny & Jay, 2013). Η ανταλλαγή

θερμότητας μέσω μεταφοράς είναι ανάλογη της διαφοράς θερμοκρασίας που υπάρχει ανάμεσα στο σώμα και το περιβάλλον, όπως προκύπτει από την εξίσωση μεταφοράς θερμότητας:

$$C=hc * A* (Tsk-Ta) \quad (2)$$

όπου C είναι η μεταφερόμενη θερμότητα, A είναι η επιφάνεια του σώματος, Tsk είναι η μέση τιμή της θερμοκρασίας δέρματος, Ta είναι η μέση τιμή της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, και hc είναι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας ο οποίος περιλαμβάνει την επίδραση όλων των παραγόντων που επηρεάζουν την ανταλλαγή θερμότητας μέσω μεταφοράς εκτός των θερμοκρασιών του δέρματος, του περιβάλλοντος και της επιφάνειας σώματος (C. B. Wenger, 1997).

Ανταλλαγή θερμότητας υγρού τύπου

Εξάτμιση. Όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος αυξάνεται, ο ρυθμός θερμικής απώλειας μέσω των μηχανισμών της αγωγής, της μεταφοράς και της ακτινοβολίας μειώνεται, με αποτέλεσμα ο μηχανισμός της εξάτμισης να αποτελεί τον πιο σημαντικό τρόπο για αποβολή θερμότητας προς το περιβάλλον (Πίνακας 1) (G. P. Kenny & A. D. Flouris, 2014a; G. P. Kenny & A. D. Flouris, 2014; C.B. Wenger, 2002). Η εξάτμιση τμήματος ενός υγρού απαιτεί την εξαγωγή της απαραίτητης θερμότητας εξάτμισης από το εν λόγω υγρό, προκειμένου να γίνει η αλλαγή φάσης από την υγρή στην αέρια κατάσταση. Επομένως, το υγρό που απομένει πίσω ψύχεται και οδηγεί σε μείωση της θερμοκρασίας των ιστών που επαφίενται σε αυτό και, κατά συνέπεια, και της θερμοκρασίας του σώματος. Για κάθε γραμμάριο νερού που περιέχεται στον ιδρώτα που εξατμίζεται, αποβάλλονται 580 θερμίδες (C. B. Wenger, 1997). Η απώλεια

θερμότητας μέσω του μηχανισμού της εξάτμισης επιτυγχάνεται τόσο στην επιφάνεια του δέρματος όσο και στις μεμβράνες του αναπνευστικού σωλήνα.

Θερμική απώλεια με εξάτμιση μέσω του δέρματος. Όπως προαναφέρθηκε, η παραγωγή ιδρώτα κατά την εφίδρωση δεν προκαλεί μείωση της θερμοκρασίας του σώματος. Απαιτείται η μετατροπή του νερού που περιέχεται στον ιδρώτα από υγρή σε αέρια μορφή, η οποία εξάγει 580 θερμίδες ανά γραμμάριο. Έτσι, κάθε φορά που εξατμίζεται το νερό του ιδρώτα από την επιφάνεια του σώματος δαπανάται η αντίστοιχη θερμική ενέργεια η οποία μεταφέρεται στον αέρα προκαλώντας έτσι ψύξη του ιδρώτα που παραμένει σε υγρή μορφή και, εν συνεχεία, της επιδερμίδας. Κατά τη διαδικασία της εξάτμισης, σημαντικό ρόλο στο ρυθμό θερμικής απώλειας παίζει η διαφορά της μερικής πίεσης των υδρατμών μεταξύ της επιφάνειας του δέρματος (ιδρώτας) και του ατμοσφαιρικού αέρα (υγρασία). Ακόμη κι αν ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι πλήρως κορεσμένος (100% σχετική υγρασία), υπάρχει μειωμένη εφίδρωση εφόσον υπάρχει απόλυτη διαφορά της υγρασίας ανάμεσα στο δέρμα και τον αέρα (Kenny & Jay, 2013). Επίσης, στη διαδικασία της εξάτμισης σημαντικό ρόλο παίζουν η ταχύτητα με την οποία ο ατμοσφαιρικός αέρας κινείται, ο ρουχισμός και οι συνθήκες του περιβάλλοντος (G. P. Kenny & A. D. Flouris, 2014).

Ο άνθρωπος έχει περιορισμένη ικανότητα για αποβολή θερμότητας μέσω εξάτμισης. Κατά την διάρκεια μέγιστης εφίδρωσης κάτω από σταθερές συνθήκες περιβάλλοντος, ο μέγιστος ρυθμός εξάτμισης εξαρτάται από την επιφάνεια σώματος και το ποσοστό αυτή της περιοχής που είναι κορεσμένο με ιδρώτα. Το ποσοστό αυτό της συνολικής επιφάνειας του δέρματος στο ανθρώπινο σώμα που καλύπτεται με ιδρώτα ονομάζεται «υγρασία δέρματος» και παίρνει διάφορες τιμές (A. Gagge & Gonzalez, 1996). Έτσι σε συνθήκες ηρεμίας όπου δεν προκαλείται εφίδρωση, η υγρασία δέρματος

έχει τιμή 0.06 (δηλαδή, 6%) και αντιπροσωπεύει τη φυσική διάχυση του νερού διαμέσου του δέρματος. Όταν όλη η επιφάνεια του δέρματος είναι καλυμμένη με ιδρώτα, η υγρασία δέρματος έχει τιμή 1 (δηλαδή, 100%). Αυτό όμως επιτυγχάνεται μόνο σε άτομα που είναι επαρκώς εγκλιματισμένα στη ζέστη και οι ιδρωτοποιοί τους αδένες έχουν υιοθετήσει τις προσαρμογές που επιτυγχάνονται μετά από επανειλημμένη έκθεση σε θερμό περιβάλλον. Χωρίς εγκλιματισμό στη ζέστη, η υγρασία του δέρματος σε φυσιολογικούς ενήλικες μπορεί να αυξηθεί έως το 0.85 [δηλαδή, 85% (Parsons, 2003)]. Παρόλα αυτά, η συχνή άσκηση παρατεταμένης διάρκειας (η οποία προκαλεί προσαρμογές όμοιες με αυτές του εγκλιματισμού) έχει ως αποτέλεσμα η μέγιστη τιμή της υγρασίας του δέρματος να φθάσει στα ίδια επίπεδα με εκείνα των θερμικά εγκλιματισμένων ατόμων (Mora-Rodriguez, 2012). Η υγρασία του δέρματος επηρεάζει την αποτελεσματικότητα της εφίδρωσης του ατόμου, δηλαδή του ποσού του ιδρώτα που εξατμίζεται συνεισφέροντας στην απώλεια θερμότητας σε σχέση με το ποσό του ιδρώτα που παράγεται. Η διαρροή ιδρώτα αρχίζει όταν η τιμή της είναι μεγαλύτερη ή ίση του 0.50 (Candas, Libert, & Vogt, 1979).

Θερμική απώλεια με εξάτμιση μέσω της αναπνοής. Η απώλεια θερμότητας μέσω αναπνοής απορρέει από τους μηχανισμούς μεταφοράς θερμότητας ξηρού τύπου και εξατμίσεως. Όταν τα εισπνεόμενα αέρια από το περιβάλλον είναι χαμηλότερης θερμοκρασίας από τη θερμοκρασία του πυρήνα κατά τη διάρκεια της εισπνοής, ζεσταίνονται και εξισορροπούνται θερμικά με την θερμοκρασία του πυρήνα. Ο ρυθμός θερμικής απώλειας μέσω της αναπνοής επηρεάζεται από το ρυθμό του πνευμονικού αερισμού και την ειδική θερμική ικανότητα των αναπνεόμενων αερίων. Η απώλεια θερμότητας με εξάτμιση μέσω της αναπνοής εμφανίζεται εξαιτίας του πλήρους κορεσμού των εισπνεόμενων αερίων με νερό, όταν περνούν από τις κοιλότητες του

ανώτερου αναπνευστικού κατά τη διάρκεια της εισπνοής. Δεδομένου ότι η ικανότητα των αερίων για διατήρηση της υγρασίας αυξάνεται γραμμικά με την θερμοκρασία, η αύξηση της θερμοκρασίας των εισπνεόμενων αερίων μέσω της αγωγής/μεταφοράς αυξάνει την εξάτμιση (Kenny & Jay, 2013).

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΙΣΤΙΚΗΣ ΘΕΡΜΟΥΡΥΘΜΙΣΗΣ

Στους ανθρώπους η διατήρηση της θερμοκρασίας του οργανισμού στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό στη συμπεριφοριστική θερμορύθμιση (Flouris, 2011; Flouris & Schlader, 2015), η οποία έχει αποδειχθεί πως είναι ο κύριος θερμορυθμιστικός μηχανισμός στα περισσότερα τρωκτικά και σε όλους τους εξώθερμους οργανισμούς (Flouris & Piantoni, 2015; Talan, Tatelman, & Engel, 1991). Οι πρώτες ποιοτικές μελέτες για τη συμβολή της συμπεριφοράς στη επίτευξη της θερμικής ισορροπίας αναφέρονται από τον Αριστοτέλη τον 5ο αιώνα π.Χ., ωστόσο η πρώτη ποσοτική έρευνα πραγματοποιήθηκε στις αρχές του 20ου αιώνα από τον Kinder (Kinder, 1927). Από τότε, πλήθος ερευνών έχουν διεξαχθεί προκειμένου να κατανοηθεί η συμβολή των συμπεριφοριστικών προσαρμογών στη διατήρηση και την αποκατάσταση της θερμικής ισορροπίας (Laties & Weiss, 1959, 1960; Weiss, 1957; Weiss & Laties, 1960, 1961). Παραδείγματα συμπεριφοριστικής θερμορύθμισης περιλαμβάνουν οι διάφορες στάσεις του σώματος, η προσθήκη/αφαίρεση ρουχισμού, η κατανάλωση ζεστών ροφημάτων, κ.α. (Flouris & Piantoni, 2015; Van Someren et al., 2002).

Η συμπεριφοριστική θερμορύθμιση συχνά θεωρείται η πρώτη γραμμή άμυνας για τη διατήρηση και την αποκατάσταση της θερμικής ισορροπίας σε συνθήκες ηρεμίας αλλά παίζει ακόμη πιο σημαντικό ρόλο κατά την άσκηση σε θερμό περιβάλλον (Flouris

& Schlader, 2015). Η συμπεριφοριστική προσαρμογή που στοχεύει στην προάσπιση της θερμικής ισορροπίας κατά την άσκηση σε θερμό περιβάλλον είναι η εκούσια μείωση του ρυθμού παραγωγής έργου (Flouris, 2011; Flouris & Schlader, 2015). Αυτό συμβαίνει γιατί κατά την διάρκεια μυϊκής δραστηριότητας απελευθερώνεται ενέργεια από τους μοριακούς δεσμούς κατά τη διάσπαση των οργανικών μορίων που συμμετέχουν στις αντιδράσεις του μεταβολισμού. Πράγματι, κατά την εκτέλεση μυϊκής δραστηριότητας απαιτείται ενέργεια, η οποία προέρχεται από την υδρόλυση της τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP). Όταν η ATP υδρολύεται, το μεγαλύτερο μέρος (~60-95%) της ενέργειας που εκλύεται απελευθερώνεται με τη μορφή θερμότητας μέσα στο σώμα, διαταράσσοντας τη θερμική του ισορροπία, και μόνο το υπόλοιπο χρησιμοποιείται για την παραγωγή μηχανικού έργου (Bangsbo et al., 2001; Edwards et al., 1975; Gonzalez-Alonso, 2012; Gonzalez-Alonso et al., 2000; G. P. Kenny & A. D. Flouris, 2014a; Kenny & Jay, 2013; Krusturp et al., 2003; Krusturp et al., 2001). Η αποτελεσματικότητα της διαδικασίας αυτής, δηλαδή της μετατροπής της χημικής ενέργειας των καύσιμων συστατικών σε μηχανικό έργο και θερμότητα, διαφέρει ανάλογα με το είδος της άσκησης. Στις ισομετρικές ασκήσεις, όπου το μήκος του μυός δεν αλλάζει, το εξωτερικό μηχανικό έργο είναι μηδέν. Ένα μικρό ποσό επίσης από το μηχανικό έργο μετατρέπεται μέσω της τριβής σε θερμότητα (C. B. Wenger, 1997). Όσο αυξάνεται η ένταση της άσκησης, τόσο γίνεται πιο αποδοτική η μετατροπή της χημικής ενέργειας των καύσιμων συστατικών σε μηχανικό έργο (Fiala, 1998). Κάτω από τις καλύτερες συνθήκες μόνο το ένα πέμπτο της μεταβολικής ενέργειας που ελευθερώνεται μετατρέπεται σε μηχανικό έργο έξω από το σώμα ενώ τα τέσσερα πέμπτα μετατρέπονται σε θερμότητα μέσα σε αυτό (Astrand & Rodahl, 1977). Τα αποθέματα όμως του σώματος σε ATP είναι πολύ περιορισμένα, αρκετά μόνο για μερικές συσπάσεις, και απαιτείται επανασύνθεσή της προκειμένου να συνεχιστεί η μυϊκή

δραστηριότητα. Το παραπάνω επιτυγχάνεται μέσω της φωσφοριλύωσης της διφωσφορικής αδενοσίνης (ADP). Από τη διαδικασία αυτή, το ~58% της ενέργειας που απελευθερώνεται από τα καύσιμα υλικά μετατρέπεται σε θερμότητα και μόνο το ~42% συγκρατείται στο ATP που σχηματίζεται (C. B. Wenger, 1997).

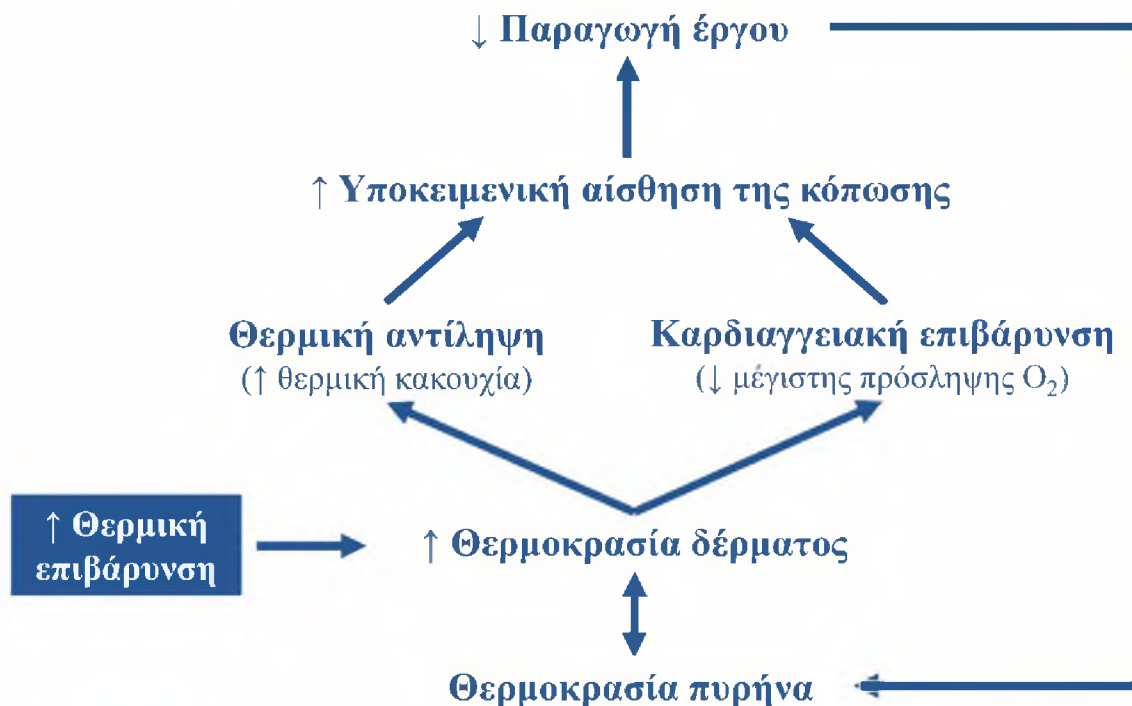
Προκειμένου να κατανοήσουμε τη σημαντικότητα των παραπάνω στην καθημερινή ζωή ενός ατόμου, ας αναλογιστούμε το παρακάτω παράδειγμα. Το στατικό ποδήλατο, το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως σε γυμναστήρια και αθλητικά κέντρα, θεωρείται ως η πιο αποδοτική μορφή άσκησης με συνολική μηχανική απόδοση ~20% (Whipp & Wasserman, 1969). Αυτό σημαίνει ότι, προκειμένου να παράγουμε εξωτερικό μηχανικό έργο ίσο με 120 W (το οποίο θα εφαρμοστεί στο πετάλι), θα πρέπει να απελευθερωθεί ενέργεια από τις αντιδράσεις του μεταβολισμού ίση με 600 W από τα οποία περίπου 480 W θα ελευθερωθούν ως θερμότητα στα κύτταρα του σώματος. Σε περιπτώσεις όπου το σώμα δεν δύναται να αποβάλει αυτή τη θερμότητα στο περιβάλλον, προκαλείται – μέσω της συμπεριφοριστικής θερμορύθμισης – εν ευθέτω χρόνω εκούσια μείωση του ρυθμού έντασης της άσκησης ως θερμορυθμιστική απάντηση προκειμένου να διατηρηθεί η θερμική ισορροπία (Flouris, 2011; Flouris & Schlader, 2015).

Οι συμπεριφοριστικές προσαρμογές της θερμορύθμισης πηγάζουν κυρίως από τον νησιωτικό φλοιό του εγκεφάλου και ενεργοποιούνται ως επί το πλείστον μέσω των θερμικών υποδοχέων του δέρματος, πριν ανιχνευθούν οι μεταβολές της θερμοκρασίας του πυρήνα του σώματος (Flouris, 2011; Flouris & Schlader, 2015). Η συμπεριφοριστική θερμορύθμιση ελέγχεται με βάση το πόσο άνετο αισθανόμαστε το περιβάλλον (θερμική άνεση), καθώς και από το πόσο θερμό αισθανόμαστε το σώμα μας (θερμική αίσθηση). Πρόσφατα, προτείναμε ένα μοντέλο συμπεριφοριστικής

θερμορύθμισης που αναλύει τους παράγοντες που επηρεάζουν την αυτορυθμιζόμενη παραγωγή έργου σε θερμό περιβάλλον (Γράφημα 1) (Flouris, 2015; Flouris & Schlader, 2015). Με βάση το μοντέλο αυτό:

- 1) η αυτοεπιλεγμένη μείωση του ρυθμού άσκησης σε θερμό περιβάλλον μειώνει το μεταβολικό ρυθμό \dot{M} και επομένως συμβάλλει στην επίτευξη θερμικής ισορροπίας (εξίσωση 1).
- 2) Σε περιόδους ηρεμίας η θερμική συμπεριφορά καθορίζεται σχεδόν αποκλειστικά από το πόσο άνετο αισθανόμαστε το περιβάλλον (θερμική άνεση). Κάτι τέτοιο όμως δεν ισχύει κατά τη διάρκεια της άσκησης. Σε αυτές τις συνθήκες η θερμική συμπεριφορά φαίνεται να ελέγχεται κυρίως από την υποκειμενική αίσθηση της κόπωσης.
- 3) Πριν σημειωθεί αύξηση της θερμοκρασίας του πυρήνα του σώματος (σε περιπτώσεις όπου μόνο η θερμοκρασία του δέρματος είναι αυξημένη) η μείωση του ρυθμού άσκησης σε θερμό περιβάλλον προκαλείται κυρίως από τη θερμική αντίληψη (τη θερμική άνεση και τη θερμική αίσθηση του σώματος), καθώς και από τις επιπτώσεις που έχει αυτή στην υποκειμενική αίσθηση της κόπωσης.
- 4) Σε περιπτώσεις όπου η θερμοκρασία του πυρήνα και του δέρματος είναι αυξημένη, η υποκειμενική αίσθηση της κόπωσης επηρεάζεται κυρίως από παράγοντες που σχετίζονται με την καρδιαγγειακή επιβάρυνση. Η τελευταία είναι αποτέλεσμα της περιφερικής αγγειοδιαστολής που στοχεύει στην μεγιστοποίηση της αποβολής θερμότητας μέσω ακτινοβολίας, μεταφοράς, και αγωγής (εξίσωση 1). Δυστυχώς, όμως, η περιφερική αυτή αγγειοδιαστολή έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση παροχής αίματος στους μύες και, επομένως, της πρόσληψης οξυγόνου (Flouris, 2015; Flouris & Schlader, 2015).

Γράφημα 2.1. Μοντέλο της συμπεριφοριστικής θερμορύθμισης κατά τη διάρκεια της άσκησης σε θερμό περιβάλλον (Flouris, 2015).



ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΥΤΟΝΟΜΗΣ ΘΕΡΜΟΡΥΘΜΙΣΗΣ

Η αυτόνομη θερμορύθμιση λειτουργεί μέσω του ελέγχου των μηχανισμών παραγωγής και αποβολής θερμότητας. Σχετικά με την παραγωγή θερμότητας, το ανθρώπινο σώμα έχει δυνατότητα για ορμονική θερμογένεση καθώς και για θερμογένεση με ρίγος. Η ορμονική θερμογένεση ταξινομείται σε: 1) θερμογένεση χωρίς ρίγος, όπου η νορεπινεφρίνη προκαλεί μιτοχονδριακή παραγωγή θερμότητας στο φαιό λιπώδη ιστό (Valente, Jamurtas, Koutedakis, & Flouris, 2015), και 2) ορμονική θερμογένεση η οποία προκαλείται από αύξηση της έκκρισης επινεφρίνης, γλυκαγόνης, θυρεοειδικών ορμονών, αυξητικής ορμόνης, ή/και αδρενοκορτικοτροπικής ορμόνης (Jansky, 1995). Η θερμογένεση με ρίγος επιτελείται στους σκελετικούς μύες και έχει δυνατότητα για

παραγωγή θερμότητας έως και 300 W (Benzinger, 1969). Η υψηλή ποσότητα της παραγόμενης θερμότητας προδίδει ότι η αλλαγή της μυϊκής δραστηριότητας είναι η κύρια παράμετρος θερμογένεσης στο σώμα. Συγκεκριμένα, η έκθεση σε ψυχρό περιβάλλον οδηγεί σε προοδευτική αύξηση της μυϊκής συστολής η οποία προκαλεί μυϊκό ρίγος. Δεδομένου ότι δεν παράγεται καθόλου εξωτερικό έργο κατά το μυϊκό ρίγος, σχεδόν όλη η παραγόμενη ενέργεια διαχέεται ως θερμότητα στα κύτταρα του σώματος.

Οι αυτόνομοι μηχανισμοί αποβολής θερμότητας αφορούν την εφίδρωση και τη μεταβολή της δερματικής αιματικής ροής. Η ενεργοποίηση αυτών των μηχανισμών εξαρτάται από τη θερμοκρασία του πυρήνα και του δέρματος στο ανθρώπινο σώμα. Κάθε θερμορυθμιστική απάντηση του οργανισμού έχει ένα όριο, μια θερμοκρασία όπου η απάντηση αυξάνει και εξαρτάται από τη θερμοκρασία δέρματος και τη θερμοκρασία πυρήνα. Στους ανθρώπους μια αλλαγή στη θερμοκρασία του πυρήνα κατά 1°C προκαλεί εννέα φορές μεγαλύτερη θερμορυθμιστική απάντηση σε σύγκριση με την ίδια αύξηση στη θερμοκρασία του δέρματος (M. N. Sawka & Wenger, 1988). Η θερμοκρασία του δέρματος δεν δρα μόνο μέσω αντανακλαστικών μηνυμάτων αλλά έχει τοπική επίδραση που τροποποιεί τα αιμοφόρα αγγεία και τους ιδρωτοποιούς αδένες. Οι αλλαγές της θερμοκρασίας του δέρματος επηρεάζουν τα αιμοφόρα αγγεία του δέρματος με τουλάχιστον δύο τρόπους. Πρώτον, η τοπική ψύξη του δέρματος ενισχύει την συστολή των αιμοφόρων αγγείων σε απάντηση νευρικών ερεθισμάτων και αγγειοσυσταλτικών ουσιών. Δεύτερον, σε περιοχές του δέρματος που εμφανίζεται αγγειοδιαστολή η τοπική θερμότητα διαστέλλει τα αιμοφόρα αγγεία άμεσα χωρίς τη δραστηριοποίηση των νευρικών ερεθισμάτων. Η επίδραση αυτή είναι ιδιαίτερα χαρακτηριστική όταν η θερμοκρασία του δέρματος είναι πάνω από 35°C και όταν το

δέρμα είναι θερμότερο από το αίμα (C. B. Wenger, Stephenson, & Durkin, 1986). Η επίδραση της θερμοκρασίας του δέρματος στους ιδρωτοποιούς αδένες είναι παράλληλη με αυτή των αιμοφόρων αγγείων, έτσι ώστε η τοπική θέρμανση του δέρματος ενισχύει την ενεργοποίηση των ιδρωτοποιών αδένων μέσω της ακετυλεχολίνης ή της αντανακλαστικής διέγερσης αυτών ενώ το αντίθετο ισχύει στην τοπική ψύξη του δέρματος (M. N. Sawka, C. B. Wenger, & K. B. Pandolf, 1996b).

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ

Σωματικά Χαρακτηριστικά / Σύνθεση Σώματος

Η σωματική μάζα ισοδυναμεί με την ικανότητα του σώματος να αποθηκεύσει θερμότητα. Επομένως, άτομα με μεγαλύτερη σωματική μάζα συνήθως έχουν μικρότερη αύξηση της θερμοκρασίας του πυρήνα τους κατά τη διάρκεια ενός θερμικού ερεθίσματος (Havenith, Coenen, Kistemaker, & Kenney, 1998; Havenith, Luttikholt, & Vrijkotte, 1995). Ωστόσο η συμβολή της μάζας σώματος ως προς την ικανότητα για αποθήκευση θερμότητας δεν ισχύει στα διάφορα μέρη/τμήματα του ανθρώπινου σώματος. Για παράδειγμα ο εγκέφαλος, ενώ αποτελεί μόλις το 2% της συνολικής μάζας σώματος, χρησιμοποιεί περίπου το 16% του οξυγόνου που απαιτείται για τη διάσπαση της γλυκόζης για την παροχή ενέργειας (Raichle, 2001). Συνολικά, σε κατάσταση ηρεμίας ο εγκέφαλος και τα σπλάχνα ευθύνονται για το 70% της εκλυόμενης ενέργειας παρότι αποτελούν μόνο το 8% της σωματικής μάζας (ISO., 2004) (Πίνακας 2).

Πίνακας 2.2. Παραγωγή θερμότητας κατά την ηρεμία και την άσκηση σε διάφορους ιστούς και όργανα του σώματος.

Ιστός	Βάρος%	Παραγωγή Θερμότητας %
-------	--------	-----------------------

		Ηρεμία	Μέτρια Άσκηση (300W)
Εγκέφαλος	2	16	3
Ζωτικά όργανα	6	56	22
Δέρμα και μύες	52	18	73

Το μέγεθος της επιφάνειας σώματος ορίζει τον ρυθμό ανταλλαγής θερμότητας ανάμεσα στο δέρμα και το περιβάλλον (Havenith et al., 1998; Havenith et al., 1995). Αυτό συνεπάγεται ότι η μεγάλη επιφάνεια σώματος συνδέεται με μικρότερες αυξήσεις της θερμοκρασίας του πυρήνα του σώματος κατά την έκθεση σε ένα θερμικό ερέθισμα (Havenith et al., 1998; Havenith et al., 1995). Έτσι ο μεταβολικός ρυθμός είναι περίπου ανάλογος της επιφάνειας σώματος. Για παράδειγμα ο μεταβολικός ρυθμός σε ένα νεαρό άνδρα είναι 81W ή 70kcal/ώρα για 1.8 m² επιφάνειας σώματος.

Η σύνθεση του σώματος έχει επίσης σημαντικό αντίκτυπο στη δυνατότητα αποθήκευσης θερμότητας και ανοχής στη ζέστη. Παρά το γεγονός ότι έχουν πραγματοποιηθεί λίγες έρευνες σε παχύσαρκους ενήλικες, τα δεδομένα ως τώρα δείχνουν ότι τα άτομα αυτά έχουν μειωμένη θερμική ευαισθησία σε ένα θερμικό ερέθισμα (Herman et al., 2007). Δεν είναι όμως ξεκάθαρο, αν η μειωμένη θερμική ευαισθησία συνδέεται με μειωμένη ενεργοποίηση των μηχανισμών απώλειας θερμότητας. Τα παχύσαρκα άτομα επίσης έχουν μειωμένη δερματική αιματική ροή, όταν ο πυρήνας του σώματος παρουσιάζει υψηλή θερμοκρασία (Vroman, Buskirk, & Hodgson, 1983). Η ειδική θερμοχωρητικότητα επίσης του λιπώδους ιστού είναι μικρότερη από εκείνη της άλιπης μάζας (2.97 αντί για 3.64 KJ·g⁻¹·C⁻¹) (Kenny & Jay, 2013). Επομένως, για μια δεδομένη ποσότητα συσσωρευμένης θερμότητας ανά μονάδα σωματικής μάζας, μεγαλύτερη αύξηση της μέσης θερμοκρασίας ιστού θα παρατηρηθεί στα άτομα με μεγαλύτερη μάζα λιπώδους ιστού. Οι λόγοι αυτοί πιθανώς εξηγούν το

γεγονός ότι τα περιστατικά θανατηφόρας θερμοπληξίας εμφανίζονται 3.5 φορές πιο συχνά σε υπέρβαρους και παχύσαρκους σε σχέση με άτομα φυσιολογικού βάρους (Henshel, 1967). Το ρίσκο αυτό αυξάνεται ακόμη περισσότερο, όταν η παχυσαρκία συνοδεύεται με καθιστικό τρόπο ζωής, χαμηλή φυσική κατάσταση και χρόνιες ασθένειες (Henshel, 1967).

Φύλο

Ο βασικός μεταβολικός ρυθμός δεν είναι ίσος και στα δύο φύλα αλλά κατά μέσο όρο 5-10% χαμηλότερος στις γυναίκες όλων των ηλικιών απ' ό, τι στους άνδρες (C. B. Wenger, 1997). Η διαφορά αυτή μπορεί να αποδοθεί στο υψηλότερο ποσοστό σωματικού λίπους που υπάρχει στις γυναίκες και το χαμηλότερο ποσοστό μυϊκής μάζας. Οι διαφορές αυτές αμβλύνονται, όταν ο βασικός μεταβολικός ρυθμός εκφράζεται ανά μονάδα άλιπης σωματικής μάζας. Αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι οι γυναίκες έχουν μειωμένη ανοχή στη ζέστη λόγω μειωμένου ρυθμού εφίδρωσης σε σύγκριση με τους άνδρες (Morimoto, Slabochova, Naman, & Sargent, 1967; Weinman, Slabochova, Bernauer, Morimoto, & Sargent, 1967; Wyndham, Morrison, & Williams, 1965). Ακόμη και μετά από μια περίοδο εγκλιματισμού, όπου η θερμοκρασία του πυρήνα του σώματος είναι όμοια ανάμεσα στα δύο φύλα, ο ρυθμός εφίδρωσης των γυναικών είναι μειωμένος (Morimoto et al., 1967; Weinman et al., 1967; Wyndham et al., 1965). Ωστόσο σε πολλές από τις μελέτες που έγιναν προκειμένου να διευκρινιστεί η επίδραση του φύλου ως προς τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του σώματος, δεν ελήφθησαν υπόψη στοιχεία όπως τα σωματικά χαρακτηριστικά των ατόμων (W. L. Kenney, 1985b) και το επίπεδο της φυσικής τους κατάστασης (Drinkwater, Kupprat, Denton, & Horvath, 1977). Πρόσφατη μελέτη καταδεικνύει ότι διαφορές που σχετίζονται με το φύλο στην παραγωγή ιδρώτα σε όλο το σώμα και ως εκ τούτου στην

αποθήκευση της θερμότητας σε αυτό, είναι εμφανείς μόνο σε ένα ορισμένο συνδυασμό περιβαλλοντικών συνθηκών και μεταβολικού ρυθμού παραγωγής θερμότητας (Gagnon & Kenny, 2012).

Ηλικία

Ο βασικός μεταβολικός ρυθμός μειώνεται με την αύξηση της ηλικίας, σε αντίθεση με ό,τι συμβαίνει σε άλλους οργανισμούς, όπως στους αρουραίους (Lee & Wang, 1985). Ο Roehlman και οι συνεργάτες του (Roehlman, 1993) αναφέρουν μια καμπυλόγραμμη μείωση, με τη σημαντικότερη μείωση να εμφανίζεται μετά την ηλικία των 50 ετών. Η μείωση του βασικού μεταβολικού ρυθμού σχετίζεται στενά με την αύξηση του σωματικού βάρους, με την αύξηση του λιπώδη ιστού και τη μείωση της άλιπης μάζας, τη μείωση των ιστών που παράγουν θερμότητα και την μείωση του επιπέδου φυσικής κατάστασης που παρουσιάζεται κυρίως στους ηλικιωμένους (Roehlman, 1993). Ο μειωμένος βασικός μεταβολικός ρυθμός αποτελεί ένα από τους βασικούς λόγους για τη μειωμένη θερμοκρασία πυρήνα σώματος που αναφέρεται με την αύξηση της ηλικίας (Falk, Bar-Or, Smolander, & Frost, 1994) και κυρίως στους άνδρες (Florez-Duquet & McDonald, 1998).

Κατά την έκθεση σε θερμό περιβάλλον (π.χ. σε περιόδους καύσωνα), τα άτομα μεγαλύτερης ηλικίας εμφανίζουν μειωμένη απόκριση του θερμορυθμιστικού συστήματος σε σχέση με άτομα μικρότερης ηλικίας (Dufour & Candas, 2007). Η μείωση αυτή εμφανίζεται κυρίως στον ρυθμό εφίδρωση (W. L. Kenney & Fowler, 1988) και τη δερματική αιματική ροή (Holowatz, Thompson-Torgerson, & Kenney, 2010). Ο μειωμένος ρυθμός εφίδρωσης που σχετίζεται με την ηλικία αποδίδεται κυρίως στην μικρότερη παραγωγή έκκρισης ιδρώτα ανά ιδρωτοποιό αδένια και όχι στη μειωμένη δραστηριοποίηση του αριθμού των ιδρωτοποιών αδένων (W. L. Kenney &

Fowler, 1988). Η μειωμένη δερματική αιματική ροή που σχετίζεται με την ηλικία συνδέεται με μικρότερη ανακατανομή της αιματικής ροής στα σπλάχνα και τους νεφρούς και μειωμένη καρδιακή παροχή (Minson, Wladkowski, Cardell, Pawelczyk, & Kenney, 1998).

Ύπνος

Ο βασικός μεταβολικός ρυθμός ρυθμίζεται από τον ύπνο και τον κirkάδιο ρυθμό και είναι ελαφρώς υψηλότερος όταν το άτομο είναι ζύπνιο (Krauchi & Wirz-Justice, 1994). Παλιότεροι ερευνητές δεν αναφέρουν κirkάδιες διαφοροποιήσεις στο βασικό μεταβολικό ρυθμό σε άτομα ζύπνια σε κατάσταση ηρεμίας (Miles, Wong, Rumpfer, & Conway, 1993; Zwiauer, Mueller, & Widhalm, 1992). Αντίθετα νεότεροι ερευνητές αναφέρουν κορύφωσή του λίγο πριν το μεσημέρι (Krauchi & Wirz-Justice, 1994). Όπως προαναφέρθηκε, ο μεταβολικός ρυθμός είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με τη θερμική ισορροπία. Επομένως, οι μεταβολές του κατά τη διάρκεια της ημέρας αποτελούν λόγο ενεργοποίησης των μηχανισμών θερμορύθμισης έτσι ώστε να μη διαταραχθεί η θερμική ισορροπία.

Λοίμωξη ή άλλη ασθένεια

Η αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος μπορεί να είναι απόκριση του οργανισμού σε μία λοίμωξη (C. B. Wenger, 1997). Ο πυρετός είναι ένα τέτοιο παράδειγμα και – από πλευράς θερμικής ισορροπίας – επιτελείται μέσω περιφερικής αγγειοσυστολής (μείωση της αιματικής ροής στο δέρμα για μείωση της απώλειας θερμότητας ξηρού τύπου), αύξηση της παραγωγής θερμότητας με και χωρίς ρίγος, ενεργοποίηση της συμπεριφοριστικής θερμορύθμισης (π.χ., εντοπισμός θερμού περιβάλλοντος και αύξηση μόνωσης/ρουχισμού), καθώς και απενεργοποίηση του μηχανισμού της εφίδρωσης (για

μείωση της απώλειας θερμότητας υγρού τύπου). Από πλευράς ανοσολογικής λειτουργίας, ο πυρετός διεγείρει ένα μεγάλο αριθμό αμυντικών μηχανισμών του οργανισμού όπως την αύξηση της κινητικότητας των λευκοκυττάρων, την ενίσχυση της φαγοκυττάρωσης από τα λευκοκύτταρα, την μείωση των ενδοτοξινών και την αύξηση των T-κυττάρων, με σκοπό να καταπολεμήσει τις λοιμώξεις (Lewis, Heitkemper, Dirksen, Bucher, & O'Brien, 2007).

Επίπεδα ορισμένων ορμονών στο αίμα

α) Οι ορμόνες του θυρεοειδούς παίζουν σημαντικό ρόλο τόσο άμεσα (επηρεάζοντας τους μηχανισμούς της θερμορύθμισης) όσο και έμμεσα (επιδρώνοντας στον μεταβολικό ρυθμό) (Dubois, 1936; Silva, 2006). Οι θυρεοειδικές ορμόνες που επηρεάζουν το μεταβολισμό και, εν συνέπεια, τη θερμική ισορροπία, είναι η τριιωδοθυρονίνη, η θυροξίνη και άλλες ιωδοθυρονίνες (π.χ., rT3 και 3,5-T2) (Goglia, 2005; Hulbert, 2000; Lanni, Moreno, Lombardi, de Lange, & Goglia, 2001). Οι ορμόνες αυτές επιπλέον διεγείρουν βιολογικές διεργασίες που σχετίζονται με την μεταφορά θερμότητας μέσα στους ιστούς και αυξάνουν την κατανάλωση οξυγόνου και την παραγωγή θερμότητας σε μεταβολικά ενεργούς ιστούς όπως στους σκελετικούς μύες, την καρδιά, τους νεφρούς και το ήπαρ (Goglia, Moreno, & Lanni, 1999; Soboll, 1993). Αυτό οδηγεί σε μιτοχονδριακή βιογένεση, η οποία με τη σειρά της επηρεάζει τον πολλαπλασιασμό, τη διαφοροποίηση, την ωρίμανση και τον θάνατο των κυττάρων (Duchen, 2004), αλλά και την αύξηση της σύνθεσης των μη συζευγμένων πρωτεϊνών της έσω μιτοχονδριακής μεμβράνης (Carrillo & Flouris, 2011; Flouris et al., 2017; Sakellariou et al., 2016; Vander et al., 2001). Οι πρωτεΐνες αυτές μειώνουν την παραγόμενη ποσότητα του ATP και αυξάνουν την ποσότητα της θερμότητας που παράγεται κατά την οξείδωση των ενεργειακών μορίων (Valente et al., 2015). Τα υπέρμετρα επίπεδα των θυρεοειδικών

ορμονών για μεγάλο χρονικό διάστημα, όπως σε άτομα με υπερθυρεοειδισμό, προκαλούν πλήθος δευτερευουσών θερμοδογόνων επιδράσεων, όπως οι αυξημένες μεταβολικές ανάγκες και η σημαντική αύξηση της πείνας και της πρόσληψης τροφής. Ο υπερθυρεοειδισμός συνήθως προκαλεί αύξηση του μεταβολικού ρυθμού 45% πάνω από το φυσιολογικό, οδηγώντας σε αύξηση της παραγόμενης θερμότητας η οποία έχει σημαντικές επιπτώσεις στη θερμική ισορροπία. Σε υποθυρεοειδικές καταστάσεις ο μεταβολικός ρυθμός είναι συνήθως 25% κάτω από το φυσιολογικό, ενώ σε ολική έλλειψη θυροξίνης η μείωση αυτή μπορεί να φτάσει και το 45%.

β) Η επινεφρίνη είναι μια ορμόνη με έντονη θερμοδογόνο δράση η οποία οφείλεται στη διέγερση του καταβολισμού των τριγλυκεριδίων και του γλυκογόνου, αφού η διάσπαση της ATP και η απελευθέρωση ενέργειας και θερμότητας συμβαίνει τόσο κατά την αποδόμηση όσο και κατά την επακόλουθη ανασύνθεση αυτών των μορίων. Επομένως, όταν διεγείρεται η έκκριση της επινεφρίνης από τον επινεφριδιακό μυελό, ο μεταβολικός ρυθμός αυξάνει. Έτσι εξηγείται μερικώς η αυξημένη παραγωγή θερμότητας που συνοδεύει την συναισθηματική ένταση. Συμπαθητικομιμητικά μέσα όπως η επινεφρίνη, η καφεΐνη, η θεοφυλλίνη, καθώς και οι κατεχολαμίνες αυξάνουν τον μεταβολικό ρυθμό ηρεμίας στους ανθρώπους με επακόλουθες συνέπειες για τη θερμική ισορροπία (Jansky, 1995).

Λήψη τροφής

Η λήψη τροφής αυξάνει τον μεταβολικό ρυθμό ηρεμίας κατά 10-20% για λίγες ώρες μετά το γεύμα. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται τροφική θερμογένεση και το ποσοστό αύξησης ποικίλει ανάλογα με τη σύνθεση του γεύματος και είναι εντονότερο με την κατανάλωση πρωτεϊνών απ' ό, τι με την πρόσληψη λίπους και υδατανθράκων (Miles et al., 1993; Tataranni, Larson, Snitker, & Ravussin, 1995). Συγκεκριμένα η κατανάλωση

υδατανθράκων και λίπους προκαλούν αύξηση του μεταβολικού ρυθμού κατά 4-5% που διαρκεί περίπου μια ώρα μετά τη λήψη τους, ενώ η κατανάλωση πρωτεϊνών προκαλεί αύξηση >30% που είναι εμφανής για αρκετές ώρες (Miles et al., 1993; Tataranni et al., 1995). Προκειμένου να αποκλειστούν οι επιδράσεις της τροφικής θερμογένεσης, η αξιολόγηση του βασικού μεταβολισμού ηρεμίας γίνεται αρκετές ώρες μετά τη λήψη τροφής. Η αυξημένη μεταβολική απαίτηση των εύπεπτων τροφών συνδέεται με αύξηση της θερμοκρασίας του πυρήνα του σώματος κατά περίπου 0.01°C για κάθε 159 kcal ενέργειας τροφής (Krauchi & Wirz-Justice, 1994) ή 10-18% του ενεργειακού περιεχομένου της τροφής (Miles et al., 1993; Tataranni et al., 1995). Αν είναι αρκετά έντονη, η αύξηση της θερμοκρασίας του πυρήνα του σώματος μπορεί να προκαλέσει με τη σειρά της αύξηση της περιφερικής αιματικής ροής του δέρματος και της θερμοκρασίας του (Hirai, Tanabe, & Shido, 1991). Αντίθετα, η νηστεία μειώνει σημαντικά τη θερμοκρασία του πυρήνα σώματος και του δέρματος (Carrillo & Flouris, 2011; Krauchi & Wirz-Justice, 1994). Το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας που παράγεται κατά την λήψη τροφής είναι δευτερογενούς προέλευσης καθώς προέρχεται από την επεξεργασία της τροφής στο ήπαρ και δεν οφείλεται στην ενέργεια που καταναλώνει το γαστρεντερικό σύστημα για την πέψη και την απορρόφηση του περιεχομένου του (Miles et al., 1993; Tataranni et al., 1995). Κάποιες μελέτες αναφέρουν ότι η θερμική επίδραση των τροφών μειώνεται στους ηλικιωμένους (McDonald & Horwitz, 1999), ενώ άλλες δεν αναφέρουν καμία επίδραση της ηλικίας (Elia, Ritz, & Stubbs, 2000). Τέλος, η θερμική επίδραση της τροφής μειώνεται σε άτομα με υψηλό ποσοστό λίπους, με χαμηλό επίπεδο φυσικής κατάστασης και συνεπώς με χαμηλή φυσική δραστηριότητα (Poehlman, Melby, & Badylak, 1991; Tataranni et al., 1995; Witt, Snook, O'Dorisio, Zivony, & Malarkey, 1993).

Μυϊκή δραστηριότητα

Η μυϊκή δραστηριότητα αυξάνει δραστικά το μεταβολικό ρυθμό με πολύ έντονες συνέπειες στη θερμική ισορροπία (Flouris & Schlader, 2015; G. P. Kenny & A. D. Flouris, 2014a). Αυτό συμβαίνει γιατί οι μύες είναι η κύρια πηγή παραγωγής θερμότητας ακόμη και κατά τη διάρκεια άσκησης εξαιρετικά χαμηλής έντασης, ενώ κατά τη διάρκεια άσκησης υψηλής έντασης η παραγωγή θερμότητας αυξάνεται κατά 90% (G. P. Kenny & A. D. Flouris, 2014a). Μένοντας κάποιος ξύπνιος σε ύπτια θέση και χωρίς καμία σωματική δραστηριότητα, παρουσιάζει αύξηση της θερμοκρασίας του πυρήνα σώματος από 0.06°C σε 0.31°C (Barrett, Lack, & Morris, 1993). Αλλάζοντας τη στάση σώματος από ύπτια σε όρθια θέση, η θερμοκρασία του πυρήνα σώματος ενός ατόμου αυξάνεται κατά 0.1-0.5°C (Barrett et al., 1993). Ακόμη και μια αλλαγή από ύπτια σε ημι-ύπτια θέση αυξάνει την θερμοκρασία του πυρήνα σώματος (Aizawa & Cabanac, 2002). Ένα υγιές, αλλά με καθιστικό τρόπο ζωής άτομο, μπορεί να αυξήσει τον μεταβολικό του ρυθμό σε 800W (σε αντίθεση με τα 80W κατά την ηρεμία) εκτελώντας μέτριας έντασης άσκηση ενώ ένας προπονημένος αθλητής σε ≥ 1400 W (C. B. Wenger, 1997). Λόγω του υψηλού μεταβολικού τους ρυθμού, οι μύες που ασκούνται μπορεί να είναι κατά 1-2°C πιο θερμοί από ό, τι η θερμοκρασία του πυρήνα σώματος (Bar-Or, 1998). Η αύξηση της θερμοκρασίας του μυός δεν είναι συνάρτηση της απόλυτης έντασης της άσκησης αλλά των απαιτήσεων της σε οξυγόνο δηλαδή ως ποσοστό της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου του ατόμου (Bar-Or, 1998). Οι αλλαγές στη μυϊκή δραστηριότητα ευθύνονται για την τροποποίηση του μεταβολικού ρυθμού στη διάρκεια του ύπνου (μειωμένη μυϊκή συστολή), κατά την έκθεση σε χαμηλή περιβαλλοντική θερμοκρασία (αυξημένη μυϊκή δραστηριότητα και ρίγος) και την έντονη συναισθηματική κατάσταση. Συμπερασματικά η συνολική ενεργειακή δαπάνη

ενός ατόμου ποικίλει ανάλογα με τη φυσική του δραστηριότητα και συγκεκριμένα με τις απαιτήσεις αυτής σε οξυγόνο (Van Someren et al., 2002).

Περιβαλλοντική θερμοκρασία

Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες επηρεάζουν σημαντικά το μεταβολικό ρυθμό ηρεμίας. Ο μεταβολισμός των ανθρώπων που ζουν σε τροπικά κλίματα είναι κατά μέσο όρο 5-20% υψηλότερος από αυτό των κατοίκων πιο εύκρατων περιοχών (McArdle, Katch, & Katch, 2001). Επίσης, η άσκηση που εκτελείται σε θερμό περιβάλλον θέτει ένα επιπλέον μεταβολικό φορτίο λόγω της ανάγκης για περιφερική αγγειοδιαστολή, προκαλώντας μείωση της πρόσληψης οξυγόνου κατά 5-10% συγκρινόμενη με την ίδια άσκηση να γίνεται σε θερμικά ουδέτερο περιβάλλον (Flouris & Schlader, 2015). Κατά την έκθεση σε ψυχρό περιβάλλον, ο μεταβολισμός επηρεάζεται σημαντικά από το περιεχόμενο λίπους στον οργανισμό και τη θερμική ποιότητα των ρούχων (G. P. Kenny & A. D. Flouris, 2014a). Κατά την ακραία έκθεση στο κρύο, ο μεταβολισμός ηρεμίας μπορεί να διπλασιαστεί ή και να τριπλασιαστεί επειδή, όπως προαναφέρθηκε, το μυϊκό ρίγος παράγει σημαντικά ποσά θερμότητας προκειμένου να προασπιστεί η θερμική ισορροπία του σώματος (McArdle et al., 2001).

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ. ΘΕΡΜΙΚΟΙ - ΜΗ ΘΕΡΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΤΗΝ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ

Η θερμοκρασία του ανθρώπινου οργανισμού δεν είναι ίδια σε όλα τα σημεία του καθώς ποικίλει σε κάθε του όργανο. Ωστόσο η εσωτερική θερμοκρασία του σώματος σύμφωνα με την αρχή της θερμικής ισορροπίας διατηρείται σε σχεδόν σταθερά επίπεδα περίπου

στους 37°C προκειμένου να εξασφαλιστεί το ιδανικό περιβάλλον για τη διεξαγωγή των βιοχημικών του αντιδράσεων. Η θερμοκρασία όμως του σώματος διαταράσσεται εύκολα κυρίως μέσω των αλλαγών στο ρυθμό παραγωγής θερμότητας. Το ανθρώπινο σώμα αντιλαμβάνεται την διαταραχή αυτή από τα επιθυμητά επίπεδα μέσω της δραστηριοποίησης των θερμοϋποδοχέων, οι οποίοι είναι κατανεμημένοι στο δέρμα, στον νωτιαίο μυελό, στον υποθάλαμο, στα διάφορα μέρη του εγκεφάλου και του πυρήνα του σώματος (Nagashima, 2006)

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΩΜΑΤΟΣ

Η θερμοκρασία του ανθρώπινου οργανισμού αντικατοπτρίζει το συνολικό θερμικό του περιεχόμενο όπου διατηρείται σταθερό όταν εξισορροπείται η θερμότητα που προσλαμβάνει το σώμα με την θερμότητα που αποβάλλει. Η σημαντικότητα της σταθερής θερμοκρασίας σώματος έγκειται στη διασφάλιση του κυτταρικού μεταβολισμού. Η λειτουργία των κυττάρων επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας ως εξής: η αύξηση της θερμοκρασίας επιταχύνει τις χημικές αντιδράσεις που διεξάγονται στα κύτταρα, ενώ η μείωση τις επιβραδύνει. Μια μέτρια αύξηση της θερμοκρασίας σώματος προκαλεί δυσλειτουργία των νευρικών κυττάρων και μη αντιστρεπτή αναδιάταξη της δομής των πρωτεϊνών. Ο ανθρώπινος οργανισμός είναι πιο ευαίσθητος στην αύξηση της θερμοκρασίας πάνω από τα φυσιολογικά επίπεδα (υπερθερμία) από ό, τι στην μείωσή της (υποθερμία) και μπορεί να ανεχθεί μια αύξηση της τάξεως 5°C ενώ η αντίστοιχη μείωση είναι στους 10°C. Ο ανθρώπινος οργανισμός υποφέρει από σπασμούς στους 41°C, ενώ το ανώτερο όριο επιβίωσης για τους περισσότερους ανθρώπους είναι 43°C (Vander et al., 2001).

Το θερμικό περιεχόμενο του σώματος δεν είναι ίδιο σε όλα τα σημεία, καθώς η θερμοκρασία ποικίλει σε κάθε όργανό του. Από άποψη θερμορύθμισης, το ανθρώπινο σώμα θερμικά διαχωρίζεται σε ένα θερμό εσωτερικό πυρήνα και ένα εξωτερικό κέλυφος (Aschoff, 1956), όπου η μέση θερμοκρασία σώματος (T_b) προσδιορίζεται από αυτή του πυρήνα (T_c) και του κελύφους (T_{sk}) σε συνάρτηση με την θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος. Σε ένα ζεστό περιβάλλον, η θερμοκρασία σώματος ορίζεται ως εξής: $T_b = 0.9 * T_c + 0.1 * T_{sk}$ ενώ σε ένα κρύο περιβάλλον $T_b = 0.65 * T_c + 0.35 * T_{sk}$. Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι κατά την έκθεση σε ένα ζεστό περιβάλλον το 90% της αλλαγής του θερμικού περιεχομένου του σώματος αντικατοπτρίζεται από τις αλλαγές της θερμοκρασίας του πυρήνα και το 10% από τις αλλαγές της θερμοκρασίας του κελύφους. Ενώ κατά την έκθεση σε ένα κρύο περιβάλλον τα αντίστοιχα ποσά που αντικατοπτρίζονται από τις αλλαγές της θερμοκρασίας του πυρήνα και του κελύφους είναι 65% και 35% αντίστοιχα (A. Gagge, Fobelets, & Berglund, 1986). Σε συμφωνία με την παραπάνω αντίληψη είναι η έρευνα του Jay και των συνεργατών του που αναφέρει ότι το 40-50% των αλλαγών του θερμικού περιεχομένου του σώματος κατά την άσκηση εμφανίζεται στον ενεργό μυϊκό ιστό (Jay et al., 2007).

Θερμοκρασία πυρήνα

Οι θερμοκρασίες στον εγκέφαλο, στον θώρακα, στα ζωτικά όργανα και στους ιστούς αποτελούν την εσωτερική θερμοκρασία του πυρήνα του σώματος. Η θερμοκρασία του πυρήνα διατηρείται εντός στενών ορίων (γύρω στους 37°C) και μεταβάλλεται ελαφρώς επηρεαζόμενη από το μεταβολικό ρυθμό, την παροχή αίματος και τις θερμοκρασίες των γειτονικών ιστών. Οι συνήθεις θερμοκρασίες που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της μέσης θερμοκρασίας του πυρήνα είναι: στον ορθό, στο τύμπανο του αυτιού, στο

στόμα, στο γαστρεντερικό σωλήνα και στον οισοφάγο. Η θερμοκρασία των παραπάνω σημείων είναι διαφορετικές μεταξύ τους εξαιτίας της διαφορετικής ταχύτητας με την οποία ανταποκρίνονται στις αλλαγές της θερμοκρασίας του αίματος και της διαφορετικής ευαισθησίας τους ως προς τις εξωτερικές επιρροές, όπως είναι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και η αναπνοή μέσω του στόματος (M. Sawka & Pandolf, 2001). Σύμφωνα με την άποψη πολλών θερμοφυσιολόγων η θερμοκρασία του οισοφάγου αποτελεί τον πιο αντιπροσωπευτικό δείκτη της θερμοκρασίας του πυρήνα (M. Sawka, C. Wenger, & K. Pandolf, 1996) καθώς ανταποκρίνεται γρήγορα (σταθερά χρόνου περίπου 1 λεπτό) στις αλλαγές της θερμοκρασίας του αίματος (Shiraki, Konda, & Sagawa, 1986).

Θερμοκρασία κελύφους

Η θερμοκρασία κελύφους, σε αντίθεση με τη θερμοκρασία πυρήνα, δεν διατηρείται εντός στενών ορίων με αυτή των άκρων, όπως τα πόδια και τα χέρια να παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις. Για παράδειγμα, σε θερμοκρασία δωματίου 23°C, η θερμοκρασία στο εξωτερικό δέρμα είναι 7-8°C χαμηλότερη από αυτή του πυρήνα (Gilbert, van den Heuvel, Ferguson, & Dawson, 2004). Η θερμοκρασία του πυρήνα επηρεάζει σημαντικά τη θερμοκρασία του κελύφους και κυρίως του εξωτερικού στρώματος του δέρματος. Το πάχος του κελύφους εξαρτάται από τις εξωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες και την ανάγκη του σώματος να διατηρήσει τη θερμότητά του σταθερή. Σε ένα ζεστό περιβάλλον, το πάχος του κελύφους μπορεί να είναι λιγότερο από 1εκ. ενώ σε ένα κρύο περιβάλλον, που το άτομο προσπαθεί να διατηρήσει τη θερμότητά του σταθερή, αυτό μπορεί να επεκταθεί αρκετά εκατοστά κάτω από το δέρμα (C.B. Wenger, 2002). Επειδή το δέρμα αποτελεί το μεσοδιάστημα των ιστών του σώματος και του ατμοσφαιρικού αέρα, αλλαγές στην θερμοκρασία του μπορεί να

προκύπτουν είτε από φυσιολογικές προσαρμογές (δερματική ροή του αίματος, εξάτμιση του ιδρώτα) είτε από αλλαγές στο περιβάλλον (κίνηση του αέρα, θερμοκρασία και ακτινοβολία) (M. Sawka & Pandolf, 2001).

Για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας του κελύφους οι επιστήμονες συνήθως χρησιμοποιούν τη μέση θερμοκρασία δέρματος, που προέρχεται από ένα σύνολο διαφορετικών σημείων (M. Sawka et al., 1996) λαμβάνοντας υπόψη το ποσοστό της συνολικής επιφάνειας σώματος που αντιπροσωπεύει το κάθε μέρος, όπως χέρι, κορμός, πόδι και άλλα (Mitchell & Wyndham, 1969; Ramanathan, 1964). Παλιότερα χρησιμοποιούνταν 12-15 διαφορετικά σημεία του δέρματος για τον υπολογισμό της μέσης θερμοκρασίας του αλλά αργότερα μειώθηκε ο αριθμός αυτός. Ένας από τους πιο αντιπροσωπευτικούς τρόπους υπολογισμού της μέσης θερμοκρασίας δέρματος είναι μέσω της εξίσωσης του Ramanathan (δικέφαλος βραχιόνιος * 0.3 + μείζων θωρακικός * 0.3 + τετρακέφαλος * 0.2 + γαστροκνήμιος * 0.2) (Ramanathan, 1964).

ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΟΥ ΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΣΤΟ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΣΩΜΑ

Θεωρητικά, το θερμικό περιεχόμενο του ανθρώπινου σώματος μπορεί να προσδιοριστεί με τη συνεχή εκτίμηση όλων των συστατικών της εξίσωσης της θερμικής ισορροπίας (A. Gagge & Gonzalez, 1996; Parsons, 2003) :

$$S = M - (\pm W) \pm (R + C + K) - E \quad (1)$$

όπου S είναι ο ρυθμός αποθήκευσης θερμότητας στο σώμα, M είναι ο μεταβολικός ρυθμός (πάντα θετικός), W είναι ο ρυθμός παραγωγής εξωτερικού έργου (θετικός στην ομόκεντρη, αρνητικός στην έκκεντρη άσκηση, και μηδενικός σε ηρεμία), R είναι ο

ρυθμός ανταλλαγής θερμότητας μέσω ακτινοβολίας, C είναι ο ρυθμός ανταλλαγής θερμότητας μέσω μεταφοράς, K είναι ο ρυθμός ανταλλαγής θερμότητας μέσω αγωγής και E είναι ο ρυθμός αποβολής θερμότητας μέσω εξάτμισης. Οι διάφορες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν την ταυτόχρονη μέτρηση: α) του ρυθμού παραγωγής μεταβολικής θερμότητας, και β) του ρυθμού αποβολής της θερμότητας προς το περιβάλλον.

Εκτίμηση του ρυθμού παραγωγής μεταβολικής θερμότητας

Ο ρυθμός παραγωγής θερμότητας προσδιορίζεται αφαιρώντας τον ρυθμό παραγωγής εξωτερικού έργου (W) από τον μεταβολικό ρυθμό (M). Στις εργαστηριακές μελέτες συνήθως το εξωτερικό έργο είναι ελεγχόμενο ή εκτιμάται επακριβώς καθώς η άσκηση εφαρμόζεται σε μηχανήματα με προκαθορισμένη ένταση (όπως το κυκλοεργόμετρο, δαπεδοεργόμετρο). Ενώ ο ρυθμός παραγωγής μεταβολικής θερμότητας μπορεί να προσδιοριστεί μέσω είτε της έμμεσης θερμιδομετρίας είτε του καρδιακού ρυθμού, είτε της κλίμακας υποκειμενικής αίσθησης, είτε των εμπειρικών πινάκων (Kenny & Jay, 2013).

Έμμεση θερμιδομετρία.

Η έμμεση θερμιδομετρία είναι η πιο ακριβής μέθοδος εκτίμησης της μεταβολικής ενεργειακής δαπάνης και συνεπώς της παραγωγής μεταβολικής θερμότητας. Η μεταβολική θερμότητα εκτιμάται από την κατανάλωση οξυγόνου διότι σχεδόν όλη η ενέργεια που είναι διαθέσιμη στο σώμα προέρχεται από τις αντιδράσεις του σώματος που καταναλώνουν οξυγόνο. Η κατανάλωση ενός λίτρου οξυγόνου συνδέεται με την απελευθέρωση 5.05 χιλιοθερμίδων (Kcal), αν ως καύσιμο χρησιμοποιηθούν οι υδατάνθρακες, 4.74 Kcal, αν χρησιμοποιηθεί το λίπος και 4.46 Kcal αν χρησιμοποιηθούν οι πρωτεΐνες. Για το μεταβολισμό μεικτής διατροφής με την

κατανάλωση ενός λίτρου οξυγόνου σχεδόν απελευθερώνονται 4.83 Kcal (McArdle et al., 2001). Το καύσιμο υλικό που χρησιμοποιείται προέρχεται από τον υπολογισμό του αναπνευστικού πηλίκου (είναι η αναλογία του όγκου του διοξειδίου του άνθρακος που παράγεται προς το όγκο του οξυγόνου που καταναλώνεται) και είναι υδατάνθρακες όταν παίρνει την τιμή 1, λίπη όταν παίρνει την τιμή 0,71 και πρωτεΐνες όταν παίρνει τη τιμή 0,80. Επομένως γνωρίζοντας το καύσιμο υλικό που χρησιμοποιείται, υπολογίζεται το ποσό των χιλιοθερμίδων που απελευθερώνονται κάθε στιγμή (Latzka et al., 1998; Nishi, 1981). Τα τρωτά σημεία της παραπάνω μεθόδου είναι: α) η παραγωγή θερμότητας ενώ ξεκινάει αμέσως μετά την έναρξη της άσκησης ωστόσο η κατανάλωση οξυγόνου αυξάνεται ραγδαία με σταθερά χρόνο από 10 έως 30 δευτερόλεπτα και β) η ύπαρξη κενού χώρου στις ανώτερες αναπνευστικές οδούς, δηλαδή η συγκέντρωση αερίων στις κυψελίδες (West, 200).

Εκτίμηση μεταβολικού ρυθμού μέσω καρδιακού ρυθμού

Η σχέση ανάμεσα στον μεταβολικό ρυθμό και στον καρδιακό ρυθμό ποικίλλει με μη γραμμικό τρόπο και είναι διαφορετική για κάθε άτομο (Taylor et al., 1984). Ο μεταβολικός ρυθμός προσδιορίζεται μέσω της διεξαγωγής μιας βαθμονομημένης δοκιμασίας που ο δοκιμαζόμενος κάνει ποδήλατο σε ένα όρθιο κυκλοεργόμετρο με 50 περιστροφές ανά λεπτό και φορτίο που αυξάνεται από 0 στα 100W με 3 λεπτά διάλειμμα στα 25W. Οι τιμές παραγωγής μεταβολικού ρυθμού με αυτή την μέθοδο συσχετίζονται υψηλά με τις τιμές που δίνονται μέσω της έμμεσης θερμιδομετρίας (M. R. Johnson, Ferkol, & Shepherd, 2006; Leonard, Katzmarzyk, Stephen, & Ross, 1995; Sarton-Miller, Holman, & Spielvogel, 2003; Webb, 1995). Ο Rennie και οι συνεργάτες του (2001) επινόησαν έναν απλούστερο τρόπο όπου ο μεταβολικός ρυθμός προβλέπεται μέσω της ηλικίας, του βάρους, του ποσοστού σωματικού λίπους, των καρδιακών

παλμών σε καθιστή θέση και του καρδιακού ρυθμού κατά την άσκηση (Rennie, Hennings, Mitchell, & Wareham, 2001). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται μόνο στις επιδημιολογικές μελέτες.

Εκτίμηση του μεταβολικού ρυθμού μέσω της κλίμακας υποκειμενικής αίσθησης της κόπωσης.

Μια κατά προσέγγιση εκτίμηση του μεταβολικού ρυθμού μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω των απαντήσεων της κλίμακας υποκειμενικής αίσθησης της κόπωσης (Rating of Perceived Exertion) (RPE) (Borg, 1982). Το αποτέλεσμα της κλίμακας για ένα συγκεκριμένο μεταβολικό ρυθμό ποικίλει, και εξαρτάται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος και το ίδιο το άτομο (Borg, 1982).

Εκτίμηση του μεταβολικού ρυθμού μέσω εμπειρικών πινάκων

Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν πίνακες για την εκτίμηση του μεταβολικού ρυθμού βασιζόμενοι στις εκτιμήσεις του πειραματιστή (ISO., 2004). Οι πίνακες αυτοί παρέχουν μια γενική περιγραφή του έργου (ξεκούραστος, χαμηλός, μέτριος, υψηλός) ή της σωματικής δραστηριότητας (ξαπλωμένος, όρθιος, περπατώντας με συγκεκριμένο ρυθμό και κλίση).

Η χρήση των εμπειρικών πινάκων και της κλίμακας υποκειμενικής αίσθησης της κόπωσης δεν συνίσταται για τον προσδιορισμό του μεταβολικού ρυθμού παρά μόνο για την εκτίμηση της θερμικής άνεσης σε άτομα με καθιστικό τρόπο ζωής και σε ήπιες περιβαλλοντικές συνθήκες (ISO., 1994).

Εκτίμηση του ρυθμού αποβολής της θερμότητας προς το περιβάλλον

Η απώλεια θερμότητας ιδιαίτερα σε συνθήκες έντονου θερμικού φορτίου όπως κατά την άσκηση ή την έκθεση σε θερμό περιβάλλον, είναι ιδιαίτερης σημαντικότητας και

επιτυγχάνεται μέσω διάφορων μηχανισμών όπως της μεταφοράς, της εξάτμισης του ιδρώτα και άλλων. Η εκτίμηση της απώλειας θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα γίνεται μέσω είτε της άμεσης θερμιδομετρίας είτε της θερμιδομετρίας ροής είτε της θερμιδομετρίας «gradient layer».

Άμεση θερμιδομετρία

Η άμεση θερμιδομετρία είναι η πιο ακριβής μέθοδος εκτίμησης της απώλειας θερμότητας προς το περιβάλλον. Στα τέλη του 1700, ο Crawford στην Αγγλία και οι Lavoisier και Laplace στην Γαλλία, κατασκεύασαν τα πρώτα θερμιδόμετρα μετρώντας την θερμότητα που εκπέμπεται από ένα ζώο (Blaxter, 1978). Το πρώτο θερμιδόμετρο που μέτρησε την θερμότητα που αποβάλλεται από τον άνθρωπο σε κατάσταση ηρεμίας ήταν το θερμιδόμετρο «Atwater-Rosa» που κατασκευάστηκε το 1890 (Carpenter, 1994). Σήμερα η ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον μπορεί άμεσα να εκτιμηθεί μέσω ενός καλά μονωμένου θαλάμου όπου επιτρέπεται στη θερμότητα να διαφύγει μόνο στον αέρα ή στο νερό που κυλάει μέσα στο θάλαμο. Από την ακριβή μέτρηση της ροής του νερού και του αέρα καθώς επίσης και των θερμοκρασιών τους μπορεί να υπολογιστεί η απώλεια θερμότητας του ατόμου μέσω της μεταφοράς, της αγωγής και της ακτινοβολίας, ενώ από την εκτίμηση της υγρασίας του αέρα που εισέρχεται και φεύγει από τον θάλαμο μπορεί να προσδιοριστεί η απώλεια θερμότητας μέσω εξάτμισης.

Η άμεση θερμομέτρηση είναι μια δαπανηρή μέθοδος και έχει περιορισμένες δυνατότητες εφαρμογής δεδομένου ότι δεν μεταφέρεται ο θερμιδομετρικός θάλαμος και δεν μπορεί να γίνει μελέτη πολλών σωματικών δραστηριοτήτων λόγω του περιορισμένου χώρου. Επομένως απαιτείται η εφαρμογή άλλων μεθόδων για την εκτίμηση της αποβολής θερμότητας από το σώμα. Οι πιο συνήθεις μέθοδοι, κυρίως

κατά τη διάρκεια σωματικών δραστηριοτήτων, είναι η θερμιδομετρία «ροής» και η θερμιδομετρία «gradient layer» (Kenny & Jay, 2013).

Θερμιδομετρία ροής

Τα θερμιδόμετρα ροής χρησιμοποιούνται ευρέως για να μελετήσουν την απώλεια θερμότητας ως συνάρτηση της διατροφής και της εναπόθεσης λίπους (Daanen, Racinais, & Periard, 2018; Dauncey, 1979; Dauncey & Bingham, 1983; Garrow, Murgatroyd, Toft, & Warwick, 1977; Kenny & Jay, 2013; Ravussin & Bogardus, 1982; Ravussin, Burnand, Schutz, & Jequier, 1982; Webster, Welsh, Pacy, & Garrow, 1986). Ο σχεδιασμός θερμιδόμετρων ροής διασφαλίζει ότι η θερμότητα που παράγεται στο σώμα απομακρύνεται είτε μέσω ενός ρεύματος αέρος είτε μέσω του νερού που ρέει διαμέσου σωλήνων σε ένα μονωμένο θάλαμο. Οι δοκιμαζόμενοι είναι συνήθως απομονωμένοι από το εξωτερικό περιβάλλον και η θερμοκρασία στο εσωτερικό του θαλάμου είναι αυστηρά ελεγχόμενη. Το πιο πρόσφατο θερμιδόμετρο ροής ολόκληρου σώματος είναι το τροποποιημένο θερμιδόμετρο του Snellen, που βρίσκεται στο πανεπιστήμιο της Οτάβα στην πόλη Οντάριο του Καναδά (Reardon et al., 2006; Snellen, Chang, & Smith, 1983). Το παραπάνω θερμιδόμετρο παρέχει ± 2.3 W ακρίβεια στο προσδιορισμό του ρυθμού απώλειας θερμότητας από όλο το σώμα με μικρό χρόνο αντίδρασης και επιτρέπει τη λεπτό προς λεπτό εκτίμηση της θερμικής απώλειας σε ένα ευρύ φάσμα από άποψη εντάσεως σωματικών δραστηριοτήτων και περιβαλλοντικών συνθηκών (Reardon et al., 2006).

Θερμιδομετρία «gradient layer»

Μια διαφορετική προσέγγιση άμεσης θερμιδομετρίας εφαρμόζεται στο θερμιδόμετρο «gradient layer» καθώς εκτιμάται η καθαρή απώλεια θερμότητας προς το περιβάλλον. Το είδος αυτού του θερμιδόμετρου περιγράφεται για πρώτη φορά από τους Benzinger

και Kitzinger το 1949 (Benzinger, 1969) και υιοθετείται αργότερα τη δεκαετία του 1970 από τον Spinnler (Saltin & Hermansen, 1966). Μετράει την διαφορά στην ηλεκτρική αντίσταση ενός υλικού με ομοιόμορφο πάχος και γνωστής αγωγιμότητας. Δεδομένου ότι η διαφορά στην αντίσταση εξαρτάται από τη διαφορά θερμοκρασίας και την απώλεια θερμότητας. Το θερμιδόμετρο «gradient layer» χρησιμοποιήθηκε ευρέως τις τελευταίες τρεις δεκαετίες του 20ου αιώνα σε διάφορες κλινικές και θερμορυθμιστικές μελέτες (Chappuis, Pittet, & Jequier, 1976; Jequier, 1975; McManus et al., 1984; Meis et al., 1994).

ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΩΜΑΤΟΣ: ΘΕΡΜΙΚΟΙ – ΜΗ ΘΕΡΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Η ρύθμιση της θερμοκρασίας είναι ένα κλασικό παράδειγμα ενός συστήματος βιολογικού ελέγχου. Η ισορροπία ανάμεσα στον ρυθμό παραγωγής θερμότητας και στον ρυθμό απώλειας προς το περιβάλλον διαταράσσεται συνεχώς είτε λόγω αλλαγών στο μεταβολικό ρυθμό όπως κατά τη σωματική άσκηση είτε λόγω θερμικών αλλαγών στο εξωτερικό περιβάλλον όπως σε συνθήκες καύσωνα, υψηλής υγρασίας και κρύου. Αν και η θερμοκρασία μπορεί να επηρεαστεί από συνειδητές ενέργειες ωστόσο το σύνολο των διαδικασιών που εμπλέκονται στα πλαίσια της ρύθμισής της ελέγχεται μη συνειδητά από το αυτόνομο νευρικό σύστημα (Glotzbach & Heller, 1994). Έχουν αναπτυχθεί διάφορα θερμορυθμιστικά μοντέλα, με σκοπό να περιγράψουν την ρύθμιση της θερμοκρασίας του πυρήνα του σώματος, με επικρατέστερο αυτό του σημείου αναφοράς. Σύμφωνα με την θεωρία αυτή, η θερμοκρασία από την πρόσθια / προοπτική περιοχή του υποθαλάμου (POAH) συγκρίνεται συνεχώς με την επιθυμητή ή του σημείου αναφοράς θερμοκρασία (Hammel, 1968; Hardy, 1961). Η POAH τότε

δημιουργεί ένα σημάδι λάθους που είναι ανάλογο με την διαφορά που υπάρχει ανάμεσα στην θερμοκρασία που εκτιμάται και την επιθυμητή. Στη συνέχεια ενεργοποιούνται απαγωγικά μονοπάτια ειδικών μηχανισμών ελέγχου έτσι ώστε να μειωθεί η διαφορά στη θερμοκρασία που προαναφέρθηκε και να επέλθει θερμική ομοιόσταση (Gilbert et al., 2004). Σύμφωνα με το σημείο αυτό προσδιορίζονται τα κατώφλια για την έναρξη όλων των θερμορυθμιστικών απαντήσεων όπως το σημείο έναρξης της εφίδρωσης, του ρίγους, της αγγειοδιαστολής και της αγγειοσυστολής (C. V. Gisolfi & Wenger, 1984). Σε αντίθεση με την παραπάνω άποψη, άλλοι μελετητές υποστηρίζουν ότι υπάρχει μια ζώνη όριο μέσα στην οποία βρίσκεται η επιθυμητή θερμοκρασία. Η ρύθμιση της ζώνης αυτής επιτυγχάνεται κυρίως από προσαρμογές στον αγγειοκινητικό τόνο (Mekjavic & Eiken, 2006; Mekjavic, Sundberg, & Linnarsson, 1991). Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή όταν οι προσαρμογές δεν είναι ικανές να διατηρήσουν τη θερμοκρασία του πυρήνα εντός της ζώνης, τότε δραστηριοποιούνται επιπρόσθετα οι μηχανισμοί εξοικονόμησης (ρίγος) και της αποβολής θερμότητας (εφίδρωση). Κεντρικό ρόλο σε όλα τα παραπάνω μοντέλα αποτελεί η αποδοχή της άποψης ότι η POAH είναι ο κύριος ρυθμιστής της θερμοκρασίας του πυρήνα του σώματος, αν και ο ακριβής μηχανισμός με τον οποίο ελέγχει τη θερμοκρασία του σώματος δεν είναι σαφής. Ο υποθάλαμος θεωρείται ο θερμοστάτης του ανθρώπινου σώματος (Benzinger, 1969; Hammel, 1968; Hardy, 1961). Η θερμοκρασία στην οποία ρυθμίζεται ο θερμοστάτης επηρεάζεται από φυσιολογικούς και παθολογικούς παράγοντες που είναι είτε θερμικά είτε μη θερμικά επηρεαζόμενοι. Για παράδειγμα ο πυρετός ανυψώνει την θερμοκρασία του πυρήνα στην ηρεμία, ενώ ο εγκλιματισμός στη ζέστη τη μειώνει. Επίσης η φάση του εμμηνορροϊκού κύκλου και η ώρα της ημέρας επηρεάζουν τη θερμοκρασία αναφοράς, με χαμηλότερες τιμές να εμφανίζονται τις ημέρες πριν την ωορρηξία και κατά τη διάρκεια του ύπνου αντίστοιχα.

Θερμικά επηρεαζόμενοι παράγοντες

Η αυτόνομη και η συμπεριφοριστική ρύθμιση της θερμοκρασίας του σώματος επιτυγχάνεται μέσω της θερμικής πληροφόρησης που παρέχεται από τους θερμοϋποδοχείς. Οι θερμοϋποδοχείς διακρίνονται σε περιφερειακούς και κεντρικούς. Οι μεν πρώτοι είναι κατανεμημένοι στο δέρμα, οι μεν δεύτεροι βρίσκονται στον υποθάλαμο, στο κεντρικό νευρικό σύστημα και σε άλλες περιοχές του εγκεφάλου και του πυρήνα του σώματος (Nagashima, 2006). Μόλις οι θερμοϋποδοχείς (κεντρικοί και περιφερειακοί) ανιχνεύσουν αλλαγή των θερμοκρασιών από τα διάφορα σημεία του σώματος, μεταδίδουν προσαγωγές πληροφορίες στον νωτιαίο μυελό και σε κάθε κατά αύξουσα σειρά ιεραρχικό επίπεδο όπου και επεξεργάζονται. Η ολοκλήρωση των θερμικών πληροφοριών γίνεται στο κεντρικό νευρικό σύστημα, το οποίο ελέγχει το σύστημα αυτό της πολλαπλής πληροφόρησης. Αν και η θερμική ενσωμάτωση των πληροφοριών φαίνεται να εμφανίζεται στον νωτιαίο μυελό, μια ομάδα από νευρώνες στην ΡΟΑΗ αποτελούν τον κύριο συντονιστή αυτής της ενσωμάτωσης (Boulant, 2000). Η σημαντικότητα της ΡΟΑΗ στην θερμορυθμιστική ενσωμάτωση μπορεί να αποδειχτεί από πειράματα σε θηλαστικά όπου προκαλώντας βλάβη στη συγκεκριμένη περιοχή επηρεάζονται οι θερμορυθμιστικές απαντήσεις ως ανταπόκριση των αλλαγών του περιβάλλοντος (Carlisle, 1969). Η ΡΟΑΗ λαμβάνει προσαγωγές πληροφοριών όχι μόνο από θερμοϋποδοχείς του δέρματος και του νωτιαίου μυελού αλλά και από θερμοευαίσθητους νευρώνες της ίδιας της περιοχής (Carlisle, 1969; Refinetti & Carlisle, 1986). Μετά την ολοκλήρωση της συγκέντρωσης των θερμικών πληροφοριών, το κεντρικό νευρικό σύστημα στέλνει απαγωγά σήματα κυρίως μέσω του αυτόνομου νευρικού συστήματος στα κατάλληλα εκτελεστικά όργανα, όπως σκελετικοί μύες, ιδρωτοποιοί αδένες, για να ξεκινήσει η διαδικασία αποθήκευσης ή απώλειας θερμότητας προκειμένου η θερμοκρασία του σώματος να επανέλθει στις φυσιολογικές

της τιμές. Το κέντρο ολοκλήρωσης του εγκεφάλου δεν στέλνει μόνο απαγωγά σήματα μέσω των νευρικών ινών αλλά παράλληλα προκαλεί την απελευθέρωση διαφόρων ορμονών που μέσω του αίματος φθάνουν σε πάρα πολλά κύτταρα και προκαλούν την αύξηση της παραγόμενης θερμότητας.

Οι θερμοϋποδοχείς διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες: α) τους κρύους υποδοχείς που ανιχνεύουν αλλαγές σε θερμοκρασίες μεταξύ των 20-30°C και β) τους ζεστούς υποδοχείς που ανιχνεύουν αλλαγές σε θερμοκρασίες πάνω από 30°C (Boulant & Bignall, 1973). Μικρές αλλαγές στην θερμοκρασία εντός του εύρους των θερμοκρασιών 30°C - 40°C επιφέρουν ταυτόχρονα αλλαγές τόσο στο φάσμα των κρύων όσο και των θερμών υποδοχέων (Van Someren et al., 2002). Οι κρύοι υποδοχείς είναι τοποθετημένοι σε βάθος $\pm 0.16\text{mm}$ στις απολήξεις των εμμύελων ινών Aδ και αυξάνουν τον ρυθμό πυροδότησής τους, όταν σημειωθεί μείωση της θερμοκρασίας ή χαμηλή θερμοκρασία. Οι ζεστοί υποδοχείς είναι τοποθετημένοι σε βάθος $\pm 0.45\text{ mm}$ από τις απολήξεις των αργών μη μυελικών ινών τύπου C και αυξάνουν τον ρυθμό πυροδότησής τους με την αύξηση της θερμοκρασίας ή την υψηλή θερμοκρασία. Μελέτες που εξέτασαν τους νευρώνες στην προοπτική περιοχή του εγκεφάλου έδειξαν ότι ο αριθμός των νευρώνων που είναι ευαίσθητοι στη ζέστη είναι μεγαλύτερος από αυτόν που είναι ευαίσθητοι στο κρύο (Hori, 1991; Morrison, 1999). Οι ευαίσθητοι στη ζέστη υποδοχείς ξεπερνούν τους ευαίσθητους στο κρύο σε αναλογία 10 προς 3 στα περισσότερα μέρη του σώματος (Guyton, 1991). Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι ευαίσθητοι στη ζέστη νευρώνες έχουν τον κύριο ρόλο στο θερμορυθμιστικό σύστημα.

Δερματικοί θερμοϋποδοχείς

Η θερμοευαισθησία του δέρματος προσδιορίζεται από τις δερματικές νευρικές απολήξεις. Οι πληροφορίες από τις θερμοευαίσθητες ίνες του δέρματος φθάνουν στον

νωτιαίο μυελό μέσω των ραχιαίων γαγγλίων και από εκεί συγκλίνουν στα διάφορα μέρη του εγκεφάλου. Ο βαθμός σύγκλισης εξαρτάται από το σημείο του δέρματος που προέρχεται η θερμική πληροφόρηση (Van Someren et al., 2002). Η μύτη και τα χείλια αποτελούν τις πιο ευαίσθητες περιοχές του σώματος (Heft, Cooper, O'Brien, Hemp, & O'Brien, 1996; Hensel, 1981). Η θερμική διέγερση από μια μικρή περιοχή των άκρων ή του προσώπου προκαλεί δραστηριοποίηση 10 φορές περισσότερων νευρώνων του υποθαλάμου από ότι η ίδια επιφάνεια στον κορμό του σώματος (Martin & Manning, 1971). Τα χέρια και το μέτωπο είναι σχεδόν τόσο ευαίσθητα όσο όλο το σώμα (Hardy & Dubois, 1937). Άλλος παράγοντας που προσδιορίζει την απάντηση στα θερμικά ερεθίσματα είναι η αρχική ή υιοθετούμενη θερμοκρασία του δέρματος. Ένα ζεστό δέρμα μπορεί να ανιχνεύσει ακόμη και μια μικρή αύξηση της θερμοκρασίας σε αντίθεση με το κρύο δέρμα όπου απαιτείται μια μεγάλη μείωση της θερμοκρασίας (Van Someren et al., 2002). Οι δερματικοί θερμοϋποδοχείς δεν μας πληροφορούν μόνο για την αλλαγή της θερμοκρασίας του δέρματος αλλά επίσης μας δίνουν στοιχεία για την κατάσταση υγρασίας του, καθώς αισθητήρες υγρασίας δεν υπάρχουν στο δέρμα.

Θερμοϋποδοχείς στο εσωτερικό του σώματος

Θερμοϋποδοχείς δεν υπάρχουν μόνο στην επιφάνεια του δέρματος αλλά και στο εσωτερικό του σώματος όπου η ανατομία και φυσιολογία τους είναι λιγότερο κατανοητή. Διφορούμενα αποτελέσματα έχουν αναφερθεί σε μελέτες για την ύπαρξη θερμοϋποδοχέων στο αγγειακό σύστημα και τους μύες (Hensel, 1981). Προσαγωγές ίνες από το πνευμονογαστρικό μεταφέρουν πληροφορίες από τα εσωτερικά όργανα σε νευρώνες του πυρήνα - Solitary Tact (Berthoud & Neuhuber, 2000).

Θερμοϋποδοχείς στο κεντρικό νευρικό σύστημα

Θερμοευαίσθητοι νευρώνες έχει αποδειχθεί ότι υπάρχουν σε όλα τα σημεία του νευρικού άξονα από τον νωτιαίο μυελό έως τον εγκεφαλικό φλοιό (Boulant, 1981; Hensel, 1981; Van Someren et al., 2002). Τα δύο τρίτα των θερμοευαίσθητων νευρώνων της POAH απαντούν σε θερμικά ερεθίσματα από το νωτιαίο μυελό και το δέρμα. Έχει βρεθεί ότι ο ρυθμός πυροδότησης των νευρώνων της POAH είναι υψηλός όταν η θερμοκρασία του δέρματος είναι υψηλή ανεξάρτητα από την τοπική θερμοκρασία του εγκεφάλου, αποδεικνύοντας την κύρια επίδραση της θερμοκρασίας του δέρματος πάνω στους θερμοευαίσθητους νευρώνες της POAH (Boulant & Hardy, 1974). Θερμοευαίσθητοι νευρώνες επίσης υπάρχουν: α) στον μεσεγκέφαλο δικτυωτό σχηματισμό συμπεριλαμβανομένου των πυρήνων της ραφής (raphe nuclei) και τον υπομέλανα τόπο (locus coeruleus), β) στον οπίσθιο υποθάλαμο και γ) σε τμήματα του βασικού προσθεγκεφάλου.

Μη θερμικά επηρεαζόμενοι παράγοντες

Αναμφισβήτητα, οι θερμοϋποδοχείς (περιφερειακοί και κεντρικοί) έχουν κυρίαρχο ρόλο στη ρύθμιση της θερμοκρασίας του οργανισμού ωστόσο υπάρχει ένα σύνολο μη θερμικών παραγόντων που παίζουν εξίσου σημαντικό ρόλο (Crandall, Johnson, Kosiba, & Kellogg, 1996; Journeay, Carter, & Kenny, 2006; Kenny et al., 2010; Kenny, Jay, & Journeay, 2007; Shibasaki, Kondo, & Crandall, 2003). Οι μη θερμικοί παράγοντες σχετίζονται με την δραστηριότητα των αισθητήριων υποδοχέων (μεταβολικοί υποδοχείς, ωσμωτικοί υποδοχείς και τασεοϋποδοχείς) και με προσωπικούς ενδογενείς παράγοντες (φυσική κατάσταση, ενυδάτωση, εγκλιματισμό, ηλικία, ασθένειες και άλλους).

Αισθητήριοι υποδοχείς

Οι τασεοϋποδοχείς είναι μικροί ελαστικοί - ευαίσθητοι υποδοχείς που βρίσκονται στον καρωτιδικό κόλπο, στον αορτικό κόλπο, στις κοιλίες και στα πνευμονικά αγγεία και έχουν σημαντική επίδραση στη θερμορυθμιστική δραστηριότητα. Σε ένα θερμικά ουδέτερο περιβάλλον, οι τασεοϋποδοχείς μπορούν να προκαλέσουν αγγειοδιαστολή στα αγγειακά υποστρώματα του δέρματος (Rowell, Wyss, & Brengelmann, 1973). Σε υψηλά επίπεδα υπερθερμίας, η αντανακλαστική δραστηριότητα των τασεοϋποδοχέων μπορεί να επηρεάσει την αντανακλαστική δραστηριότητα των μεταβολικών υποδοχέων για την αύξηση της αιματικής ροής του δέρματος (Binder, Lynn, Gagnon, Kondo, & Kenny, 2012). Επιπλέον η συνδυαστική δραστηριότητα των τασεοϋποδοχέων και των οσμωτικών υποδοχέων προκαλεί μεγαλύτερη μείωση της απώλειας θερμότητας μέσω της αύξησης της αιματικής ροής του δέρματος από ό, τι η κάθε ομάδα υποδοχέων θα προκαλούσε από μόνη της (Lynn, Gagnon, Binder, Boushel, & Kenny, 2012). Επίσης, η χειραγώγηση των τασεοϋποδοχέων μπορεί να αλλάξει το κατώφλι της θερμοκρασίας του πυρήνα, στο οποίο αρχίζει η αιματική ροή να αυξάνει σημαντικά κατά την ξεκούραση και κατά την άσκηση.

Ο ρόλος των τασεοϋποδοχέων στη ρύθμιση της εφίδρωσης είναι λιγότερο αποδεκτός. Κάποιες μελέτες έχουν παρατηρήσει επίδραση των τασεοϋποδοχέων στο ρυθμό εφίδρωσης κατά την παθητική έκθεση στη ζέστη (Dodt, Gunnarsson, Elam, Karlsson, & Wallin, 1995), ενώ κάποιες άλλες όχι (Solack, Brengelmann, & Freund, 1985; Wilson, Cui, & Crandall, 2005). Ο Mack και οι συνεργάτες του (2001) (Mack, Cordero, & Peters, 2001) ανέφεραν ότι οι τασεοϋποδοχείς κατά την διάρκεια της άσκησης μειώνουν την εφίδρωση και ίσως αυτό αποτελεί το κλειδί για την εξασθένηση της εφίδρωσης και της αιματικής ροής του δέρματος κατά τη φάση της αποκατάστασης (Kenny & Gagnon, 2010; Kenny & Journeay, 2010; Wilkins, Minson, & Halliwill, 2004). Πρόσφατες μελέτες αποδεικνύουν ότι ο ρυθμός εφίδρωσης διαμορφώνεται από

την αύξηση της δραστηριότητας των μεταβολικών και ωσμωτικών υποδοχέων και όχι από τη δραστηριότητα των τασεούποδοχέων ανεξάρτητα από το επίπεδο της υπερθερμίας (Kenny et al., 2010).

Οι μεταβολικοί υποδοχείς είναι χημικά ευαίσθητα προσαγωγά σήματα που ανταποκρίνονται στα μεταβολικά προϊόντα των μυών και μπορούν να επηρεάσουν την αγγειακή κυκλοφορία του δέρματος. Ο ρόλος τους έχει μελετηθεί χρησιμοποιώντας ισχαιμικές ισομετρικές ασκήσεις όπως με χειρολαβή. Το είδος αυτό των ασκήσεων ακολουθείται από μια ισχαιμική φάση κατά το πέρας της άσκησης. Λόγω της δραστηριοποίησης των μεταβολικά υποδοχέων ο ρυθμός εφίδρωσης διατηρείται σε υψηλά επίπεδα ενώ μειώνεται η δερματική αγγειακή αγωγιμότητα συγκρινόμενη με τις αντίστοιχες τιμές κατά τη διάρκεια μέτριας παθητικής θερμικής καταπόνησης (Binder et al., 2012; Kondo, Yanagimoto, Nishiyasu, & Crandall, 2003; Shibasaki et al., 2003). Το είδος αυτής της απάντησης παραμένει ανεξάρτητο από το επίπεδο υπερθερμίας (Binder et al., 2012).

Προσωπικοί ενδογενείς παράγοντες

Στους προσωπικούς ενδογενείς παράγοντες σημαντικό ρόλο παίζει η αφυδάτωση. Η αφυδάτωση συνδέεται με μείωση του όγκου του πλάσματος (υποογκαιμία) οδηγώντας σε αύξηση της ωσμωτικότητάς του (υπερωσμωτικότητα). Έχει αποδειχτεί ότι η υποογκαιμία και η υπερωσμωτικότητα του πλάσματος επηρεάζουν αρνητικά την προσαγωγό θερμική δραστηριότητα που διεγείρουν τους περιφερειακούς τασεούποδοχείς και τους κεντρικούς υποδοχείς της ωσμωτικότητας. Μελέτες σε ζώα αποδεικνύουν ότι ενεργοποιώντας ωσμωτικά ευαίσθητους νευρώνες της POAH με υπερτονικό διάλυμα μπορεί να αυξηθεί η θερμοκρασία του πυρήνα τόσο κατά την ξεκούραση όσο και κατά την άσκηση στη ζέστη (Dauncey & Bingham, 1983). Στους

ανθρώπους, η υπερωσμωτικότητα του πλάσματος αδρανοποιεί τους μηχανισμούς απώλειας θερμότητας δηλαδή της εφίδρωσης και της δερματικής αιματικής ροής (Garrow et al., 1977; Lynn et al., 2012; Takamata, Nagashima, Nose, & Morimoto, 1997).

Επιπρόσθετα, η ηλικία, οι χρόνιες ασθένειες, το επίπεδο φυσικής κατάστασης και ο εγκλιματισμός αποτελούν ένα σύνολο ενδογενών παραγόντων που μπορούν να επηρεάσουν τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του σώματος. Οι παραπάνω παράγοντες, πλην του εγκλιματισμού, μπορούν να: α) αυξομειώσουν τη θερμοευαισθησία του σώματος με αποτέλεσμα να εμφανίζεται μικρότερη ή μεγαλύτερη αλλαγή στη θερμική του κατάσταση εξαιτίας της θερμικής απώλειας σε μια δεδομένη αλλαγή της μέσης θερμοκρασίας του σώματος, β) να αυξομειώσουν τη μέγιστη ικανότητα για απώλεια θερμότητας και γ) να μετατοπίσουν το σημείο έναρξης των μηχανισμών διάχυσης της θερμότητας προς τα δεξιά ή αριστερά με αποτέλεσμα η δραστηριοποίηση των μηχανισμών απώλειας θερμότητας να αρχίζει σε υψηλότερη ή χαμηλότερη θερμοκρασία σώματος. Σε καταστάσεις εγκλιματισμού στη ζέστη παρατηρείται: α) αύξηση του ρυθμού θερμικής απώλειας όλου του σώματος και β) αύξηση της θερμοευαισθησίας του σώματος. Οι αλλαγές που προκαλούνται εξαιτίας του εγκλιματισμού στη ζέστη προέρχονται από προσαρμογές που γίνονται τόσο σε κεντρικό όσο και σε περιφερειακό επίπεδο (C. V. Gisolfi & Wenger, 1984; Hammel, 1968). Όλοι οι παραπάνω παράγοντες ο καθένας με την σημαντικότητά του και τη συμβολή του μπορούν να παίζουν καθοριστικό ρόλο στη ρύθμιση της θερμοκρασίας του σώματος.

ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΕΣ ΑΠΟΚΡΙΣΕΙΣ ΤΟΥ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΚΘΕΣΗ ΣΕ ΑΥΞΗΜΕΝΟΥΣ ΘΕΡΜΙΚΑ ΣΤΡΕΣΟΓΟΝΟΥΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Οι ζωντανοί οργανισμοί όπως ο άνθρωπος αποτελούνται από κύτταρα τα οποία λειτουργούν βέλτιστα σε συγκεκριμένες σχετικά σταθερές συνθήκες (όπως θερμοκρασίας, γλυκόζης αίματος, pH αίματος κ.α.) (Cannon, 1929). Ωστόσο η εσωτερική θερμοκρασία του σώματος μεταβάλλεται εξαιτίας είτε ενδογενών (άσκηση) είτε εξωγενών (έκθεση σε θερμό ή κρύο περιβάλλον) παραγόντων. Κατά την έκθεση του οργανισμού στις παραπάνω συνθήκες διαταράσσεται το θερμικό ισοζύγιο του σώματος και συγκεκριμένα προκαλείται αύξηση της θερμότητας που αποθηκεύεται στο σώμα και κατά επέκταση αύξηση της θερμοκρασίας του πυρήνα και των διαφόρων ιστών του σώματος. Μόλις ο οργανισμός αντιληφθεί τη διαταραχή του θερμικού του περιεχομένου δραστηριοποιεί ένα σύνολο φυσιολογικών και συμπεριφοριστικών αντιδράσεων που είναι υπό τον έλεγχο του ενδοκρινικού, νευρικού και καρδιαγγειακού συστήματος. Χαρακτηριστικά παραδείγματα φυσιολογικής απόκρισης που σχετίζονται με τη διαταραχή της θερμοκρασίας του ανθρώπινου οργανισμού, αποτελούν η μεταφορά αίματος από τον πυρήνα του σώματος προς τους περιφερειακούς ιστούς (μύες, δέρμα και υποδόριο ιστό), η δερματική αγγειοδιαστολή/αγγειοσυστολή και η εφίδρωση (Nagashima, 2006), ενώ συμπεριφοριστικής απόκρισης αποτελούν η αλλαγή της στάσης του σώματος, η αφαίρεση των ρούχων, η κατανάλωση δροσερών ροφημάτων κ.α. (Flouris & Piantoni, 2015; Van Someren et al., 2002). Αν δεν δραστηριοποιηθούν άμεσα και αποτελεσματικά οι μηχανισμοί απώλειας θερμότητας, η θερμοκρασία του πυρήνα θα φθάσει σε επικίνδυνα επίπεδα βάζοντας σε κίνδυνο την ίδια τη ζωή του ανθρώπου.

ΣΤΡΕΣΟΓΟΝΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΑΥΞΗΜΕΝΟΥ ΘΕΡΜΙΚΑ ΦΟΡΤΙΟΥ

Το φυσιολογικό ή βιολογικό στρες είναι η απάντηση του οργανισμού σε ένα απειλητικό ερέθισμα, προκαλώντας σωματικές, χημικές και ψυχικές αντιδράσεις στο εσωτερικό του ανθρώπινου οργανισμού διακυβεύοντας πολλές φορές την υγεία του (Jeronimus, Riese, Sanderman, & Ormel, 2014). Το σύνολο των ερεθισμάτων που διαταράσσουν το θερμικό περιεχόμενο του σώματος ονομάζονται θερμικά στρεσογόνοι παράγοντες και είναι αυξημένου και μειωμένου θερμικά φορτίου. Οι στρεσογόνοι παράγοντες αυξημένου θερμικά φορτίου είναι η άσκηση και η παθητική έκθεση σε θερμό περιβάλλον.

Παθητική έκθεση σε θερμό περιβάλλον

Ο ανθρώπινος οργανισμός κατά την έκθεσή του σε περιβαλλοντικές συνθήκες με αυξημένη θερμοκρασία δέχεται θερμική επιβάρυνση δηλαδή θερμότητα από αυτό μέσω του μηχανισμού της μεταφοράς. Από τα πρώτα λεπτά έκθεσης προκαλείται ταχύτατη προσθήκη θερμότητας στο ανθρώπινο σώμα που οδηγεί σε αύξηση του θερμικού περιεχομένου του σώματος καθώς οι μηχανισμοί απώλειας θερμότητας ενεργοποιούνται με κάποια χρονική καθυστέρηση (6-8). Το μέγεθος της θερμότητας που αποθηκεύεται στο σώμα και κατά επέκταση της μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας του καθορίζεται από την απόλυτη διαφορά ανάμεσα στον ρυθμό αποθήκευσης και απώλειας θερμότητας από το σώμα καθώς και τον χρόνο που απαιτείται για να ισορροπήσουν οι δύο αυτοί μηχανισμοί. Ο ρυθμός αποθήκευσης θερμότητας επηρεάζεται από τη θερμική επιβάρυνση που δέχεται το σώμα από το εξωτερικό περιβάλλον, η οποία εκτιμάται μέσω της θερμοκρασίας του αέρα, της κίνησής του, της σχετικής υγρασίας του και της ακτινοβολούμενης θερμότητάς του. Ο ρυθμός απώλειας

θερμότητας επηρεάζεται από παραμέτρους που σχετίζονται με το ίδιο το άτομο, όπως η ικανότητα ανοχής του στη ζέστη, η θερμική του ευαισθησία και γενικότερα με τη λειτουργία των μηχανισμών απώλειας θερμότητας από το σώμα. Ο κύριος μηχανισμός απώλειας θερμότητας από το σώμα είναι η εξάτμιση του ιδρώτα, καθώς η αύξηση της δερματικής αιματικής ροής χρησιμεύει μόνο στο να μειωθεί η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στην επιφάνεια του δέρματος και το περιβάλλον (9). Όταν δεν υπάρχουν περιοριστικοί παράγοντες, όπως είναι η υψηλή υγρασία του περιβάλλοντος, η ενδυμασία και άλλοι, τότε στο σώμα θα επανέλθει θερμική ισορροπία. Η θερμική ισορροπία θα διαρκέσει για όση ώρα η παραγωγή ιδρώτα δεν διακυβεύεται από την αφυδάτωση (M. N. Sawka & Coyle, 1999). Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι υπάρχει ένα σύνολο παραγόντων όπως η ηλικία, οι ασθένειες (χρόνιες ή μη) και άλλοι που προκαλούν δυσλειτουργία στη ικανότητα του σώματος να διαχέει την θερμότητα προς το περιβάλλον προκαλώντας μια παρατεταμένη θερμική διαταραχή (Stapleton et al., 2014).

Άσκηση

Κάθε μορφή άσκησης χαρακτηρίζεται από ένα υψηλό επίπεδο παραγωγής θερμότητας ως υποπροϊόν του μυϊκού μεταβολισμού. Το ποσό της θερμότητας που θα παραχθεί από την υδρόλυση του ATP (κύριο ενεργειακό νόμισμα) εξαρτάται από το είδος και την ένταση της μυϊκής δραστηριότητας που θα εκτελεστεί. Ανεξάρτητα από τη μυϊκή δραστηριότητα που θα εκτελεστεί μια ποσότητα θερμότητας θα αποθηκευτεί στο σώμα όπου θα μεταβάλλει τη θερμοκρασία του πυρήνα του και των ιστών του (Franklin, Green, & Cable, 1993; Kenny et al., 2006; Saltin, 1966; Saltin & Hermansen, 1966; Thoden, Kenny, Reardon, Jette, & Livingstone, 1994; Wilkins et al., 2004).

Έναρξη της άσκησης

Τι συμβαίνει όμως κατά την έναρξη της άσκησης; Κατά την έναρξη της μυϊκής δραστηριότητας παρατηρείται άμεση και ραγδαία αύξηση του ρυθμού παραγωγής θερμότητας που αρχικά δεν αντισταθμίζεται από έναν αυξημένο ρυθμό απώλειας (γνωστό ως θερμική αδράνεια) (Murgatroyd, Shetty, & Prentice, 1993). Σύμφωνα με πολλούς ερευνητές (Aikas, Karvonen, Piironen, & Ruosteenoja, 1962; Aulick, Robinson, & Tzankoff, 1981; Saltin, Gagge, & Stolwijk, 1970), το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας που παράγεται στα πρώτα λεπτά άσκησης αποθηκεύεται στους λειτουργούντες μύες και αυξάνεται απότομα η θερμοκρασία των μυών. Σε μελέτη αναφέρεται ότι η θερμοκρασία του μηριαίου μυός κατά την άσκηση μέτριας έντασης σε ποδήλατο αυξάνεται κατά 0.65°C στα 5 πρώτα λεπτά άσκησης από τα 60 min συνολικής διάρκειας, ενώ η αντίστοιχη αύξηση που καταγράφεται στους ιστούς του πυρήνα του σώματος είναι 0.14°C για τον οισοφάγο, 0.01°C για τον πρωκτό και 0.00°C για το τύμπανο (Kenny et al., 2009). Από τα παραπάνω αποδεικνύεται ότι κατά τα πρώτα λεπτά άσκησης μέτριας έντασης υπάρχει μια πολύ μικρή ή σχεδόν ανύπαρκτη αύξηση της θερμοκρασίας του πυρήνα του σώματος, σε αντίθεση με την προοδευτική αύξηση της θερμοκρασίας των ενεργούντων μυϊκών ομάδων.

Εξέλιξη της άσκησης

Καθώς η άσκηση συνεχίζεται, μεγάλη ποσότητα αίματος διανέμεται στο δέρμα και στους λειτουργούντες μύες (J. M. Johnson & Proppe, 1996; M. N. Sawka, C. B. Wenger, & K. B. Pandolf, 1996a) παρέχοντας με αυτό τον τρόπο μια συνεχή δυναμική ροή θερμότητας εντός του σώματος. Ο ρυθμός παραγωγής θερμότητας σταθεροποιείται μέσα στα 10 πρώτα λεπτά άσκησης, όταν η ένταση της άσκησης και η μηχανική απόδοση αυτής παραμείνουν σταθερές, και θα παραμείνει σε υψηλά επίπεδα όση ώρα αυτή εκτελείται (Kenny, Webb, Ducharme, Reardon, & Jay, 2008). Η θερμότητα που

παράγεται από το ενεργό μυϊκό σύστημα σταδιακά μεταφέρεται, μέσω της αγωγής και της μεταφοράς, σε όλο το σώμα με αποτέλεσμα να αποθηκεύεται στον πυρήνα του (όπως στα σπλαχνικά όργανα) και στους περιφερειακούς του ιστούς (όπως στους μύες που δεν λειτουργούν, στον υποδόριο ιστό και στο δέρμα). Σε μελέτη έχει παρατηρηθεί ότι η θερμοκρασία του ενεργούντος έξω πλατύ μηριαίου αυξάνεται συνεχώς κατά την άσκηση μέτριας έντασης σε ποδήλατο, όπου στα 5 πρώτα λεπτά άσκησης παρατηρείται αύξηση κατά 0.65°C , και στα επόμενα 10 λεπτά υπάρχει επιπρόσθετη αύξηση 1.25°C (Kenny & Jay, 2013) ενώ η αντίστοιχη αύξηση στον πυρήνα του σώματος είναι στον οισοφάγο 0.47°C , στον πρωκτό 0.18°C και στο τύμπανο 0.38°C , και στους μη λειτουργούντες μύες όπως στον τραπεζοειδή είναι 0.15°C . Αποτέλεσμα των προηγούμενων είναι στο τέλος της άσκησης να παρατηρείται αντιστροφή της σχέσης στη θερμοκρασία των λειτουργούντων μυών και του πυρήνα του σώματος, με αυτή των μυών να υπερτερεί.

Η αύξηση του θερμικού περιεχομένου του σώματος θα πυροδοτήσει τη δραστηριοποίηση των μηχανισμών απώλειας θερμότητας. Η κύρια οδός απώλειας θερμότητας κατά την άσκηση, και κυρίως όταν αυτή επιδίδεται σε θερμό περιβάλλον, είναι η εξάτμιση του ιδρώτα (M. N. Sawka et al., 1996a). Η δραστηριοποίηση της δερματικής αγγειοδιαστολής θα προκαλέσει μόνο αύξηση της ροής αίματος στο δέρμα, επιτρέποντας το θερμό αίμα από τους λειτουργούντες μύες και τον πυρήνα του σώματος να κατευθυνθεί προς την επιφάνεια του δέρματος. Αν η ροή αίματος στο δέρμα είναι αρκετή ώστε να αυξηθεί η θερμοκρασία του, τότε θα προκληθεί αύξηση της μεταφοράς θερμότητας μέσω της αγωγής, της μεταφοράς και της ακτινοβολίας από το ανθρώπινο σώμα προς το περιβάλλον (Hammel, 1968; Hardy, 1961). Οι παραπάνω μηχανισμοί δραστηριοποιούνται μετά από την έναρξη της άσκησης με χρονική καθυστέρηση των

10-15 min (Malchaire, 1991; Webb & Troutman, 1970) και η λειτουργία τους θα κορυφωθεί και θα παραμείνει σε υψηλά επίπεδα έως και 30-60 min συνεχόμενης άσκησης (Jay et al., 2007; Kenny et al., 2008). Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η συνεχής μείωση της θερμότητας που αποθηκεύεται στο σώμα καθώς η άσκηση εξελίσσεται (Parsons, 2003; Stitt, 1993).

Ο ρυθμός απώλειας θερμότητας από το σώμα προς το περιβάλλον εξαρτάται όχι μόνο από τη δραστηριοποίηση των μηχανισμών αποβολής αλλά από την ένταση της άσκησης που προηγήθηκε, τις εξωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες και τη θερμική αδράνεια του σώματος και μπορεί να απαιτηθεί πάνω από 45 min για να εξισορροπηθεί με το ρυθμό παραγωγής του (Kenny & Jay, 2013). Οι ασκήσεις υψηλότερης έντασης συνδέονται με μεγαλύτερη παραγωγή θερμότητας σε σχέση με ασκήσεις χαμηλότερης έντασης και απαιτείται περισσότερος χρόνος για να επιτευχθεί θερμική ισορροπία. Επιπρόσθετα, σημαντικό ρόλο στο ρυθμό ανταλλαγής θερμότητας του σώματος με το περιβάλλον διαδραματίζουν οι εξωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες, η υγρασία και η θερμοκρασία του. Διαφορετικός ρυθμός αποβολής θερμότητας μέσω των μηχανισμών αγωγής, μεταφοράς και ακτινοβολίας θα προκληθεί στο ανθρώπινο σώμα, όταν μια άσκηση δεδομένης έντασης εκτελείται σε θερμικά ουδέτερο περιβάλλον (30°C) σε σχέση με ένα ζεστό περιβάλλον (45°C). Ο Kenn και οι συνεργάτες του (2013) μας αναφέρουν ότι σε άσκηση με σταθερό ρυθμό παραγωγής θερμότητας, όταν αυτή εκτελείται για 90 λεπτά σε περιβάλλον με θερμοκρασία στους 35, 40 και 45°C, επιφέρει καθαρή αύξηση θερμότητας 22, 100, 175W αντίστοιχα (Kenny & Jay, 2013). Θερμική ισορροπία στο ανθρώπινο σώμα θα επιτευχθεί σε όλες τις περιπτώσεις εκτός και αν η μέγιστη ικανότητα του ατόμου για εξάτμιση περιορίζεται από τη μέγιστη δυνατή εξάτμιση εντός του δεδομένου περιβάλλοντος ή το συνδυαζόμενο μεταβολικό και

περιβαλλοντικό θερμικό φορτίο ξεπερνάει την ικανότητα του ατόμου για θερμική ισορροπία. Η απόλυτη διαφορά ανάμεσα στον ρυθμό παραγωγής και απώλειας θερμότητας καθώς και η χρονική διάρκεια που απαιτείται για να αντισταθμιστούν οι δύο αυτοί ρυθμοί μας υποδηλώνουν το μέγεθος του θερμικού περιεχομένου που αποθηκεύεται στο σώμα (Webb, 1998).

Ανάκαμψη μετά το τέλος της άσκησης

Μετά το τέλος της άσκησης παρατηρείται ταυτόχρονα ραγδαία μείωση του ρυθμού παραγωγής και του ρυθμού τοπικής και όλου του σώματος απώλειας θερμότητας (δερματική ροή αίματος και εφίδρωση) (Kenny, Reardon, Giesbrecht, Jette, & Thoden, 1997; Thoden et al., 1994; Wilkins et al., 2004). Η θερμοκρασία του πυρήνα και του μυϊκού ιστού του σώματος θα παραμείνουν σε υψηλά επίπεδα μέχρι και 90 λεπτά μετά το τέλος της άσκησης (Kenny & Jay, 2007; Kenny et al., 2006). Όσο πιο υψηλή είναι η ένταση της άσκησης που προηγήθηκε, τόσο μεγαλύτερο υπολειπόμενο θερμικό φορτίο και κατά επέκταση υψηλότερη θερμοκρασία στον πυρήνα και στους μύες του σώματος παρατηρείται. Σε μελέτη αναφέρεται ότι μετά από άσκηση 15 min μέτριας έντασης (70% VO_{2max}) και υψηλής έντασης (93% VO_{2max}), η αύξηση της θερμοκρασίας του πυρήνα του σώματος κατά το τέλος της άσκησης ήταν 0.97°C και 2.17°C αντίστοιχα (Kenny & Niedre, 2002). Μετά από 45 min αποκατάστασης, η θερμοκρασία του οισοφάγου ήταν κατά 0.41°C υψηλότερη στην άσκηση υψηλής έντασης σε σχέση με αυτή μέτριας έντασης.

Ο ακριβής μηχανισμός που συμβάλλει στη διατήρηση της αυξημένης θερμοκρασίας του πυρήνα του σώματος και στη μείωση της απώλειας θερμότητας κατά την φάση της αποκατάστασης παραμένει άγνωστος (Kenny, Reardon, Ducharme, Reardon, & Zaleski, 2002). Ένα σύνολο παραγόντων νευρικής, καρδιαγγειακής και

ορμονικής προέλευσης πιθανόν να ευθύνονται για την θερμορυθμιστική διαταραχή που παρατηρείται μετά το τέλος της άσκησης. Η παρατεταμένη αύξηση της θερμοκρασίας του οισοφάγου, ως δείκτης της θερμοκρασίας του πυρήνα του σώματος, συνδέεται κυρίως με την εξασθένηση της δερματικής αιματικής ροής (Kenny, Jackson, & Reardon, 2000; Kenny, Proulx, Denis, & Giesbrecht, 2000) και της εφίδρωσης και έπειτα με τη μείωση της μέσης αρτηριακής πίεσης και του όγκου παλμού. Ερευνητές εξετάζοντας τον έλεγχο της αγγειοκινητικής δραστηριότητας και της λειτουργίας των ιδρωτοποιών αδένων μετά την άσκηση προτείνουν ότι αυτή η διαταραχή στο θερμορυθμιστικό έλεγχο αποδίδεται στη μη θερμικά τασεο-αντανακλαστική ρύθμιση που συνδέεται με την υποτασική απάντηση κατά τη ανάκαμψη. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι η αυξημένη υπόταση που προκαλείται μετά από άσκηση αντίστασης οδηγεί σε: 1) μια σχετική αύξηση του σημείου έναρξης της εφίδρωσης και της δερματικής αγγειοδιαστολής, και 2) αύξηση της θερμοκρασίας του πυρήνα και των μυών του σώματος (Armstrong, 2000; Binder et al., 2012; Journeay, Reardon, Martin, & Kenny, 2004; Journeay, Reardon, McInnis, & Kenny, 2005; Lynn et al., 2012; McGinn, Swift, Binder, Gagnon, & Kenny, 2012). Πρόσφατες μελέτες υποδηλώνουν ότι οι μεταβολικά υποδοχείς (Binder et al., 2012; McGinn et al., 2012) και οι ωσμοϋποδοχείς (Lynn et al., 2012) μπορούν να διαδραματίσουν δυναμικά σημαντικό ρόλο στη διαταραχή της θερμικής ομοιόστασης μετά την παύση της άσκησης (McGinn et al., 2012). Από όλα τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η φάση της αποκατάστασης διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο για την επαναφορά της θερμικής ισορροπίας στον ανθρώπινο οργανισμό ιδίως μετά από ασκήσεις υψηλής έντασης με αποτέλεσμα κατά καιρούς να έχουν αναπτυχθεί και μελετηθεί διάφορα μοντέλα αποκατάστασης.

Ένα από αυτά είναι της ανενεργής (όρθια καθιστή ανάπαυση), της ενεργής (ποδηλάτηση χωρίς φορτίο με 60 rpm) και της παθητικής (όρθια καθιστή ανάπαυση ενώ τα κάτω άκρα είναι παθητικά συμπιεσμένα) αποκατάστασης. Ο Journeay και οι συνεργάτες του (Journeay et al., 2004; Journeay et al., 2005) μελέτησαν την επίδραση που έχουν τα τρία παραπάνω μοντέλα αποκατάστασης στη μέση αρτηριακή πίεση, στη δερματική αιματική ροή και στον ρυθμό εφίδρωσης μετά από 15 λεπτά δυναμικής έντασης άσκησης. Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι κατά την ενεργητική και παθητική αποκατάσταση η δερματική αγγειακή αγωγιμότητα, ο ρυθμός εφίδρωσης, η μέση αρτηριακή πίεση, η καρδιακή παροχή και ο όγκος παλμού, παρουσίαζαν υψηλότερες τιμές από ό, τι κατά την ανενεργή. Ο παθητικός τρόπος αποκατάστασης ήταν εξίσου αποτελεσματικός με τον ενεργό στη διατήρηση της καρδιακής παροχής, του όγκου παλμού, της μέσης αρτηριακής πίεσης, της δερματικής αγγειακής αγωγιμότητας και του ρυθμού εφίδρωσης. Ο ρυθμός εφίδρωσης ήταν διαφορετικός σε όλα τα είδη αποκατάστασης μετά τα 8 min ανάκαμψης. Κατά το ενεργό μοντέλο αποκατάστασης η ολική περιφερειακή αντίσταση παρέμεινε χαμηλότερη σε σχέση με το παθητικό και το ανενεργό μοντέλο. Ωστόσο δεν παρουσιάστηκαν διαφορές στην θερμοκρασία του οισοφάγου και του δέρματος σε κανένα από τα τρία παραπάνω είδη αποκατάστασης. Δεδομένου ότι η μέση αρτηριακή πίεση ήταν υψηλότερη στην παθητική και ενεργή ανάκαμψη από ό, τι στην ανενεργή προκύπτει ότι οι διαφορές στην δερματική αγγειακή αγωγιμότητα ίσως οφείλονται στους βαροϋποδοχείς. Οι διαφορές όμως στον ρυθμό εφίδρωσης ίσως προέρχονται από παράγοντες όπως είναι η κεντρική εντολή και η διέγερση των μηχανοϋποδοχέων (Journeay et al., 2004; Journeay et al., 2005).

Άλλοι ερευνητές διερεύνησαν την επίδραση της στάσης του σώματος ως προς τις θερμορυθμιστικές απαντήσεις του οργανισμού κατά την αποκατάσταση (Kenny et al., 2008). Μελετώντας τις επιπτώσεις της ανάκαμψης σε ύπτια στάση σε σχέση με αυτή της όρθιας καθιστής, μετά από διαφορετικής έντασης άσκηση βρέθηκε ότι μετά από έντονη άσκηση, η μέση αρτηριακή πίεση, ο όγκος παλμού, η δερματική αγγειακή αγωγιμότητα και ο ρυθμός εφίδρωσης διατηρούνται σε υψηλότερα επίπεδα κατά την ανάκαμψη σε ύπτια θέση σε σύγκριση με την όρθια καθιστή. Αποτέλεσμα των παραπάνω ήταν να παρατηρηθεί χαμηλότερη θερμοκρασία στον οισοφάγο και κατά επέκταση χαμηλότερη παραγωγή θερμότητας κατά την εφαρμογή της ύπτιας στάσης. Σε αντίθεση κατά την εφαρμογή χαμηλής έντασης άσκηση παρουσιάζεται αντανακλαστικά βραδυκαρδία και χαμηλότερος όγκος παλμού. Παρόλα αυτά δεν παρουσιάζεται καμία διαφορά στη μέση αρτηριακή πίεση, στην δερματική αγγειακή αγωγιμότητα, στον ρυθμό εφίδρωσης και την θερμοκρασία του οισοφάγου. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η επίδραση της ύπτιας στάσης στη μέση αρτηριακή πίεση, στη δερματική αγγειακή αγωγιμότητα και στο ρυθμό εφίδρωσης είναι εξαρτώμενος από την ένταση της άσκησης που προηγήθηκε και μπορεί να αποδοθεί στο μη θερμικά επηρεαζόμενο παράγοντα των τασεοϋποδοχέων. Εν κατακλείδι, τα διάφορα μοντέλα αποκατάστασης έχουν διαφορετικές καρδιαγγειακές και θερμικές ανταποκρίσεις που πολλές φορές είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με την ένταση της άσκησης που προηγήθηκε.

ΠΡΟΣΑΡΜΙΣΤΙΚΕΣ ΑΠΟΚΡΙΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΚΘΕΣΗ ΣΕ ΑΥΞΗΜΕΝΟΥΣ ΘΕΡΜΙΚΑ ΣΤΡΕΣΟΓΟΝΟΥΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Ο ανθρώπινος οργανισμός προκειμένου να αμυνθεί στις βλαβερές επιδράσεις των θερμικά στρεσογόνων παραγόντων και να επέλθει θερμική ομοιόσταση υιοθετεί

διάφορες προσαρμοστικές αποκρίσεις ή προσαρμογές. Οι προσαρμογές αυτές μπορεί να είναι : α) βραχυπρόθεσμες, η άμεση απόκριση του οργανισμού και περιλαμβάνουν την άμεση μεταβολή της ευαισθησίας ενός κυττάρου ή ενός ιστού του σώματος, β) μεσοπρόθεσμες, ο φυσικός και τεχνητός εγκλιματισμός του οργανισμού και περιλαμβάνουν τις προσαρμογές κατά την έκθεση σε ένα φυσικό και τεχνητό αντίστοιχα περιβάλλον όπως η βελτιωμένη εφίδρωση μετά από εγκλιματισμό στη ζέστη, και γ) μακροπρόθεσμες, που είναι οι σχεδόν μόνιμες μορφολογικές, φυσιολογικές ή άλλες προσαρμογές του οργανισμού που πραγματοποιούνται μετά από αρκετές γενεές όπως η αύξηση του ποσοστού του υποδόριου λίπους που συναντάμε στα μέλη της φυλής Inuit (κληρονομική προσαρμογή) και άλλα, επιφέροντας με αυτό το τρόπο πλεονέκτημα επιβίωσης σε ένα εξειδικευμένο περιβάλλον (Armstrong, 2000).

Οι προσαρμοστικές αντιδράσεις του οργανισμού κατά την έκθεσή του σε ένα θερμικά στρεσογόνο παράγοντα είναι υπό τον έλεγχο του ενδοκρινικού, νευρικού και καρδιαγγειακού συστήματος. Παλαιότερα υπήρχε η άποψη ότι τα συστήματα αυτά δρουν ανεξάρτητα το ένα από το άλλο. Σήμερα επικρατεί η άποψη ότι τα συστήματα αυτά αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και προσφέρουν ένα πολύπλοκο σύστημα αμυντικών και προσαρμοστικών αποκρίσεων όπου η επάνοδο του οργανισμού σε μη στρεσογόνες συνθήκες αντανακλά τη βελτιωμένη λειτουργία του εμπλεκόμενου οργάνου ή συστήματος. Κεντρικός ρυθμιστής των παραπάνω διεργασιών αποτελεί το ΚΝΣ που περιλαμβάνει τον εγκέφαλο και τον νωτιαίο μυελό (Ulrich-Lai & Herman, 2009). Δεδομένου ότι ο εγκέφαλος λειτουργεί σαν δίκτυο και μεταφέρει τις πληροφορίες σε όλα τα τμήματά του, από τις φλοιώδεις αισθητικά περιοχές στις πιο βασικές δομές, και αντίστροφα (Ulrich-Lai & Herman, 2009) είναι δύσκολο να προσδιοριστεί ποια ακριβώς περιοχή του είναι υπεύθυνη για τις αντιδράσεις σε ένα στρεσογόνο παράγοντα.

Μόλις το ΚΝΣ αντιληφθεί τα απειλητικά ερεθίσματα (στρεσογόνους παράγοντες), μεταβάλλει τον ρυθμό έκκρισης συγκεκριμένων ορμονών, η λειτουργία των οποίων ελέγχεται από το ΚΝΣ αλλά και αυτές με τη σειρά τους επηρεάζουν το ΚΝΣ. Πολλές φορές μια ορμόνη προκαλεί την απελευθέρωση μιας δεύτερης ορμόνης και αυτή με τη σειρά της μιας άλλης. Έτσι έχουμε μια ορμονική αλληλουχία και αναφερόμαστε σε ορμονικό άξονα. Υπάρχουν δυο ορμονικοί άξονες όπου ο καθένας εκκρίνει και ελέγχει τη λειτουργία διαφορετικών ορμονών: α) ο άξονας συμπαθητικού – μυελού επινεφριδίων (sympathetic- adrenal medullary, SAM) που ρυθμίζει τις βραχυπρόθεσμες αντιδράσεις του οργανισμού σε μια κατάσταση στρες και β) ο άξονας υποθαλάμου – υπόφυσης φλοιού επινεφριδίων (hypothalamic – pituitary – adrenocortical, HPA) που ρυθμίζει τις μακροπρόθεσμες αντιδράσεις στο στρες (Armstrong, 2000).

A) Ο μυελός των επινεφριδίων είναι μέρος του αυτόνομου νευρικού συστήματος που αποτελεί μέρος του περιφερειακού νευρικού συστήματος και λειτουργεί ως σύστημα ελέγχου και διατήρησης της ομοιόστασης του οργανισμού. Ο μυελός των επινεφριδίων εμπλέκεται στη απελευθέρωση των ορμονών της αδρεναλίνης, της επινεφρίνης και της νορεπινεφρίνης στο αίμα, συμμετέχοντας έτσι στην αντίδραση “πάλης ή φυγής” με αποτέλεσμα την αύξηση της καρδιακής συχνότητας. Η έκκριση των ορμονών αυτών μπορεί να προκληθεί από χαμηλά επίπεδα σακχάρου στο αίμα, μειωμένη πίεση, άσκηση ή άλλους στρεσογόνους παράγοντες. Επίσης ο ορμονικός άξονας του μυελού των επινεφριδίων, κατά την άσκηση, ευθύνεται για την αύξηση της πίεσης του αίματος και της καρδιακής παροχής καθώς το αίμα οδηγείται από το στομάχι, τα έντερα, το ήπαρ και τους νεφρούς προς τους εργαζόμενους μύες. Άλλες επιδράσεις είναι η αύξηση των επιπέδων της γλυκόζης και

των ελεύθερων λιπαρών οξέων στο αίμα, ο αυξημένος κυτταρικός μεταβολισμός και η αυξημένη διανοητική δραστηριότητα (Guyton & Hall, 1996).

B) Ο φλοιός των επινεφριδίων παράγει, αποθηκεύει και αποδεσμεύει μια ομάδα ορμονών γνωστή ως κορτικοστεροειδή, εκ των οποίων η πιο γνωστή είναι η κορτιζόλη. Η έκκριση της κορτιζόλης από τον επινεφριδικό φλοιό ελέγχεται από την έκκριση της φλοιοεπινεφριδιοτρόπου ορμόνης ή κορτικοτροπίνης της οποίας η έκκριση ελέγχεται από τον εκλυτικό παράγοντα της κορτικοτροπίνης από τον υποθάλαμο. Τόσο εξωγενείς όσο και ενδογενείς στρεσογόνοι παράγοντες αυξάνουν ταχύτατα την παραγωγή της κορτικοτροπίνης έως και 20 φορές. Κύρια λειτουργία της κορτιζόλης είναι η διατήρηση των επιπέδων του σακχάρου στο αίμα σε σταθερά επίπεδα, και κατά επέκταση τη επαναφορά του οργανισμού σε κατάσταση ισορροπίας. Η απάντηση της κορτιζόλης κατά την άσκηση ποικίλει σημαντικά και διαμορφώνεται από παράγοντες όπως είναι η ένταση και η διάρκεια της άσκησης, η φυσική κατάσταση, η θρέψη και οι βιορυθμοί. Υψηλά επίπεδα αυτής παρατηρούνται σε ασκήσεις μεγάλης έντασης καθώς και σε ήπιας έντασης άσκηση με μεγάλη διάρκεια (McArdle et al., 2001). Άλλες λειτουργίες της κορτιζόλης είναι η αύξηση της παραγωγής των υδατανθράκων από τις πρωτεΐνες (γλυκονεογένεση), η αύξηση των επιπέδων γλυκόζης, πρωτεϊνών και λιπαρών οξέων στο αίμα, συμβάλλει στη μείωση της φλεγμονής και καταστέλλει το ανοσοποιητικό σύστημα (O'Connor, O'Halloran, & Shanahan, 2000). Οι δύο ορμονικοί άξονες κατά την ενεργοποίησή τους λειτουργούν συμπληρωματικά. Τα κύρια ορμονικά προϊόντα αυτών των αξόνων – επινεφρίνη, νορεπινεφρίνη και κορτιζόλη – εξυπηρετούν την κινητοποίηση και την αναδιανομή των μεταβολικών καυσίμων (υδατάνθρακες, λίπη και πρωτεΐνες) σε διαφορετικούς ρυθμούς και εντείνουν την ετοιμότητα του καρδιαγγειακού συστήματος όπως την αύξηση της συχνότητας και της έντασης των

καρδιακών παλμών. Εκτός από τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στους δύο ορμονικούς άξονες, συμπαθητικού – μυελού επινεφρυδίων και υποθαλάμου – υπόφυσης φλοιού επινεφρυδίων, αλλάζει και η έκκριση άλλων ορμονών κατά την έκθεση σε ένα στρεσογόνο παράγοντα (Mason, 1972). Οι ορμόνες αυτές διακρίνονται σε αναβολικές (ενίσχυση μεταβολισμού και σύνθεσης ιστού) και σε καταβολικές (μειωμένος μεταβολισμός και αποδόμηση ιστού). Στις αναβολικές ορμόνες ανήκουν η ινσουλίνη, η τεστοστερόνη και τα οιστρογόνα, ενώ στις καταβολικές ορμόνες ανήκουν η αυξητική ορμόνη, η προλακτίνη, η θυροξίνη, η επινεφρίνη, η νορεπινεφρίνη και η κορτιζόλη. Κατά την έκθεση σε στρεσογόνο παράγοντα αυξάνεται η έκκριση των καταβολικών ορμονών και μειώνονται τα επίπεδα των αναβολικών ορμονών στο αίμα. Μετά την εξάλειψη του στρεσογόνου παράγοντα αυξάνεται η έκκριση των αναβολικών ορμονών και μειώνεται η παραγωγή των καταβολικών. Συμπερασματικά οι επιδράσεις αυτές αντικατοπτρίζουν τη συνεργασία του νευρικού, ενδοκρινικού και ανοσοποιητικού συστήματος. Η άσκηση περισσότερο από οποιοδήποτε άλλο στρεσογόνο παράγοντα επηρεάζει την έκκριση των παραπάνω ορμονών. Διαφορετικά είδη άσκησης εντείνουν τη δραστηριοποίηση διαφορετικών ορμονών. Έτσι κατά τη διάρκεια ασκήσεων μεγάλης έντασης προκαλείται έκκριση της επινεφρίνης και της κορτιζόλης, ενώ κατά τη διάρκεια ασκήσεων μεγάλης διάρκειας αυξάνεται η παραγωγή της νορεπινεφρίνης, θυροξίνης, αυξητικής ορμόνης και προλακτίνης (Armstrong, 2000).

Οι προσαρμοστικές αντιδράσεις του οργανισμού σε ένα θερμικά στρεσογόνο παράγοντα δεν περιλαμβάνουν μόνο την δραστηριοποίηση του ενδοκρινικού συστήματος αλλά και του καρδιαγγειακού και νευρικού συστήματος με τις αντίστοιχες προσαρμογές στη μεταφορά αίματος από τον πυρήνα του σώματος προς τους περιφερειακού ιστούς (μύες, δέρμα και υποδόριο ιστό), στη διαστολή των δερματικών

αιμοφόρων αγγείων και στη δραστηριοποίηση των ιδρωτοποιών αδένων. Η δραστηριοποίηση των παραπάνω μηχανισμών χαρακτηρίζεται από ένα κατώφλι έναρξης που το αποτελεί μια συγκεκριμένη μέση θερμοκρασία σώματος. Από τη στιγμή που θα δραστηριοποιηθούν μέχρι να φθάσουν στο μέγιστο των δυνατοτήτων τους, η ανταπόκριση των παραπάνω μηχανισμών είναι ανάλογη των αλλαγών της θερμοκρασίας του δέρματος ή του πυρήνα του σώματος. Σκοπός των προσαρμοστικών αντιδράσεων του οργανισμού κατά την έκθεση σε αυξημένους θερμικά στρεσογόνους παράγοντες είναι να επέλθει θερμική ισορροπία στον οργανισμό, αποβάλλοντας την περίσσεια θερμότητα που υπάρχει στο σώμα μέσω της ενεργοποίησης των μηχανισμών απώλειας θερμότητας.

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Άδηλη αναπνοή

Η απώλεια θερμότητας μέσω των βλεννογόνων μεμβρανών της στοματικής, ρινικής και αναπνευστικής κοιλότητας καθώς και η παθητική διάχυση θερμότητας από το δέρμα προς το περιβάλλον καλείται άδηλη αναπνοή. Ο εκπνεόμενος αέρας είναι σχεδόν κορεσμένος με υδρατμούς με αποτέλεσμα να χάνεται συνεχώς μια ποσότητα θερμότητας από τις αναπνευστικούς οδούς προς το περιβάλλον. Η διαδικασία αυτή αποτελεί φυσική συνιστώσα της πνευμονικής ανταλλαγής αερίων όπου ο ρυθμός απώλειας είναι ανάλογος του αναπνευστικού ρυθμού. Μια μικρή ποσότητα νερού συνεχώς μετακινείται από την επιδερμίδα στην επιφάνεια του σώματος μέσω της παθητικής διάχυσης όπου εκεί εξατμίζεται. Η απώλεια νερού μέσω της άδηλης αναπνοής ανέρχεται στα 600ml ημερησίως και η σημαντικότητά της σε συνθήκες

αυξημένου θερμικού φορτίου είναι μη σημαντική σε σύγκριση με την εξάτμιση του ιδρώτα από την επιφάνεια του σώματος (G. P. Kenny & A. D. Flouris, 2014c).

Έκκριση – Εξάτμιση ιδρώτα

Ο κύριος μηχανισμός απώλειας θερμότητας σε αυξημένες θερμικά στρεσογόνες συνθήκες αποτελεί η εξάτμιση του ιδρώτα, που παράγεται από τους ιδρωτοποιούς αδένες κατά τη διαδικασία της εφίδρωσης. Η σημαντικότητα της εξάτμισης του ιδρώτα βρίσκεται στην υψηλή λανθάνουσα θερμότητα της εξάτμισης, που είναι 2426J ανά gr ιδρώτα που εξατμίζεται στους 30°C (C. B. Wenger, 1972). Κάθε φορά που εξατμίζεται το νερό του ιδρώτα από την επιφάνεια του σώματος δαπανάται η αντίστοιχη θερμική ενέργεια η οποία μεταφέρεται στον αέρα προκαλώντας έτσι τη ψύξη του ιδρώτα που παραμένει σε υγρή μορφή και, εν συνεχεία, της επιδερμίδας (G. P. Kenny & A. D. Flouris, 2014c).

Η ποσότητα της θερμικής απώλειας μέσω της εξάτμισης του ιδρώτα επηρεάζεται από τους εξής παράγοντες: α) από τον ρυθμό έκκρισης νερού από τους εκκρινείς ιδρωτοποιούς αδένες, β) από την ικανότητα του ατόμου για αποβολή θερμότητας μέσω του μηχανισμού της εξάτμισης και γ) από την ικανότητα του περιβάλλοντος στο να εξατμίσει το νερό. Ο ρυθμός έκκρισης του ιδρώτα αυξάνεται σε συνδυασμό με την αύξηση του αριθμού των ιδρωτοποιών αδένων που δραστηριοποιούνται και του ποσού του ιδρώτα που απελευθερώνεται από κάθε αδέν. Μελέτες αποδεικνύουν ότι η αρχική αύξηση του ρυθμού έκκρισης του ιδρώτα σε συνθήκες θερμικού στρες οφείλεται στην αύξηση του αριθμού των αδένων που δραστηριοποιούνται και στη συνέχεια επέρχεται αύξηση της παραγωγής έκκρισης ανά αδέν (Kondo et al., 2001). Η επιστράτευση των ιδρωτοποιών αδένων γίνεται γρήγορα, όπου η μέγιστη δραστηριοποίησή τους επιτυγχάνεται σε μόλις 8 min παθητικής

θερμικής καταπόνησης ή άσκησης. Σε αντίθεση, η αύξηση της έκκρισης παραγωγής ανά αδένια είναι σταδιακή και συνεχίζει να αυξάνει μέχρι να σταματήσει η θερμική διαταραχή (Kondo et al., 2001; Randall, 1946). Η δραστηριοποίηση των ιδρωτοποιών αδένων ελέγχεται κυρίως από την προοπτική και πρόσθια περιοχή του υποθαλάμου όπου νευρώνες ευαίσθητοι στη ζέστη είναι τοποθετημένοι πάνω τους. Οποιοδήποτε είδος διέγερσης που προέρχεται από το δέρμα, τα σπλάχνα και το νωτιαίο μυελό μπορεί να επηρεάσει την απάντηση των ιδρωτοποιών αδένων. Η δραστηριοποίηση των ιδρωτοποιών αδένων κυρίως προσδιορίζεται από τη χολινεργική δραστηριότητα των συμπαθητικών νεύρων που καταλήγουν πάνω τους καθώς και από τους αδρενεργικούς ανταγωνιστές. Κατά τη θερμική καταπόνηση ή την άσκηση καθώς αυξάνει η θερμοκρασία του πυρήνα, πληροφορίες από το ΚΝΣ προκαλούν τη διέγερση της ακετυλοχολίνης και διαμέσου της δραστηριοποίησης των μουσκαρινικών υποδοχέων συνδέεται στους ιδρωτοποιούς αδένες και διασπάται από το ένζυμο ακετυλοχολινεστεράση (59). Τόσο η ποσότητα της ακετυλοχολίνης που απελευθερώνεται όσο και η διάσπασή της από την ακετυλοχολινεστεράση ρυθμίζουν τον τοπικό ρυθμό εφίδρωσης.

Η ικανότητα του ατόμου για αποβολή θερμότητας μέσω του μηχανισμού της εξάτμισης είναι περιορισμένη. Κατά την διάρκεια μέγιστης εφίδρωσης και σε σταθερές συνθήκες περιβάλλοντος, ο μέγιστος ρυθμός εξάτμισης εξαρτάται από την επιφάνεια σώματος και το ποσοστό αυτή της περιοχής που είναι κορεσμένο με ιδρώτα. Η αναλογία αυτή της επιφάνειας του σώματος ονομάζεται «υγρασία δέρματος» και παίρνει διάφορες τιμές (A. Gagge & Gonzalez, 1996). Έτσι σε συνθήκες ηρεμίας όπου δεν προκαλείται εφίδρωση, η υγρασία δέρματος έχει τιμή 0.06 και αντιπροσωπεύει τη φυσική διάχυση του νερού διαμέσου του δέρματος. Όταν όλη η επιφάνεια του δέρματος

είναι καλυμμένη με ιδρώτα, η υγρασία δέρματος έχει τιμή 1. Αυτό όμως επιτυγχάνεται μόνο σε άτομα που είναι επαρκώς εγκλιματισμένα στη ζέστη και οι ιδρωτοποιοί τους αδένες έχουν υιοθετήσει τις προσαρμογές που επιτυγχάνονται μετά από επανειλημμένη έκθεση σε θερμό περιβάλλον. Χωρίς εγκλιματισμό στη ζέστη, η υγρασία του δέρματος σε φυσιολογικούς ενήλικες μπορεί να αυξηθεί ως 0.85 (Parsons, 2003). Παρόλα αυτά, η συχνή άσκηση παρατεταμένης διάρκειας (η οποία προκαλεί προσαρμογές όμοιες με αυτές του εγκλιματισμού) έχει ως αποτέλεσμα η μέγιστη τιμή της υγρασίας του δέρματος να φθάσει στα ίδια επίπεδα με εκείνα των θερμικά εγκλιματισμένων ατόμων (Mora-Rodríguez, 2012). Όταν το άτομο πλησιάζει τη μέγιστη ικανότητά του για εξάτμιση σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον, τότε η ικανότητα εφίδρωσης του ατόμου σε αυτό το περιβάλλον μειώνεται (Candas et al., 1979).

Οι συνθήκες του περιβάλλοντος και κυρίως η διαφορά της μερικής πίεσης των υδρατμών μεταξύ της επιφάνειας του δέρματος (ιδρώτας) και του ατμοσφαιρικού αέρα (υγρασία) διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον ρυθμό θερμικής απώλειας. Ακόμη κι αν ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι πλήρως κορεσμένος (100% σχετική υγρασία), υπάρχει δυνατότητα εξάτμισης εφόσον υπάρχει απόλυτη διαφορά της υγρασίας ανάμεσα στο δέρμα και τον αέρα (Kenny & Jay, 2013). Σημαντικό ρόλο επίσης παίζουν η ταχύτητα με την οποία μετακινείται ο αέρας και η θερμοκρασία του περιβάλλοντος (G. P. Kenny & A. D. Flouris, 2014c). Αν ο αέρας είναι ξηρός και μετακινείται γρήγορα, τότε ο μόνος περιοριστικός παράγοντας είναι ο ρυθμός έκκρισης του ιδρώτα. Αντιθέτως, αν ο αέρας είναι υγρός και μετακινείται αργά, τότε η απώλεια θερμότητας μέσω εξάτμισης περιορίζεται από την ικανότητα του περιβάλλοντος να εξατμίσει το νερό από την επιφάνεια του δέρματος. Σε αυτή την περίπτωση ο ιδρώτας συσσωρεύεται πάνω στο σώμα ή πέφτει στο έδαφος, και τότε το άτομο αισθάνεται έντονη δυσφορία.

Δερματική αγγειοδιαστολή

Το καρδιαγγειακό σύστημα (καρδιά, αιμοφόρα αγγεία και αίμα) παίζει κεντρικό ρόλο στη απώλεια θερμότητας από το σώμα και συνεπώς στη ρύθμιση της θερμοκρασίας του και στην απόδοση κατά την άσκηση ιδίως σε θερμό περιβάλλον καθώς κατευθύνει το αίμα από το πυρήνα του σώματος προς την επιφάνειά του όπου εκεί μπορεί να ανταλλάξει θερμότητα με το περιβάλλον (Hammel, 1968; Mekjavic & Eiken, 2006). Σε θερμικά ουδέτερο περιβάλλον και σε κατάσταση ηρεμίας 500ml min^{-1} αίματος (5-10% της καρδιακής παροχής) παρέχεται στο δέρμα (Lossius, Eriksen, & Walloe, 1993) ενώ το αντίστοιχο ποσό σε συνθήκες αυξημένου θερμικού φορτίου είναι μεγαλύτερο από $6-8\text{L min}^{-1}$ αίματος (50-70% της καρδιακής παροχής). Αυτή η αύξηση αποδίδεται τόσο στην αύξηση όσο και στην ανακατανομή της καρδιακή παροχής. Το σπλαχνικό και νεφρικό σύστημα λαμβάνουν σε κατάσταση ηρεμίας το 20% της καρδιακής παροχής ενώ κατά τη διάρκεια θερμικού φορτίου μόνο το 1% (Brubaker, Kaminsky, & Whaley, 2002). Η αύξηση αυτή της δερματικής κυκλοφορίας διεγείρεται κυρίως από την αύξηση της θερμοκρασίας του πυρήνα (Wyss, Brengelmann, Johnson, Rowell, & Niederberger, 1974) και παρουσιάζει γραμμική εξέλιξη μετά από μια συγκεκριμένη θερμοκρασία (Flouris & Cheung, 2009; Wissler, 2008). Το αγγειακό σύστημα του δέρματος βρίσκεται υπό τον έλεγχο του αυτόνομου νευρικού συστήματος (Kellogg, 2006) που περιλαμβάνει αγγειοσυσταλτικά και αγγειοδιασταλτικά νεύρα. Το αγγειοσυσταλτικό σύστημα δρα κυρίως μέσω ενός αδρενεργικού συστήματος, διαμέσου της δέσμευσης της νορεπινεφρίνης σε α_1 και α_2 – αδρενεργικούς υποδοχείς (Kellogg, 2006). Το δερματικό αγγειοσυσταλτικό σύστημα είναι υπεύθυνο για όλες τις ιδιότητες αγγειοσυστολής του ανθρώπινου δέρματος που εμφανίζονται ως απάντηση στο κρύο καθώς και κατά την παροδική μείωση της ροής του αίματος στο δέρμα που εμφανίζεται

κατά την έναρξη των δυναμικών ασκήσεων (W. L. Kenney & Johnson, 1992). Από τη άλλη μεριά, η δραστηριοποίηση του δερματικού αγγειοδιασταλτικού συστήματος κυρίως επιτυγχάνεται μέσω της χολινεργικής δραστηριότητας. Ωστόσο ένα σύνολο παραγόντων, όπως η συνεισφορά του νιτρικού οξέος (Kellogg, 2006; Kellogg, Liu, Kosiba, & O'Donnell, 1999; Shibasaki, Wilson, Cui, & Crandall, 2002), το αγγειοδιασταλτικό εντερικό πεπτίδιο (Bennett, Johnson, Stephens, Saad, & Kellogg, 2003), οι υποδοχείς της ουσίας P/NK⁻¹ (Wong & Minson, 2006), οι προσταγλανδίνες (McCord, Cracowski, & Minson, 2006) και η μεσολάβηση του histamine/H1 – υποδοχέα (Wong, Wilkins, & Minson, 2004), παίζουν σημαντικό ρόλο στη διαστολή των αιμοφόρων αγγείων του δέρματος. Το ποσό της δερματικής αιματικής ροής αντιπροσωπεύει την ισορροπία ανάμεσα στο αγγειοσυσταλτικό και ενεργό αγγειοδιασταλτικό σύστημα όπου σε συνθήκες αυξημένου θερμικά φορτίου αρχικά παρουσιάζεται υποχώρηση του συμπαθητικού αγγειοσυσταλτικού τόνου, ενώ περαιτέρω αύξηση της δερματικής ροής κυρίως οφείλεται στην επικράτηση της ενεργούς δερματικής αγγειοδιαστολής (Kamijo, Lee, & Mack, 2005). Η αύξηση της δερματικής αιματικής ροής προκαλεί αλλαγές στη θερμοκρασία του δέρματος και αυτή με τη σειρά της επηρεάζει το ρυθμό ανταλλαγής θερμότητας με το περιβάλλον μέσω των μηχανισμών της αγωγής, της μεταφοράς και της ακτινοβολίας (A. Gagge & Gonzalez, 1996). Όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντα αέρος ξεπερνάει τη μέση θερμοκρασία δέρματος, η αύξηση της δερματικής αιματικής ροής θα προκαλέσει αύξηση της θερμοκρασίας του δέρματος με αποτέλεσμα να μειωθεί η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στην επιφάνεια του δέρματος και το περιβάλλον οδηγώντας σε μείωση του ρυθμού απόκτησης θερμότητας από αυτό (M. N. Sawka et al., 1996a).

Κεφάλαιο Τρία

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ

Τα Κεφάλαια 4 έως και 6 περιέχουν τα αποτελέσματα 3 κλινικών μελετών που σχεδιάστηκαν σύμφωνα με τους στόχους της διατριβής και γράφονται με τη μορφή των σχετικών άρθρων που δημοσιεύτηκαν ή πρόκειται να δημοσιευθούν. Τα κεφάλαια 4 και 5 διερευνούν την επίδραση των παραγόντων, της ηλικίας, του επιπέδου φυσικής κατάστασης, του σωματικού λίπους και του μεγέθους της επιφάνειας σώματος, στη θερμορυθμιστική ανταπόκριση του οργανισμού κατά την άσκηση. Το κεφάλαιο 6 περιλαμβάνει την επίδραση μιας μορφής παρέμβασης (πρόψυξη κεφαλής – λαιμού) στη θερμορυθμιστική ανταπόκριση του οργανισμού κατά τη διάρκεια άσκησης σε αυξημένο θερμικά περιβάλλον.

Κεφάλαιο 4

Τα παιδιά σε σχέση με τους ενήλικες θεωρούνται πιο ευάλωτα στην εξωτερική θερμική επιβάρυνση εξαιτίας της μειωμένης απόδοσης στη κίνηση, του ρυθμού εφίδρωσης όλου του σώματος (PEOS) και της ικανότητας για εγκλιματισμό στη ζέστη. Ο PEOS κατά την διάρκεια άσκησης στη ζέστη είναι στενά συνδεδεμένος με το επίπεδο αερόβιας ικανότητας, ο οποίος εξηγεί το 5-25% της διακύμανσης της θερμότητας που αποθηκεύεται στο σώμα και της θερμοκρασίας του σώματος κατά τη διάρκεια χαμηλής και μέτριας έντασης άσκησης. Καθώς η εξάτμιση του ιδρώτα είναι ο κύριος μηχανισμός για την απώλεια θερμότητας κατά τη διάρκεια άσκησης σε ζεστό ή θερμό περιβάλλον

κύριος σκοπός της μελέτης ήταν να διασαφηνιστεί η εξέλιξη του ΡΕΟΣ κατά τη διάρκεια της παιδικής ηλικίας, η οποία παραμένει άγνωστη μέχρι σήμερα, καθώς και να προσδιοριστεί μεμονωμένα και συνδυαστικά η επίδραση της ηλικίας και της αερόβιας ικανότητας ($\dot{V}O_2\max$) στο ΡΕΟΣ κατά την παιδική ηλικία. Η ερευνητική υπόθεση ήταν ότι ο ΡΕΟΣ αυξάνει γραμμικά με την αύξηση της ηλικίας και το επίπεδο φυσικής κατάστασης των παιδιών. Η μηδενική υπόθεση ήταν ότι δεν υπάρχει γραμμική συσχέτιση ανάμεσα στο ΡΕΟΣ με την ηλικία και το επίπεδο φυσικής κατάστασης του παιδιού.

Κεφάλαιο 5

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να μελετηθεί διεξοδικά η επίδραση των παραγόντων του σωματικού λίπους και του μεγέθους της επιφάνειας σώματος σε εφήβους σε σχέση με τις θερμορυθμιστικές και αντιληπτικές ανταποκρίσεις τους κατά τη διάρκεια 30 λεπτών άσκησης και αποκατάστασης σε ποδήλατο με την ίδια παραγωγή θερμότητας σε θερμικά ουδέτερο και ζεστό περιβάλλον. Η ερευνητική υπόθεση ήταν ότι οι θερμορυθμιστικές και αντιληπτικές ανταποκρίσεις των παιδιών αυξάνονται ανάλογα με την αύξηση του σωματικού λίπους και αντιστρόφως ανάλογα με το μέγεθος της επιφάνειας σώματός τους, συνεπώς τα παχύσαρκα και μικρόσωμα παιδιά θα είχαν υψηλότερες θερμοκρασίες και θα αισθάνονταν πιο έντονα την ζέστη σε σχέση με τα μη παχύσαρκα και μεγαλόσωμα παιδιά. Η μηδενική υπόθεση ήταν ότι δεν σχετίζονται οι θερμορυθμιστικές και αντιληπτικές ανταποκρίσεις των παιδιών με το σωματικό τους λίπος και το μέγεθος επιφάνειας σώματός τους.

Κεφάλαιο 6

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα μιας μορφής παρέμβασης, πρόψυξη της κεφαλής – λαιμού, για το μετριασμό των

θερμορυθμιστικών, των αντιληπτικών και της απόδοσης επιπτώσεων σε έφηβους αθλητές του τένις κατά τη διάρκεια αγώνων τένις κάτω από θερμές περιβαλλοντικές συνθήκες. Η υπόθεση ήταν ότι η παρέμβαση της πρόψυξης θα μείωνε το θερμορυθμιστικό και αντιληπτικό φορτίο καθώς και θα βελτίωνε την απόδοση των εφήβων αθλητών κατά τη διάρκεια αγώνων τένις σε θερμά περιβάλλοντα. Η μηδενική υπόθεση ήταν ότι η παρέμβαση της πρόψυξης δε θα είχε καμία επίδραση στο θερμορυθμιστικό και αντιληπτικό φορτίο και δε θα βελτίωνε την απόδοση των εφήβων αθλητών του τένις κατά τη διάρκεια αγώνων σε θερμά περιβάλλοντα.

Κεφάλαιο Τέσσερα

ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΟ ΡΥΘΜΟ ΕΦΙΔΡΩΣΗΣ ΟΛΟΥ ΤΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΑΙΔΙΚΗ ΗΛΙΚΙΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΦΗΒΕΙΑ: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΚΙΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Η μελέτη αυτή πραγματοποιήθηκε από την Μισαηλίδη Μαρία και τον Δρ. Ανδρέα Δ. Φλουρή. Στο σχεδιασμό της μελέτης συμμετείχαν και οι δύο συγγραφείς. Η Μισαηλίδη Μαρία έκανε τη συλλογή των δεδομένων το διάστημα 2014–2016 τους μήνες Απρίλιο έως και Οκτώβριο κάθε έτους. Οι στατιστικές αναλύσεις, η ερμηνεία των δεδομένων και η συγγραφή της πρώτης δημοσιευμένης μορφής του άρθρου πραγματοποιήθηκαν από τη Μισαηλίδη Μαρία. Στην αναθεώρηση του άρθρου και στην υποβολή του σε ξενόγλωσσα επιστημονικά περιοδικά μαζί με τη Μισαηλίδη Μαρία συμμετείχε και ο Δρ. Ανδρέας Δ. Φλουρής. Η ίδια η συγγραφέας έχει την ευθύνη για την ακεραιότητα και την ακρίβεια των δεδομένων ανάλυσης.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού εξαρτάται από την ισορροπία ανάμεσα στην παραγωγή θερμότητας στο εσωτερικό του ανθρώπινου σώματος και την ανταλλαγή αυτής με το περιβάλλον (Flouris & Piantoni, 2015; W. L. Kenney, Craighead, & Alexander, 2014). Στην ηρεμία, η παραγωγή θερμότητας στο ανθρώπινο σώμα είναι 90-100 W (παρόμοιο με ένα λαμπτήρα 1000-lumen ή ένα υπολογιστή γραφείου) (Aschoff, 1971; G. P. Kenny & A. D. Flouris, 2014b), ένα ποσό θερμότητας που εύκολα διαχέεται στο περιβάλλον. Ωστόσο, όταν κάποιος είναι σωματικά δραστήριος, η μεταβολική

παραγωγή θερμότητας αυξάνει ανάλογα με την ένταση της σωματικής δραστηριότητας (Flouris, 2019). Επομένως, η εσωτερική παραγωγή θερμότητας εύκολα μπορεί να τριπλασιαστεί κατά την εκτέλεση συνηθισμένων σωματικών δραστηριοτήτων και μπορεί να φθάσει στα 1500 W (παρόμοια με την παραγωγή θερμότητας ενός φούρνου μικροκυμάτων) κατά τη διάρκεια υψηλής έντασης ασκήσεων (Ainsworth et al., 2011). Εάν αυτή η θερμότητα δεν απελευθερωθεί προς το περιβάλλον, θα αυξηθεί η θερμοκρασία του σώματος και θα επηρεάσει τόσο τη σωματική όσο και τη γνωστική του λειτουργία, προκαλώντας ενδεχομένως μέχρι και θανατηφόρα ατυχήματα λόγω αυξημένης θερμοκρασίας (Flouris, 2019; Kenny, Wilson, Flouris, & Fujii, 2018). Επομένως, προκειμένου να αποφευχθούν οι αρνητικές επιπτώσεις στη σωματική και γνωστική λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού και οι κίνδυνοι για την υγεία του λόγω αυξημένης θερμοκρασίας, η θερμότητα που παράγεται στο σώμα θα πρέπει να εξισορροπήσει με τη θερμότητα που απελευθερώνεται από την επιφάνεια του σώματος (δέρμα) προς το περιβάλλον. Το παραπάνω επιτυγχάνεται μέσω του ξηρού τύπου ανταλλαγής θερμότητας (κυρίως μέσω της μεταφοράς του αέρα και της ακτινοβολίας) και/ή μέσω του υγρού τύπου ανταλλαγής θερμότητας (μέσω της εξάτμισης του ιδρώτα) (Flouris & Schlader, 2015; Notley, Lamarche, Meade, Flouris, & Kenny, 2019).

Μολονότι τα παιδιά έχουν μεγαλύτερη αναλογία επιφάνειας σώματος προς μάζα και αυξημένη δερματική αιματική ροή κατά τη διάρκεια άσκησης στη ζέστη, ωστόσο θεωρούνται πιο ευάλωτα σε σύγκριση με τους ενήλικες στην εξωτερική θερμική επιβάρυνση εξαιτίας της μειωμένης απόδοσης στη κίνηση, του ρυθμού εφίδρωσης όλου του σώματος (PEOΣ) και της ικανότητας για εγκλιματισμό στη ζέστη (Falk & Dotan, 2008, 2011; Kenny et al., 2018). Καθώς η εξάτμιση του ιδρώτα είναι ο κύριος μηχανισμός για την απώλεια θερμότητας κατά τη διάρκεια άσκησης σε ζεστό ή θερμό περιβάλλον (Kenny et al., 2017; Notley et al., 2019), είναι σημαντικό να διασαφηνιστεί

η εξέλιξη του ΡΕΟΣ κατά τη διάρκεια της παιδικής ηλικίας και της εφηβείας η οποία, μέχρι σήμερα, παραμένει άγνωστη. Επιπλέον, ο ΡΕΟΣ κατά την διάρκεια άσκησης στη ζέστη είναι στενά συνδεδεμένος με το επίπεδο αερόβιας ικανότητας (Notley et al., 2019), ο οποίος εξηγεί το 5-25% της διακύμανσης της θερμότητας που αποθηκεύεται στο σώμα και της θερμοκρασίας του σώματος κατά διάρκεια χαμηλής και μέτριας έντασης άσκησης (Notley et al., 2019). Επομένως, ο σκοπός αυτής της μελέτης πεδίου ήταν να προσδιοριστεί μεμονωμένα και συνδυαστικά η επίδραση της ηλικίας και της αερόβιας ικανότητας ($\dot{V}O_2\max$) στο ΡΕΟΣ κατά την παιδική ηλικία και την εφηβεία.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Συμμετέχοντες και έγκριση Ηθικής

Ένα σύνολο από 304 αγόρια ηλικίας 9-17 ετών (Πίνακας 1) συμμετείχαν εθελοντικά σε αυτή τη μελέτη. Οι συμμετέχοντες έπρεπε να ήταν υγιείς, μη καπνιστές, σωματικά δραστήριοι και να μην έπασχαν από κάποια καρδιαγγειακή, αναπνευστική και μεταβολική ασθένεια. Οι συμμετέχοντες και οι κηδεμόνες τους έλαβαν σαφείς οδηγίες για το πειραματικό πρωτόκολλο, τους σκοπούς και την επικινδυνότητα της μελέτης πριν υποβάλλουν γραπτή συναίνεση. Το πειραματικό πρωτόκολλο εγκρίθηκε από την επιτροπή Δεοντολογίας του Τμήματος Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, (αρ.πρωτ.555) σε συμφωνία με την διακήρυξη του Ελσίνκι (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β). Η παραπάνω έρευνα εγκρίθηκε ως κλινική μελέτη ID: NCT04241900

Πειραματικό Πρωτόκολλο

Σε όλους τους δοκιμαζόμενους ζητήθηκε να εκτελέσουν το παλίνδρομο τεστ 20μ. μέχρι εξαντλήσεως (Flouris, Metsios, & Koutedakis, 2005; Leger, Mercier, Gadoury, & Lambert, 1988). Όλες οι δοκιμασίες έγιναν σε κλειστά γυμναστήρια κάτω από

παρόμοιες περιβαλλοντικές συνθήκες (26-30°C θερμοκρασία αέρα; 40-50% σχετική υγρασία). Το περιβάλλον θεωρήθηκε ως μέτρια ζεστό και φυσιολογικά ανεκτό (23.2-25.7°C WBGT; 28.6-32.0°C θερμοκρασία). Οι δοκιμαζόμενοι έπρεπε να απέχουν από κάθε είδους έντονης άσκησης, αλκοόλ και καφεΐνη για 24ώρες πριν τη δοκιμασία. Επίσης, τους δόθηκε η οδηγία να καταναλώσουν 500 mL νερό τις τελευταίες 2 ώρες πριν από τη δοκιμασία προκειμένου να είναι καλά ενυδατωμένοι καθώς και να καταναλώσουν ένα ελαφρύ γεύμα τουλάχιστον 2 ώρες πριν.

Κατά την άφιξή τους οι δοκιμαζόμενοι φορούσαν παπούτσια για τρέξιμο, σορτς, βαμβακερές κάλτσες και ένα βαμβακερό μπλουζάκι. Στη συνέχεια έλαβαν αναλυτικές οδηγίες για το παλίνδρομο τεστ των 20μ. και για τον τρόπο μέτρησής του. Αρχικά οι δοκιμαζόμενοι συμπλήρωσαν το Διεθνές ερωτηματολόγιο φυσικής δραστηριότητας (IPAQ) μιας τυπικής εβδομάδας (Parathanasiou et al., 2009). Στη συνέχεια υποβλήθηκαν σε ανθρωπομετρήσεις (σωματικό ύψος και βάρος) και σε εκτίμηση των αρχικών θερμοκρασιών του σώματος. Κατόπιν έκαναν 5 λεπτά ζέσταμα και εκτέλεσαν το παλίνδρομο τεστ 20μ. μέχρι εξαντλήσεως. Κατά την ολοκλήρωση του τεστ εκτιμήθηκε πάλι η θερμοκρασία σώματος και το σωματικό βάρος. Ο ΡΕΟΣ (εκφράστηκε σε $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{min}$) υπολογίστηκε από τη μεταβολή του σωματικού βάρους μεταξύ των μετρήσεων διαιρούμενος από την επιφάνεια σώματος για κάθε λεπτό άσκησης. Οι δοκιμαζόμενοι μετά το τέλος του τεστ δε σκουπίζονταν έως ότου να ζυγιστούν με αποτέλεσμα οι αλλαγές του σωματικού βάρους να αντανakλούν το μέγεθος του ιδρώτα που εξατμίστηκε. Δεν επιτρεπόταν η κατανάλωση υγρών και φαγητού μεταξύ των μετρήσεων του σωματικού βάρους.

Μετρήσεις

Το σωματικό ύψος εκτιμήθηκε σε αναστημόμετρο στο πλησιέστερο εκατοστό του μέτρου (Seca 213; seca GmbH & Co. KG; Hamburg, Germany). Το σωματικό βάρος αξιολογήθηκε σε ηλεκτρονική ζυγαριά ακριβείας στα 0,001 Kg (Kern DE 150K2D, KERN & SOHN GmbH, Balingen, Germany). Αυτές οι μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της επιφάνειας σώματος (Du Bois & Du Bois, 1916). Η θερμοκρασία σώματος εκτιμήθηκε στη μασχάλη (T_a) μέσω ενός ηλεκτρονικού θερμόμετρου (EcoTemp, OMRON, Japan) το οποίο κρατιόταν σταθερά κάτω από την αριστερή μασχάλη. Η $\dot{V}O_2\max$ προσδιορίστηκε μέσω του παλίνδρομου τεστ αντοχής 20μ. (Flouris et al., 2005; Leger et al., 1988). Κατά την εκτέλεση του τεστ, οι δοκιμαζόμενοι έπρεπε να τρέξουν μεταξύ των δύο γραμμών οι οποίες βρίσκονταν σε απόσταση μεταξύ τους 20 μέτρα ακολουθώντας τον ρυθμό που δίνονταν από τα ηχητικά σήματα ενός ηχογραφημένου CD. Η συχνότητα των ηχητικών σημάτων αυξανόταν με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε η δρομική ταχύτητα αυξανόταν κατά 0.5 km/h ανά λεπτό, με αρχική ταχύτητα τα 8.5 km/h. Το τεστ τελείωνε όταν οι δοκιμαζόμενοι κουράζονταν ή δεν μπορούσαν να φθάσουν στις τελικές γραμμές ταυτόχρονα με το ηχητικά σήματα για δύο συνεχόμενες φορές. Οι δοκιμαζόμενοι ενθαρρύνονταν συνεχώς στο να καταβάλλουν το μέγιστο των δυνατοτήτων τους. Η μέγιστη ταχύτητα που αντιστοιχούσε στο τελευταίο ολοκληρωμένο στάδιο χρησιμοποιούνταν για τον υπολογισμό της $\dot{V}O_2\max$.

Στατιστικές Αναλύσεις

Μονής κατεύθυνσης ανάλυση διακύμανσης με post-hoc t-tests συμπεριλαμβάνοντας προσαρμογές Bonferroni χρησιμοποιήθηκε για να εκτιμηθεί η επίδραση της ηλικίας. Επίσης, η κατά ζεύγη σύγκριση των ηλικιακών ομάδων έγινε μέσω του μεγέθους της επίδρασης Cohen's (d). Ο συντελεστής συσχέτισης Pearson χρησιμοποιήθηκε για την

σχέση μεταξύ του ΡΕΟΣ με τη $\dot{V}O_2\max$ και την ηλικία. Σταδιακή ανάλυση παλινδρόμησης χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση της μεμονωμένης και συνδυαστικής επίδραση της ηλικίας και της $\dot{V}O_2\max$ στο ΡΕΟΣ. Το επίπεδο σημαντικότητας για όλες τις αναλύσεις ορίστηκε στο 0.5 ($p < 0.05$) και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως $M.O \pm T.A.$.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η χρονική διάρκεια άσκησης και η απώλεια ιδρώτα όλου του σώματος αυξήθηκαν γραμμικά με την αύξηση της ηλικίας με $r=0.531$ και $r=0.729$ αντίστοιχα ($p < 0.001$) (Πίνακας 1). Όπως ήταν αναμενόμενο, η απώλεια ιδρώτα όλου του σώματος αυξήθηκε ανάλογα με την διάρκεια της άσκησης με $r=0.644$ ($p < 0.001$), φθάνοντας στα 350 g ανά 12 λεπτά έντονης άσκησης (Γράφημα 1). Όταν η $\dot{V}O_2\max$ εκφράστηκε σε απόλυτες τιμές (L/min) αυξήθηκε ανάλογα με την ηλικία με $r=0.772$ ($p < 0.001$) αρχίζοντας από την ηλικία των 11 ετών και φθάνοντας σε μία επίπεδη κατάσταση στην ηλικία των 14 ετών με $F_{(8, 295)}=58.03$ ($p < 0.001$) (Γράφημα 2:A). Ωστόσο όταν η $\dot{V}O_2\max$ προσδιορίστηκε με βάση τη σωματική μάζα (ml/kg/min) δεν επηρεάζεται στατιστικά σημαντικά από την ηλικία με $F_{(8, 295)}=1.59$ ($p=0.126$) (Γράφημα 2:B). Ο ΡΕΟΣ βρέθηκε ότι δεν αυξάνεται σημαντικά από την ηλικία των 9 έως και 13 ετών ενώ αυξάνεται σημαντικά έως την ηλικία των 14 ετών όπου παραμένει σταθερός από εκεί και έπειτα έως την ηλικία των 17 ετών με $F_{(8, 295)}=8.51$ ($p < 0.001$) (Γράφημα 2:C). Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρήθηκαν σε σχέση με την επίδραση της ηλικίας στη φυσική δραστηριότητα με $F_{(8, 295)}=4.52$, ($p < 0.001$) (Γράφημα 2:E). Ωστόσο η ηλικία δεν φαίνεται να επηρεάζει τις T_a με $F_{(8, 295)}=1.34$ ($p=0.220$) (Γράφημα 2:D).

Ο ΡΕΟΣ συσχετίζεται στατιστικά σημαντικά με την ηλικία και την $\dot{V}O_2\max$ με $r=0.369$ και $r=0.429$ αντίστοιχα ($p < 0.001$) (Γράφημα 2:F). Μια σταδιακή ανάλυση

παλινδρόμησης έδειξε ότι η ηλικία εξηγεί το 13.6% της μεταβλητότητας της ΡΕΟΣ με $F_{(1, 302)}=47.58$ ($p<0.001$). Όταν η $\dot{V}O_2\max$ (L/min) προστέθηκε ως ανεξάρτητη μεταβλητή σε ένα 2^ο μοντέλο [$F_{(1, 301)}=34.74$, $p<0.001$], τότε ερμηνεύεται το 18.8% της μεταβλητότητας του ΡΕΟΣ (R^2 change: 5.1%, $F=19.06$, $p<0.001$). Σε αυτό το 2^ο μοντέλο, η ηλικία δεν συμβάλλει στατιστικά σημαντικά στην πρόβλεψη του ΡΕΟΣ ($t=0.94$, $p=0.252$) ενώ η $\dot{V}O_2\max$ θεωρήθηκε ως στατιστικά σημαντικός δείκτης πρόβλεψης του ΡΕΟΣ ($t=4.37$, $p<0.001$).

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η εξάτμιση του ιδρώτα αποτελεί τον κύριο μηχανισμό απώλειας θερμότητας κατά τη διάρκεια άσκησης σε θερμό ή ζεστό περιβάλλον. Η σημαντικότητα της εξάτμισης του ιδρώτα βρίσκεται στην υψηλή λανθάνουσα θερμότητα της εξάτμισης, που είναι 2426J ανά γραμμάριο ιδρώτα που εξατμίζεται (C. B. Wenger, 1972). Κάθε φορά που εξατμίζεται το νερό του ιδρώτα από την επιφάνεια του σώματος δαπανάται η αντίστοιχη θερμική ενέργεια η οποία μεταφέρεται στον αέρα προκαλώντας έτσι τη ψύξη του ιδρώτα που παραμένει σε υγρή μορφή και, εν συνεχεία, της επιδερμίδας (G. P. Kenny & A. D. Flouris, 2014c). Ο ρυθμός έκκριση ιδρώτα (νερού) από τους εκκρινείς ιδρωτοποιούς αδένες αυξάνεται σε συνδυασμό με την αύξηση του αριθμού των ιδρωτοποιών αδένων που δραστηριοποιούνται και του ποσού του ιδρώτα που απελευθερώνεται από κάθε αδένα. Δεδομένου ότι ο ΡΕΟΣ στα παιδιά και τους εφήβους κατά την άσκηση στη ζέστη είναι μειωμένος (Falk & Dotan, 2008, 2011), στη μελέτη αυτή εξετάστηκε η πορεία εξέλιξης του ΡΕΟΣ κατά την παιδική ηλικία και εφηβεία καθώς και η επίδραση της ηλικίας και του επιπέδου φυσικής κατάστασης σε αυτό. Τα κύρια συμπεράσματά μας είναι ότι: (1) ο ΡΕΟΣ είναι σημαντικά χαμηλότερος στις ηλικίες 9-13 ετών σε σχέση με τις ηλικίες 14-17 ετών, (2) τα παιδιά και οι έφηβοι με

υψηλότερο επίπεδο φυσικής κατάστασης έχουν και υψηλότερο ΡΕΟΣ και (3) τα παιδιά και οι έφηβοι που ασκούνται με υψηλή/μέγιστη ένταση σε μέτρια θερμά περιβάλλοντα θα πρέπει να προσθέτουν ένα ποτήρι νερό στην ημερήσια κατανάλωση νερού τους για κάθε 8 έως 12 λεπτά άσκησης που κάνουν.

Η μεγαλύτερη ικανότητα για αποβολή της θερμότητας – όπως φαίνεται από τον αυξημένο ΡΕΟΣ – στα παιδιά και τους εφήβους με υψηλό επίπεδο φυσικής κατάστασης ($\dot{V}O_2\max$) είναι ίδια με αυτή των ενηλίκων (Notley et al., 2019; Stapleton et al., 2015), το οποίο αποδεικνύει την ευεργετική επίδραση της $\dot{V}O_2\max$ στο ΡΕΟΣ που οφείλεται στην νωρίτερο έναρξη της εφίδρωσης κατά την άσκηση σε συνδυασμό με τον αυξημένο ρυθμό παραγωγής ιδρώτα καθώς η άσκηση εξελίσσεται. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν αναφερθεί σε άτομα που κάνουν προπόνηση αντοχής (Henane, Flandrois, & Charbonnier, 1977; Tankersley, Smolander, Kenney, & Fortney, 1991). Μια άλλη πιθανή εξήγηση για τον αυξημένο ΡΕΟΣ στα άτομα με υψηλότερο $\dot{V}O_2\max$ είναι ο εγκλιματισμός στη ζέστη λόγω της τακτικής έκθεσής τους σε έντονη προπόνηση (Buono & Sjöholm, 1988; Cheung & McLellan, 1998; C. Gisolfi & Robinson, 1969; Havenith & van Middendorp, 1990; Selkirk & McLellan, 2001).

Ένα ενδιαφέρον συμπέρασμα από την μελέτη πεδίου είναι η ποσότητα νερού που χάνεται κατά την διάρκεια του τεστ, το οποίο κυμαίνεται από 50ml, για αυτούς που κάνουν 2-3 λεπτά έντονης άσκησης, στα 350ml για αυτούς που κάνουν 12 λεπτά έντονης άσκησης. Αυτό αναδεικνύει το ζήτημα την κατάλληλης ενυδάτωσης το οποίο είναι ζωτικής σημασίας για τα παιδιά σχολικής ηλικίας τα οποία πίνουν ίσως λιγότερο νερό από το συνιστώμενο λόγω της αποτροπής χρήσης των τουαλετών κατά την διάρκεια του μαθήματος (Ko, Chuang, Champeau, Allen, & Copp, 2016; Molloy, Gandy, Cunningham, & Slattery, 2008). Λόγω των αρνητικών επιπτώσεων της χαμηλής πρόσληψης νερού και της αφυδάτωσης στη φυσιολογία και γνωστική λειτουργία των

παιδιών (Kavouras et al., 2017; Suh & Kavouras, 2019). Θα πρέπει οι ειδικοί φυσικής αγωγής, άσκησης και υγείας να είναι γνώστες των υπαρχόντων οδηγιών για την πρόσληψη νερού και να συμβουλεύουν τα παιδιά για την κατάλληλη αναπλήρωση της καθημερινής ποσότητας, όταν αυτά αθλούνται έντονα σε θερμά περιβάλλοντα. Το Ινστιτούτο Ιατρικής των Ηνωμένων Πολιτειών συνιστάται την κατανάλωση 2400 ml νερού ανά ημέρα στα αγόρια ηλικίας 9-13 ετών και αντίστοιχα 3300ml για αγόρια ηλικίας 14-17 ετών (Food and Nutrition Board, 2004). Η Ευρωπαϊκή Αρχή για την Ασφάλεια των Τροφίμων συνιστάται την πρόσληψη 2100 ml νερού ανά ημέρα στα αγόρια ηλικίας 9-13 ετών και αντίστοιχα 2500ml για αγόρια ηλικίας 14-17 ετών (EFSA Panel on Dietetic Products, 2010). Τα μισά παιδιά δεν ακολουθούν αυτές τις οδηγίες με αποτέλεσμα να είναι αφυδατωμένα (Kavouras et al., 2017), ενώ πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι το 55-60% των παιδιών παγκοσμίως δεν ακολουθούν τις οδηγίες αυτές (E. L. Kenney, Long, Craddock, & Gortmaker, 2015; Suh & Kavouras, 2019). Το πιο σημαντικό, αυτές οι συστάσεις για την πρόσληψη νερού «...ισχύουν μόνο για μέτριες περιβαλλοντικές συνθήκες και για μέτρια επίπεδα φυσικής δραστηριότητας» (EFSA Panel on Dietetic Products, 2010). Οι απώλειες νερού που αντιμετωπίζουν παιδιά που ασκούνται σε υψηλές/μέγιστες εντάσεις σε μέτρια θερμά περιβάλλοντα θα πρέπει να αναπληρωθούν με τις ποσότητες που φαίνονται στο Γράφημα 1. Σε περιπτώσεις παρατεταμένης άσκησης και/ή υψηλής έκθεσης σε ζέστη, οι ηλεκτρολύτες που χάνονται με τον ιδρώτα θα πρέπει να αναπληρωθούν προκειμένου να αποφευχθεί η διαταραχή της ωσμωτικής ισορροπίας.

Στη μελέτη χρησιμοποιήθηκε το παλίνδρομο τεστ 20μ. ως ένα είδος άσκησης προκειμένου να γίνει ακριβής προσδιορισμός την απόστασης που κάνουν οι δοκιμαζόμενοι και της έντασης της άσκησης, καθώς επίσης να αποφευχθεί ο κίνδυνος καρδιακών επιπλοκών χρησιμοποιώντας ένα διαβαθμισμένο τεστ. Ωστόσο, η χρήση

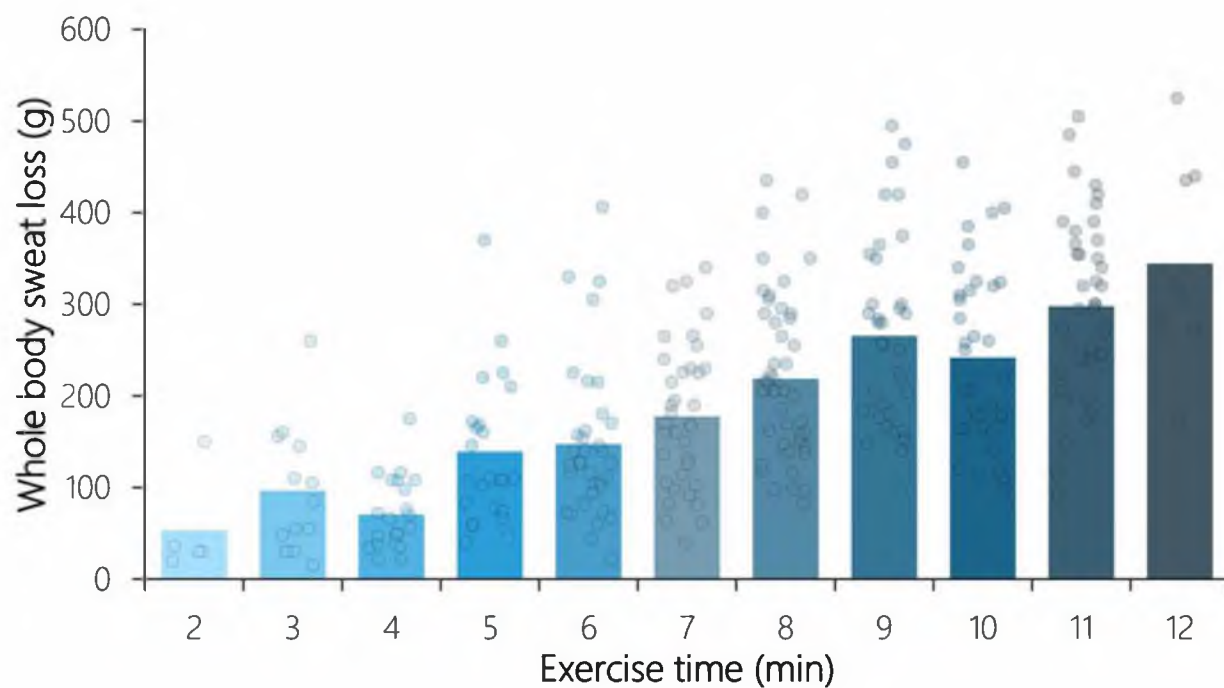
αυτού του τεστ δεν μας επέτρεψε να διερευνήσουμε ξεχωριστά τις πιθανές επιδράσεις του χρόνου άσκησης και της $\dot{V}O_2\text{max}$ στο ΡΕΟΣ διότι το παλίνδρομο τεστ 20μ. υπολογίζει τη $\dot{V}O_2\text{max}$ με βάση το συνολικό χρόνο άσκησης. Ένας άλλος σημαντικός περιορισμός είναι ότι δεν εκτιμήθηκε η βιολογική ηλικία των δοκιμαζόμενων. Επίσης, δεν μπόρεσε να εκτιμηθεί η συνολική ποσότητα νερού στο σώμα ή η ημερήσια κατανάλωση τροφίμων και νερού στους δοκιμαζόμενους. Επομένως δεν θα μπορούσαμε να βγάλουμε συμπεράσματα σχετικά με την επίδραση αυτών των παραγόντων στο ΡΕΟΣ. Με βάση αυτούς τους περιορισμούς, συμπεραίνεται ότι ο ΡΕΟΣ είναι στατιστικά σημαντικά χαμηλότερος στα αγόρια ηλικίας 9-13 ετών σε σύγκριση με αυτά των 14-17 ετών, και ότι τα παιδιά και οι έφηβοι με υψηλότερο $\dot{V}O_2\text{max}$ έχουν και υψηλότερο ΡΕΟΣ. Επίσης, τα παιδιά και οι έφηβοι που ασκούνται με υψηλή/μέγιστη ένταση σε μέτρια ζεστό περιβάλλον για 8-12 λεπτά θα πρέπει να προσθέτουν ένα ποτήρι νερό στην ημερήσια κατανάλωση υγρών τους.

Πίνακας 4.1. Ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά , διάρκεια άσκησης και ρυθμός εφίδρωσης όλου του σώματος.

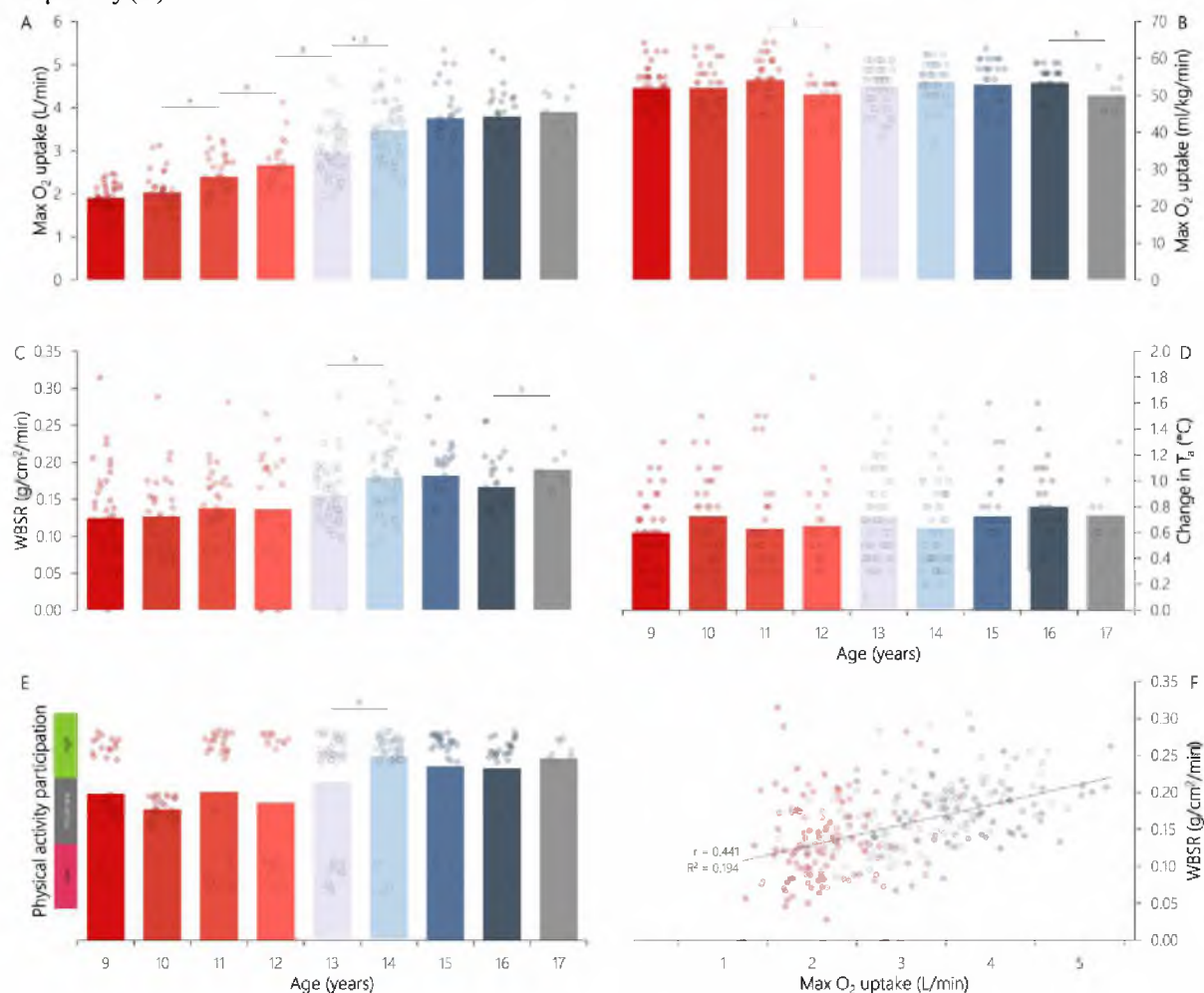
<i>Ηλικίες</i>	<i>Ηλικιακές Ομάδες</i>				
	9-17	9-11	12-13	14-15	16-17
Σύνολο δείγματος	304	111	78	79	36
Ύψος (m)	1.62±0.16	1.47±0.09	1.65±0.10*	1.77±0.08*	1.78±0.09
ΔΜΣ (kg/m ³)	20.42±3.41	18.50±2.68	20.84±3.56*	21.64±2.97	22.69±3.16
Επιφάνεια σώματος (m ²)	1.58±0.31	1.28±0.14	1.60±0.20*	1.82±0.19*	1.91±0.21
Διάρκεια άσκησης (min)	7.64±2.54	6.23±2.53	7.47±2.19*	8.96±1.95*	9.47±1.70
ΡΕΟΣ (g)	202.6±115.1	105.3±57.0	198.6±77.5*	296.4±108.0*	305.6±66.6

Σημείωση: * = διαφορά από προηγούμενη ηλικιακή ομάδα (p<0.05), ΔΜΣ= δείκτης μάζας σώματος, ΡΕΟΣ: ρυθμός εφίδρωσης όλου του σώματος

Γράφημα 4.1. Ρυθμός εφίδρωσης όλου του σώματος σε παιδιά και εφήβους ηλικίας 9-17 ετών ως συνάρτηση του χρόνου άσκησης στο παλίνδρομο τεστ 20μ. Οι μπάρες δείχνουν το μέσο όρο για κάθε λεπτό άσκησης.



Γράφημα 4.2. Διαφορές διάφορων παραμέτρων σε σχέση με την ηλικία (A-E) και η σχέση ανάμεσα στη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου και το ρυθμό εφίδρωσης όλου του σώματος (F).



Σημείωση: οι μπάρες στα γραφήματα αντιπροσωπεύουν τις μέσες τιμές για την κάθε ηλικιακή ομάδα
 *: στατιστικά σημαντική διαφορά ($p < 0.05$) ανάμεσα στις ηλικίες. a: μεγάλη (≥ 0.8) επίδραση ανάμεσα στις ηλικίες. b: μέτρια (0.5-0.79) επίδραση ανάμεσα στις ηλικίες. WBSR ρυθμός εφίδρωσης όλου του σώματος. T_a θερμοκρασία μασχάλης

Κεφάλαιο Πέντε

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΩΜΑΤΙΚΟΥ ΛΙΠΟΥΣ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΣΩΜΑΤΟΣ ΣΤΙΣ ΘΕΡΜΟΥΘΜΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΛΗΠΤΙΚΕΣ ΑΝΤΑΠΟΚΡΙΣΕΙΣ ΕΦΗΒΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΚΘΕΣΗ ΣΕ ΘΕΡΜΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ

Η μελέτη αυτή πραγματοποιήθηκε από την Μισαηλίδη Μαρία και τον Δρ. Ανδρέα Δ. Φλουρή, στο Εργαστήριο Περιβαλλοντικής Φυσιολογίας FAME Lab. Στο σχεδιασμό της μελέτης συμμετείχαν και οι δύο συγγραφείς. Η Μισαηλίδη Μαρία πραγματοποίησε εξολοκλήρου το πειραματικό πρωτόκολλο της μελέτης (προκαταρκτική και δύο πειραματικές συνεδρίες), και υλοποίησε τη συλλογή των δεδομένων. Οι στατιστικές αναλύσεις και η ερμηνεία των δεδομένων πραγματοποιήθηκαν από τη Μισαηλίδη Μαρία. Η ίδια η συγγραφέας έχει την ευθύνη για την ακεραιότητα και την ακρίβεια των δεδομένων ανάλυσης.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ατομικές διακυμάνσεις των θερμορυθμιστικών ανταποκρίσεων κατά την έκθεση σε συνθήκες θερμικού φορτίου είναι αναμφισβήτητα μεγάλες. Αρκετοί παράγοντες όπως τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά, το επίπεδο φυσικής κατάστασης, η ηλικία, η ενυδάτωση και ο εγκλιματισμός του οργανισμού παίζουν καθοριστικό ρόλο στις θερμορυθμιστικές και αντιληπτικές ανταποκρίσεις του (θερμοκρασίες σώματος, ρυθμός εφίδρωσης όλου του σώματος και τοπικά, υποκειμενική αίσθηση της κόπωσης,

θερμική άνεση και αίσθηση) και στην ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας στο σώμα του (Havenith, 2001; Selkirk & McLellan, 2001).

Ο λιπώδης ιστός έχει χαμηλότερη θερμική ικανότητα σε σχέση με το μη λιπώδη, όπως τους μύες, τα οστά και το αίμα. Επομένως τα άτομα με υψηλότερο ποσοστό σωματικού λίπους θα έχουν χαμηλότερη θερμική ικανότητα σε όλο το σώμα και ως εκ τούτου υψηλότερο ρυθμό αύξησης της θερμοκρασίας του πυρήνα σε ένα δεδομένο ποσό αποθήκευσης θερμότητας (Kakitsuba & Mekjavic, 1987). Δικαιολογημένα, λοιπόν, η παχυσαρκία θεωρείται σημαντικός παράγοντας για την αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος κατά την έκθεση σε συνθήκες θερμικού φορτίου (Casa, Armstrong, Ganio, & Yeargin, 2005; W. L. Kenney, 1985a; Roberts, 2004; Seto, Way, & O'Connor, 2005). Επιδημιολογικά στοιχεία, επίσης, υποστηρίζουν ότι τα παχύσαρκα άτομα διατρέχουν υψηλότερο κίνδυνο σε ασθένειες που σχετίζονται με τη ζέστη, όπως η θερμική εξάντληση και η θερμοπληξία, σε σύγκριση με τα άτομα φυσιολογικού βάρους (Bedno et al., 2010; Wallace et al., 2006). Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι τα παχύσαρκα άτομα πιθανά χαρακτηρίζονται από μειωμένες θερμορυθμιστικές και αντιληπτικές ανταποκρίσεις κατά την έκθεσή τους σε θερμικό φορτίο (άσκηση, θερμό περιβάλλον) – εκτός από το χαμηλό επίπεδο φυσικής κατάστασης – σε σχέση με τα άτομα φυσιολογικού βάρους. Ωστόσο οι απόψεις των εργαστηριακών μελετών που σχετίζονται με την απάντηση της θερμοκρασίας του οργανισμού ανάμεσα σε παχύσαρκους και μη κατά την έκθεσή τους σε θερμικό φορτίο δίστανται καθώς σε άλλες παρατηρείται αύξηση (Deren, Coris, Bain, Walz, & Jay, 2012; Havenith & van Middendorp, 1990) ενώ σε άλλες παραμένει η ίδια (Haymes, Buskirk, Hodgson, Lundegren, & Nicholas, 1974; Limbaugh, Wimer, Long, & Baird, 2013; Sehl, Leites, Martins, & Meyer, 2012). Ωστόσο θα πρέπει να διερευνηθεί χωριστά η επίδραση του ποσοστού σωματικού λίπους στις θερμορυθμιστικές

ανταποκρίσεις των παιδιών εξαιτίας των σωματικών και φυσιολογικών τους διαφορών σε σχέση με τους ενήλικες (Falk, 1998). Μελέτη σε παχύσαρκα και μη κορίτσια προεφηβικής ηλικίας έδειξε ότι δεν υπήρχαν διαφορές σε θερμορυθμιστικές και αντιληπτικές ανταποκρίσεις του οργανισμού κατά την διάρκεια άσκησης ίδιας έντασης με ποδήλατο τόσο σε θερμό όσο και σε θερμικά ουδέτερο περιβάλλον (Leites, Sehl, Cunha Gdos, Detoni Filho, & Meyer, 2013). Επίσης μελέτες σύγκρισης των θερμορυθμιστικών και αντιληπτικών ανταποκρίσεων σε παχύσαρκα και μη αγόρια κατά την άσκηση ίδιας έντασης ($\%VO_{2peak}$) στη ζέστη έδειξαν ότι δεν υπήρχε διαφορά στην ενδογαστρική θερμοκρασία (Sehl et al., 2012) και στη θερμοκρασία του ορθού (Dougherty, Chow, & Kenney, 2010). Αντίθετα σε μελέτη ανάμεσα σε υπέρβαρα και κανονικού βάρους κορίτσια κατά τη διάρκεια περπατήματος με την ίδια ταχύτητα βρέθηκε διαφορά στη θερμοκρασία του ορθού (Haymes et al., 1974).

Επίσης σε υψηλές θερμοκρασίες πυρήνα, η δερματική αιματική ροή στους παχύσαρκους ίσως είναι εξασθενημένη (Vroman et al., 1983). Διαφορές στις απόψεις των ερευνητών υπάρχουν και ως προς τον ρυθμό εφίδρωσης. Ο Dougherty και οι συνεργάτες του (Dougherty et al., 2010) υποστηρίζουν ότι ο ρυθμός εφίδρωσης σε σχέση με το μέγεθος της επιφάνειας σώματος είναι χαμηλότερος στα παχύσαρκα αγόρια σε σύγκριση με τα μη παχύσαρκα, γεγονός που υποδηλώνει ότι ο μηχανισμός ψύξης μέσω της εξάτμισης είναι μειωμένος στα παχύσαρκα αγόρια. Σε αντίθεση βρέθηκε ότι δεν υπάρχει διαφορά στο συνολικό ποσό του ιδρώτα που παράγεται στο σώμα, χωρίς όμως αυτός να έχει αντισταθμιστεί με το μέγεθος της επιφάνειας σώματος, ανάμεσα σε παχύσαρκα και μη αγόρια (Haymes, McCormick, & Buskirk, 1975) και παχύσαρκα και μη κορίτσια (Haymes et al., 1974).

Το μέγεθος της επιφάνειας σώματος διαδραματίζει επίσης σημαντικό ρόλο στις μεταβολές της θερμοκρασίας του πυρήνα του σώματος καθώς επηρεάζει τον ρυθμό

ανταλλαγής θερμότητας ανάμεσα στο δέρμα και τον ατμοσφαιρικό αέρα. Τα παχύσαρκα άτομα πιθανά να μειονεκτούν σε σχέση με τα μη παχύσαρκα εξαιτίας του μικρότερου λόγου της επιφάνειας σώματος με τη μάζα (Epstein, Shapiro, & Brill, 1983) αλλά και της μικρότερης πυκνότητας των ιδρωτοποιών αδένων ανά μονάδα σωματικής επιφάνειας (Bar-Or, Magnusson, & Buskirk, 1968). Ωστόσο σε ασκήσεις που δε φέρεται το βάρος του σώματος, όπως η ποδηλασία, και υπάρχει ίδια παραγωγή θερμότητας, πιθανά να πλεονεκτούν οι παχύσαρκοι καθώς έχουν μεγαλύτερη επιφάνεια σώματος διαθέσιμη για την εξάτμιση του ιδρώτα (Adams et al., 2015). Πράγματι σε έρευνα ενηλίκων βρέθηκε ότι οι μεγαλόσωμοι είχαν μικρότερη αύξηση της θερμοκρασίας του πυρήνα σε σχέση με του μικρόσωμους παρά το γεγονός ότι ο ρυθμός εφίδρωσης όλου του σώματος ήταν ο ίδιος (Cramer & Jay, 2014). Ωστόσο το παραπάνω δεν έχει διερευνηθεί σε παιδιά που διαφέρουν από τους ενήλικες από άποψη φυσιολογίας του οργανισμού και ανθρωπομετρικών χαρακτηριστικών (Falk, 1998).

Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι να μελετηθεί διεξοδικά η επίδραση των παραγόντων του σωματικού λίπους και του μεγέθους της επιφάνειας σώματος σε εφήβους σε σχέση με τις θερμορυθμιστικές και αντιληπτικές ανταποκρίσεις τους κατά τη διάρκεια 30 λεπτών άσκησης και αποκατάστασης με ποδήλατο με την ίδια παραγωγή θερμότητας (5W/kgf σωματικής μάζας) σε θερμικά ουδέτερο (ΟΠ) και ζεστό περιβάλλον (ΘΠ) με 24°C και 32°C αντίστοιχα θερμοκρασία και 40% υγρασία. Λαμβάνοντας υπόψη τις επιπτώσεις που έχει το σωματικό λίπος και το μέγεθος της επιφάνειας σώματος στη θερμοκρασία του πυρήνα υποθέσαμε ότι οι παχύσαρκοι και οι μικρόσωμοι έφηβοι θα έχουν υψηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τους εφήβους που έχουν κανονικό βάρος και είναι μεγαλόσωμοι.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Συμμετέχοντες και έγκριση ηθικής

Στη μελέτη συμμετείχαν 12 έφηβοι ηλικίας από 14–17 ετών, των οποίων τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Οι δοκιμαζόμενοι ήταν μη καπνιστές και δεν έπασχαν από κάποιο καρδιαγγειακό, αναπνευστικό και μεταβολικό νόσημα εκτός της παχυσαρκίας. Επίσης το χρονικό διάστημα που συμμετείχαν στη μελέτη δεν έπαιρναν κάποια φαρμακευτική αγωγή που θα επηρέαζε την θερμορυθμιστική απάντηση του οργανισμού. Οι δοκιμαζόμενοι με βάση το ποσοστό του σωματικού τους λίπους κατηγοριοποιήθηκαν σε παχύσαρκους και μη, ≥ 25 και ≤ 25 % σωματικού λίπους αντίστοιχα (de Ferranti et al., 2004), σε καλής και κακής φυσική κατάσταση σύμφωνα με τις εκτιμήσεις της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (VO_{2max}) και τις νόρμες που βασίζονται στην ηλικία για την VO_{2max} (Shvartz & Reibold, 1990) και με βάση το μέγεθος της επιφάνειας σώματός τους σε μεγάλωσωμους και μικρόσωμους, $\geq 1.80m^2$ και $\leq 1.80 m^2$ αντίστοιχα (Cramer & Jay, 2014). Το πειραματικό πρωτόκολλο της μελέτης εγκρίθηκε από την επιτροπή Δεοντολογίας του Τμήματος Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, (αρ.πρωτ.1096) σε συμφωνία με την διακήρυξη του Ελσίνκι (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β) και ήταν ίδιο για όλους τους δοκιμαζόμενους. Οι συμμετέχοντες και οι κηδεμόνες τους έλαβαν σαφείς οδηγίες για το πειραματικό πρωτόκολλο, τους σκοπούς και την επικινδυνότητα της μελέτης πριν υποβάλλουν γραπτή συναίνεση. Η συμμετοχή των δοκιμαζόμενων ήταν προαιρετική και ανά πάσα στιγμή θα μπορούσαν να διακόψουν τις δοκιμασίες. Μέλημα των ερευνητών ήταν να διατηρηθεί αυστηρά η ανωνυμία των δοκιμαζόμενων. Για το λόγο αυτό τον κάθε δοκιμαζόμενο αντιπροσώπευε ένας προσωπικός κωδικός που παρέμενε ο ίδιος καθ' όλη την διάρκεια της διαδικασίας.

Πειραματικό Πρωτόκολλο

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε τη χρονική περίοδο από Μάρτιο έως Ιούλιο και περιλάμβανε μια προκαταρκτική και δύο πειραματικές συνεδρίες. Συγκεκριμένα η προκαταρκτική συνεδρία έγινε για όλους του δοκιμαζόμενους από τα μέσα Μαρτίου έως και τα τέλη Μαΐου ενώ οι πειραματικές συνεδρίες από τα μέσα Ιουνίου έως τις αρχές Ιουλίου προκειμένου οι δοκιμαζόμενοι να έχουν υποστεί την ίδια θερμικά περιβαλλοντική επιβάρυνση και εγκλιματισμό στη ζέστη. Ο κάθε δοκιμαζόμενος εκτελούσε τις δύο πειραματικές συνεδρίες την ίδια ώρα της ημέρας, προκειμένου να αποφευχθούν οι ενδοατομικές διαφορές στις θερμορυθμιστικές απαντήσεις του οργανισμού λόγω του κερκαδικού ρυθμού (Van Someren et al., 2002) και σε απόσταση 48 ωρών η μία από την άλλη.

Προκαταρκτική συνεδρία. Οι δοκιμαζόμενοι εισήλθαν με τους γονείς τους στον εργαστηριακό χώρο και έλαβαν λεπτομερείς οδηγίες για το πειραματικό πρωτόκολλο της μελέτης. Κατά τη διάρκεια της πειραματικής συνεδρίας εκτιμήθηκε το επίπεδο φυσικής δραστηριότητας, τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά, το ποσοστό σωματικού λίπους και η αερόβια ικανότητα των δοκιμαζόμενων.

Πειραματική συνεδρία. Την ημέρα της πειραματικής συνεδρίας, οι δοκιμαζόμενοι θα έπρεπε να έχουν καταπιεί 3 ώρες πριν εισέλθουν στο εργαστήριο το χάπι για την εκτίμηση της θερμοκρασίας του πυρήνα του σώματος, επίσης να έχουν φάει ένα ελαφρύ γεύμα 2 ώρες πριν και να έχουν πει 0.5 λίτρο νερό προκειμένου να εξασφαλιστεί η απαραίτητη ενυδάτωση του οργανισμού. Όλοι οι συμμετέχοντες προσέρχονταν στο χώρο εξέτασης με αθλητικά παπούτσια, κοντό παντελόνι (σορτζ) και μια μπλούζα με κοντά μανίκια ή ένα φανελάκι έτσι ώστε να διασφαλιστεί ότι οι

μετρήσεις του βάρους και της θερμοκρασίας θα εξασφάλιζαν τα ίδια κριτήρια για όλους. Κατά την προσέλευσή τους στο εργαστήριο και πριν τη δοκιμασία εκτιμήθηκε το επίπεδο ενυδάτωσης και το σωματικό βάρος τους. Το σωματικό βάρος εκτιμήθηκε τρεις φορές: πριν, μετά και 30 λεπτά μετά τη δοκιμασία. Στη συνέχεια οι δοκιμαζόμενοι εισέρχονταν στο περιβαλλοντικό θάλαμο που ήταν ήδη ρυθμισμένος σε μία από τις δύο περιβαλλοντικές συνθήκες (ζέστη: 32°C και 40-50% υγρασία ή ουδέτερο περιβάλλον: 24°C και 40-50% υγρασία) και θα εκτελούσαν το πρωτόκολλο άσκησης. Η σειρά επιλογής των περιβαλλοντικών συνθηκών στο θάλαμο ήταν τυχαία. Το πρωτόκολλο άσκησης περιλάμβανε 30 λεπτά ποδήλατο σε κυκλοεργόμετρο με ένταση που οδηγούσε σε παραγωγή θερμότητας 5 Watt ανά κιλό σωματικής μάζας (Cramer & Jay, 2014). Κατά τη διέλευση στο θάλαμο ο δοκιμαζόμενος παρέμεινε σε ηρεμία για πέντε λεπτά και μετά πραγματοποιούσε την άσκηση. Μετά το τέλος της άσκησης θα παρέμενε σε καθιστή θέση για 30 λεπτά στο θάλαμο για ανάκαμψη. Συνεχής καταγραφή της καρδιακής συχνότητας, της θερμοκρασίας του πυρήνα, της μέσης θερμοκρασίας της επιφάνειας του σώματος και του ρυθμού εφίδρωσης του τραπεζοειδούς μυός γινόταν σε όλη τη διάρκεια της άσκησης και της ανάκαμψης. Κάθε 10 λεπτά κατά τη διάρκεια της άσκησης και της ανάκαμψης εκτιμήθηκαν οι δείκτες θερμικής αίσθησης και άνεσης ενώ κάθε 5 λεπτά εκτιμήθηκε ο δείκτης υποκειμενικής αίσθησης της κόπωσης. Σε όλη τη διάρκεια της δοκιμασίας δίνονταν η απαραίτητη ενθάρρυνση και παρακολούθηση των δοκιμαζόμενων. Η δοκιμασία διακοπτόταν εάν εμφανίζονταν δύο από τα παρακάτω στοιχεία στους δοκιμαζόμενους: θερμοκρασία πυρήνα > 39°C, καρδιακοί παλμοί ≥ 200 , υποκειμενική αίσθηση της κόπωσης > 19 και συμπτώματα ζάλης, ναυτίας, κεφαλαλγίας, μη ικανότητας διατήρησης της συχνότητας περιστροφής των πεντάλ, ή επιθυμία του εθελοντή για διακοπή της δοκιμασίας (Leites et al., 2013).

Μετρήσεις

Μέγιστης πρόσληψης Οξυγόνου (VO₂max). Η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου εκτιμήθηκε μέσω προοδευτικής έντασης άσκησης σε κυκλοεργόμετρο (CycleOps Power, 400 Pro). Το πρωτόκολλο που ακολουθήθηκε ήταν αρχικής έντασης άσκηση στα 40 Watt και αύξηση 20 Watt ανά λεπτό διατηρώντας σταθερό ρυθμό περιστροφής των πεντάλ στις 60 στροφές ανά λεπτό. Σε όλη τη διάρκεια του τεστ οι δοκιμαζόμενοι ενθαρρύνονταν λεκτικά στο να καταβάλλουν το μέγιστο των ικανοτήτων του. Η άσκηση τερματιζόταν όταν οι δοκιμαζόμενοι δεν μπορούσαν να διατηρήσουν τον αριθμό των περιστροφών στην άσκηση ή όταν παρουσιαζόταν μια από τις παρακάτω ενδείξεις: α) αίτημα για τερματισμό της μέτρησης από τον δοκιμαζόμενο, β) αναπνευστικό πηλίκο μεγαλύτερο του 1.15, γ) καρδιακή συχνότητα μεγαλύτερη του 200 καρδιακών παλμών ανά λεπτό, δ) κλίμακα υποκειμενικής αίσθησης της κόπωσης μεγαλύτερη του 19.

Ανάλυση Αερίων. Για την καταγραφή των αναπνευστικών παραμέτρων χρησιμοποιήθηκε αυτόματος αναλυτής αερίων (VMAX Encore 29, Carefusion, USA). Κατά τη διάρκεια της μέτρησης ο εθελοντής ανέπνεε διαμέσου μιας βαλβίδας μονής κατεύθυνσης που ήταν συνδεδεμένη με μια μάσκα προσώπου. Τα εκπνεόμενα αέρια χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (VO₂max) και του αναπνευστικού πηλίκου.

Ανθρωπομετρικά Στοιχεία. Το σωματικό βάρος εκτιμήθηκε σε ηλεκτρονική ζυγαριά ακριβείας 0.001kgf (Kern DE 150K2D, KERN & SOHN GmbH, Balingen, Germany) και το σωματικό ύψος σε αναστημόμετρο στο πλησιέστερο εκατοστό του μέτρου.

Επίπεδο Φυσικής Δραστηριότητας. Για τον προσδιορισμό του επιπέδου φυσικής δραστηριότητας χρησιμοποιήθηκε το Διεθνές Ερωτηματολόγιο Φυσικής Δραστηριότητας (International Physical Activity Questionnaire) (IPAQ) μιας τυπικής

εβδομάδας, πιστοποιημένο και έγκυρο για τον ελληνικό πληθυσμό (Parathanasiou et al., 2009).

Ειδικό βάρος ούρων. Η ενυδάτωση των δοκιμαζόμενων εκτιμήθηκε μέσω του ειδικού βάρους των ούρων. Δείγμα ούρων (20ml) συλλέχτηκε σε ουροσυλλέκτες πριν και μετά από την άσκηση. Η ανάλυση ούρων έγινε μέσω διαθλασίμετρου (Atago, Tokyo, Japan) και τιμή κριτηρίου ορίστηκε το 1,025. Ενυδατωμένος ορίστηκε κάποιος που το ειδικό βάρος των ούρων του ήταν μικρότερη της τιμής 1.025 σύμφωνα με τα διεθνή δεδομένα (Kavouras, 2002; Kenefick & Cheuvront, 2012).

Θερμοκρασία Πυρήνα. Η θερμοκρασία πυρήνα εκτιμήθηκε μέσω τηλεμετρίας από την κατάποση ενός τηλεμετρικού χαπιού (CorTemp, Human Technologies, Inc., St. Petersburg, USA), το οποίο κινείται ελεύθερα μέσα στο πεπτικό σύστημα και αποβάλλεται εντός 48 ωρών από την κατάποσή του (15). Το τηλεμετρικό χάπι έχει μήκος 2cm και διάμετρο 1.2cm. Αυτός ο αισθητήρας μεταδίδει ένα συνεχές χαμηλής συχνότητας ραδιοκύμα, που μεταβάλλεται με την θερμοκρασία. Τα σήματα λαμβάνονται και αποθηκεύονται από τον καταγραφέα δεδομένων και μεταβιβάζονται σε υπολογιστή μετά την ολοκλήρωση της συλλογής δεδομένων (O'Brien, Hoyt, Buller, Castellani, & Young, 1998).

Μέση Θερμοκρασία Δέρματος. Η θερμοκρασία δέρματος αξιολογήθηκε συνεχώς μέσω της χρήσης ειδικών αισθητήρων δέρματος (Mon-a-Therm, probe 400 TM), οι οποίοι εφαρμόζονται προσωρινά στο δέρμα με χρήση κολλητικής ταινίας μιας όψεως (tape). Οι θερμοκρασίες καταγράφηκαν σε μια φορητή μονάδα και αποθηκεύτηκαν σε ένα υπολογιστή (Smart Reader 8 Plus, ACR Systems, Surrey, BC, Canada). Η μέση θερμοκρασία δέρματος υπολογίστηκε μέσω της εξίσωσης του Ramanathan ως εξής:

δικέφαλος βραχιόνιος * 0.3 + μείζων θωρακικός * 0.3 + τετρακέφαλος * 0.2 + γαστροκνήμιος * 0.2, (Ramanathan, 1964).

Ρυθμός εφίδρωσης τραπεζοειδούς μυός και όλου του σώματος. Ο ρυθμός εφίδρωσης του τραπεζοειδούς μυός μετρήθηκε με αεριζόμενη κάψουλα 8.35cm^2 η οποία τοποθετήθηκε στο κατώτερο τμήμα του. Άνυδρος πεπιεσμένος αέρας περνάει μέσα από την κάψουλα και πάνω από την επιφάνεια του δέρματος (Brooks 5850, mass flow controller, Emerson electric, Hetfield, PA). Ο ρυθμός εφίδρωσης θα ορίζεται ως το γινόμενο της διαφοράς στην περιεκτικότητα νερού μεταξύ εκροής και εισροής αέρα και του ρυθμού ροής. Ο ρυθμός ροής διαμέσου της κάψουλας θα είναι $1.1\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$. Ο ρυθμός εφίδρωσης θα προσαρμόζεται στην επιφάνεια του δέρματος κάτω από την κάψουλα (δηλαδή 8.35cm^2) και εκφράζεται σε $\text{mg}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$. Τέλος, εκτιμήθηκε η συνολική απώλεια ιδρώτα όλου του σώματος αξιολογώντας τη διαφορά της μάζας σώματος μεταξύ των μετρήσεων.

Υπολογισμός Επιφάνειας Σώματος. Η επιφάνεια σώματος υπολογίστηκε με βάση τις μετρήσεις ύψους και βάρους σύμφωνα με την εξίσωση (Du Bois & Du Bois, 1989):

$$\text{Επιφάνεια Σώματος} = [\text{Βάρος}^{0.425} (\text{kg}) * \text{Ύψος}^{0.725} (\text{cm})] * 0.007184$$

Υπολογισμός Σωματικού λίπους. Το ποσοστό σωματικού λίπους εκτιμήθηκε μέσω της μεθόδου διπλής ενέργειας απορρόφησης X-ακτινοβολίας (DXA) (Lunar model DPX Madison, WI).

Καρδιακή Συχνότητα. Τα δεδομένα των καρδιακών παλμών μεταφέρονταν με μικρής εμβέλειας τηλεμετρία στα 1.000 Hz από έναν ελαστικό ιμάντα, που φορούσε ο δοκιμαζόμενος στο στήθος, σε ρολόι Polar (μοντέλο RS800CX ή V800 PolarElectro,

Kempele, Finland). Στη συνέχεια μεταφέρονταν μέσω της εφαρμογής polar flow σε ένα υπολογιστή όπου και εκτιμήθηκαν.

Αξιολόγηση της υποκειμενικής αίσθησης της κόπωσης (RPE). Η υποκειμενική αίσθηση της κόπωσης εκτιμήθηκε μέσω διεθνώς αναγνωρισμένου ερωτηματολογίου κλίμακας 15 σταδίων (6-20) (Borg, 1982; Eston, Lamb, Bain, Williams, & Williams, 1994; Lamb, Eston, & Corns, 1999; Pfeiffer, Pivarnik, Womack, Reeves, & Malina, 2002; Robertson & Noble, 1997).

Αξιολόγηση της θερμικής άνεσης και αίσθησης. Η θερμική άνεση και αίσθηση εκτιμήθηκε μέσω διεθνώς αναγνωρισμένων ερωτηματολογίων κλίμακας 5 και 10 σταδίων αντίστοιχα (A. P. Gagge, Stolwijk, & Hardy, 1967)

Στατιστικές Αναλύσεις

Έγινε έλεγχος κανονικότητας των δεδομένων χρησιμοποιώντας το Shapiro-Wilk τεστ. Χρησιμοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης επαναλαμβανόμενων μετρήσεων με post-hoc t-tests για να εκτιμηθούν οι διαφορές στους θερμορρυθμιστικούς, καρδιαγγειακούς, και αντιληπτικούς δείκτες ανάμεσα στις δύο συνθήκες (θερμό – ουδέτερο περιβάλλον). Για τις μεταβλητές που δεν είχαν κανονική κατανομή χρησιμοποιήθηκαν μη παραμετρικά T-τεστ για να εκτιμηθούν οι διαφορές σε θερμορρυθμιστικούς (θερμοκρασία πυρήνα, μέση θερμοκρασία δέρματος, ρυθμό εφίδρωσης όλου του σώματος και ρυθμό εφίδρωσης του τραπεζοειδούς), καρδιαγγειακούς (καρδιακή συχνότητα) και υποκειμενικής αίσθησης (θερμική άνεση, θερμική αίσθηση και υποκειμενική αίσθηση της κόπωσης) δείκτες μέσα στην ίδια περιβαλλοντική συνθήκη σε άτομα με διαφορετικό ποσοστό σωματικού λίπους (παχύσαρκοι – μη παχύσαρκοι) και διαφορετικό μέγεθος επιφάνεια σώματος (μικρόσωμοι – μεγάλωσωμοι). Επίσης προσδιορίστηκε το μέγεθος της επίδρασης του σωματικού λίπους και του μεγέθους της

επιφάνειας σώματος πάνω στους θερμορυθμιστικούς, καρδιαγγειακούς και αντιληπτικούς δείκτες, με $d < 0.2$ να θεωρείται ασήμαντη, 0.2-0.49 μικρή, 0.5-0.79 μέτρια > 0.8 μεγάλη επίδραση. Σε όλες τις αναλύσεις το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας ορίστηκε στο 5% και η επεξεργασία των δεδομένων έγινε στο στατιστικό πρόγραμμα SPSS 20 (IBM, Armonk, NY, USA).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Αρχικά, στη μελέτη συμμετείχαν 12 έφηβοι ηλικίας 15.4 ± 0.79 ετών από τους οποίους μόνο οι 8 δοκιμαζόμενοι ολοκλήρωσαν το πρωτόκολλο της μελέτης (Γράφημα 1). Δυο δοκιμαζόμενοι διέκοψαν κατά την προκαταρκτική συνεδρία ενώ άλλοι δύο διέκοψαν μετά την πρώτη πειραματική συνεδρία.

Οι δοκιμαζόμενοι ήταν το ίδιο ενυδατωμένοι ($p > 0.05$) πριν από τις δύο πειραματικές συνεδρίες σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του ειδικού βάρους των ούρων όπου στο ΟΠ ήταν 1.01 ± 0.006 και 1.01 ± 0.006 και στο ΘΠ ήταν 1.01 ± 0.006 και 1.01 ± 0.005 για τους παχύσαρκους και μη παχύσαρκους αντίστοιχα. Κατά τη διάρκεια της δοκιμασίας υπήρχε η ίδια παραγωγή θερμότητας (Watt/Kgr) ($p > 0.05$) από τους δοκιμαζόμενους, στο ΟΠ ήταν 5.31 ± 0.06 και 4.98 ± 0.24 και στο ΘΠ ήταν 5.26 ± 0.29 και 4.88 ± 0.38 για τους μη παχύσαρκους και παχύσαρκους αντίστοιχα.

Στη θερμοκρασία πυρήνα (Θ_{π}) δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά ($p > 0.05$) στη αρχή των δοκιμασιών παρόλα αυτά στο ΟΠ κατά το τέλος της άσκησης βρέθηκε μια σημαντική επίδραση ($d = 0.85$) του σωματικού λίπους υποδεικνύοντας ότι οι παχύσαρκοι είχαν υψηλότερη θερμοκρασία σε σχέση με τους μη παχύσαρκους με 38.45 ± 1.0 και 37.70 ± 0.41 αντίστοιχα. Στο ΘΠ δεν παρατηρήθηκε κάποια επίδραση του σωματικού λίπους στη Θ_{π} . Το μέγεθος επιφάνειας σώματος επίσης δεν επηρέασε τη Θ_{π} ($p > 0.05$). Αναφορικά με τη Θ_{π} βρέθηκε ότι υπάρχει στατιστική σημαντική διαφορά (p

<0.05) εξαιτίας της ταυτόχρονης αλληλεπίδρασης του καθένα από τους παρακάτω παράγοντες, ποσοστό σωματικού λίπους και μέγεθος επιφάνειας σώματος με το περιβάλλον και το στάδιο πρωτοκόλλου. Επίσης βρέθηκε ότι η Θ_{Δ} επηρεάζεται στατιστικά σημαντικά ($p=0.001$) από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος (Γράφημα 2) και δεν επηρεάζεται από το σωματικό λίπος και το μέγεθος επιφάνειας σώματος.

Ο ρυθμός εφίδρωσης του τραπεζοειδούς μυός επηρεάζεται στατιστικά σημαντικά από το ποσοστό σωματικού λίπους ($p<0.001$) και το μέγεθος της επιφάνειας σώματος ($p=0.004$) κατά τη διάρκεια των τριών σταδίων του πρωτοκόλλου. Οι παχύσαρκοι και οι μεγαλόσωμοι έχουν υψηλότερο ρυθμό εφίδρωσης από ότι οι μη παχύσαρκοι και οι μικρόσωμοι (Γράφημα 3). Στο ρυθμό εφίδρωσης του σώματος δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά ($p>0.05$) παρόλα αυτά βρέθηκε μια σημαντική επίδραση του μεγέθους επιφάνειας σώματος στο Θ_{Π} κατά το τέλος της άσκησης και αποκατάστασης με τους μεγαλόσωμους να έχουν υψηλότερο ρυθμό σε σχέση με του μικρόσωμους 0.85 ± 0.13 έναντι 0.73 ± 0.05 ($d=1.23$) αντίστοιχα κατά το τέλος της άσκησης και 0.58 ± 0.04 έναντι 0.51 ± 0.04 ($d=0.96$) αντίστοιχα κατά το τέλος της αποκατάστασης.

Κατά την διάρκεια της άσκησης και αποκατάστασης υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά ($p=0.04$) στους ΚΠ λόγω περιβαλλοντικών συνθηκών (Γράφημα 4). Στο Θ_{Π} παρατηρούνται αύξηση των ΚΠ τόσο κατά την άσκηση όσο κατά την αποκατάσταση σε σύγκριση με το Θ_{Π} (στην αρχή της άσκησης 140.43 ± 7.74 προς 129.71 ± 17.14 για το Θ_{Π} και Θ_{Π} αντίστοιχα, στο τέλος της άσκησης 179.57 ± 12.95 προς 164.00 ± 25.43 για το Θ_{Π} και Θ_{Π} αντίστοιχα και στο τέλος της αποκατάστασης 103.57 ± 10.03 προς 95.71 ± 19.37 για το Θ_{Π} και Θ_{Π} αντίστοιχα). Στους ΚΠ δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά ($p>0.05$) παρόλα αυτά βρέθηκε μια σημαντική επίδραση από το σωματικό λίπος και το μέγεθος επιφάνειας σώματος ($d=1.19$ και

$d=1.98$ αντίστοιχα) στο ΟΠ και μέτρια επίδραση ($d=0.54$ και $d=0.61$ αντίστοιχα) στο ΘΠ (Γράφημα 5). Αναφορικά με τους ΚΠ βρέθηκε ότι υπάρχει στατιστική σημαντική διαφορά ($p<0.05$) εξαιτίας της ταυτόχρονης αλληλεπίδρασης του καθένα από τους παρακάτω παράγοντες, ποσοστό σωματικού λίπους και μέγεθος επιφάνειας σώματος, με το περιβάλλον και το στάδιο πρωτοκόλλου.

Η θερμική άνεση φαίνεται να επηρεάζεται μέτρια ($d>0.50$) από το ποσοστό σωματικού λίπους μετά από το 20ο λεπτό άσκησης έως και την αποκατάσταση σε όλα τα περιβάλλοντα. Το παραπάνω υποδηλώνει ότι οι παχύσαρκοι δοκιμαζόμενοι αισθάνονται πιο ζεστό το περιβάλλον σε σχέση με τους μη παχύσαρκους. Αναφορικά με τον δείκτη υποκειμενικής αίσθησης της κόπωσης δεν προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές παρόλα αυτά βρέθηκε να δέχεται μεγάλη επίδραση ($d=0.89-1.95$) από το ποσοστό σωματικού λίπους στο ΟΠ και στο ΘΠ μετά το 15ο λεπτό άσκησης ως και το τέλος αυτής, υποδηλώνοντας ότι οι παχύσαρκοι δοκιμαζόμενοι αισθάνονται πιο κουρασμένοι σε ένα δεδομένο θερμικά περιβάλλον.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να εξεταστούν οι πιθανές διαφορές σε θερμορυθμιστικούς και αντιληπτικούς δείκτες λόγω της επίδρασης του σωματικού λίπους και του μεγέθους της επιφάνειας σώματος σε εφήβους κατά τη διάρκεια άσκησης και αποκατάστασης σε θερμικά ουδέτερο και θερμό περιβάλλον. Επιδημιολογικές μελέτες αναφέρουν ότι τα παχύσαρκα άτομα έχουν μειωμένη θερμορυθμιστική ικανότητα και επομένως υψηλότερο κίνδυνο για ασθένειες που σχετίζονται με τη ζέστη (Bedno et al., 2010; Gardner et al., 1996; Wallace et al., 2006). Αυτό σε συνδυασμό ότι τα παιδιά έχουν μειωμένη ικανότητα κίνησης (MacDougall, Roche, Bar-Or, & Moroz, 1983), μειωμένη καρδιακή παροχή (Turley & Wilmore,

1997), μειωμένο ρυθμό εφίδρωσης (Shibasaki, Inoue, & Kondo, 1997; Shibasaki, Inoue, Kondo, & Iwata, 1997) και αυξημένο μεταβολικό ρυθμό τα καθιστά πιο επιρρεπή κατά την έκθεση σε αυξημένο θερμικά φορτίο. Αξιοσημείωτο είναι ότι τα παιδιά έχουν μεγαλύτερη αναλογία επιφάνειας σώματος προς μάζα σώματος σε σχέση με τους ενήλικες έτσι ώστε να έχουν μεγαλύτερη ικανότητα για απώλεια θερμότητας ξηρού τύπου όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία σώματος, αλλά και προσλαμβάνουν περισσότερη θερμότητα, όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι μεγαλύτερη από αυτή του σώματος.

Στην παρούσα μελέτη, εξαιτίας του σχετικά μικρού δείγματος και της δυσκολίας να αυξηθεί αυτό λόγω της πανδημίας COVID-19, η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων έλαβε υπόψη τα αποτελέσματα των στατιστικών τεστ με βάση τις τιμές p αλλά και το μέγεθος επίδρασης (Cohen's d effect size). Τα αποτελέσματα των εργαστηριακών μελετών σε σχέση με τη θερμορυθμιστική απάντηση των παιδιών είναι αντικρουόμενα. Κάτι τέτοιο πιθανά εξηγείται από τη χρήση διαφορετικών πρωτοκόλλων άσκησης ή από τη μη απομόνωση παραμέτρων που επηρεάζουν την θερμορυθμιστική απάντηση του οργανισμού. Μέχρι πρόσφατα, η πλειοψηφία των ερευνών χρησιμοποίησε πρωτόκολλο άσκησης βασισμένο στη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου των δοκιμαζομένων ($\%VO_2\max$), γεγονός που οδηγούσε σε διαφορετική παραγωγή θερμότητας στον οργανισμό κυρίως σε άτομα με μεγάλες διαφορές στη $VO_2\max$ (Havenith & van Middendorp, 1990; Jay, Bain, Deren, Sacheli, & Cramer, 2011; Sehl et al., 2012; Vroman et al., 1983). Σε παλαιότερες μελέτες (Bar-Or, Harris, Bergstein, & Buskirk, 1976; Haymes et al., 1975), επίσης, δεν γινόταν έλεγχος της ενυδάτωσης των δοκιμαζομένων που, όπως είναι γνωστό, η αφυδάτωση προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας του πυρήνα ανάλογη με το βαθμό της (Montain & Coyle, 1992; Montain, Latzka, & Sawka, 1995). Για τους παραπάνω λόγους έγινε εκτίμηση

των θερμορυθμιστικών και αντιληπτικών ανταποκρίσεων σε καλά ενυδατωμένους εφήβους κατά τη διάρκεια άσκησης που προκαλούσε την ίδια παραγωγή θερμότητας ανά κιλό σωματικής μάζας. Το κύριο συμπέρασμα από αυτή τη μελέτη είναι ότι, ελέγχοντας την ενυδάτωση και προκαλώντας την ίδια παραγωγή θερμότητας ανά κιλό σωματικής μάζας κατά την άσκηση, το σωματικό λίπος ασκεί μέτρια προς μεγάλη επίδραση σε κάποιους δείκτες φυσιολογικού φορτίου και υποκειμενικής αίσθησης, ενώ το μέγεθος επιφάνειας σώματος επιδρά σημαντικά στο ρυθμό εφίδρωσης όλου του σώματος αλλά και του μυός που πιθανά λόγω του μικρού δείγματος της μελέτης να μη προέκυψε στατιστική σημαντική διαφορά στα παραπάνω. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν μελέτες σε εφήβους οι οποίες να εξετάζουν την επίδραση του μεγέθους της επιφάνειας σώματος στη ρύθμιση της θερμοκρασίας του οργανισμού.

Η Θ_{π} βρέθηκε να δέχεται σημαντική επίδραση ($d=0.85$) από το σωματικό λίπος στο τέλος της άσκησης κατά την έκθεση σε ΟΠ. Οι παχύσαρκοι έφηβοι τελείωσαν την άσκηση με υψηλότερη Θ_{π} σε σχέση με τους μη παχύσαρκους. Αυτό ερμηνεύεται από τη μειωμένη θερμική ικανότητα του λιπώδη ιστού σε σχέση με το μη λιπώδη ιστό όπου σε ένα δεδομένο ποσό αποθήκευσης θερμότητας να παρατηρείται υψηλότερη αύξηση της θερμοκρασίας του πυρήνα (Kakitsuba & Mekjavic, 1987). Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής συμφωνούν με αυτά άλλων ερευνών που αναφέρουν ότι το ποσοστό σωματικού λίπους επηρεάζει τη Θ_{π} έτσι ώστε να παρατηρούνται διαφορές ανάμεσα σε παχύσαρκα και μη παχύσαρκα παιδιά με αυτή των παχύσαρκων να υπερτερεί (Haymes et al., 1974). Παρόλα αυτά υπάρχουν έρευνες σε παχύσαρκα και μη παχύσαρκα αγόρια (Dougherty, Chow, & Kenney, 2009; Sehl et al., 2012) και κορίτσια (Leites et al., 2013) που αναφέρουν ότι δεν υπάρχει επίδραση του σωματικού λίπους στην αύξηση της θερμοκρασίας του οργανισμού. Η ασυμφωνία των συμπερασμάτων των

προηγούμενων μελετών ίσως να οφείλεται στο γεγονός ότι η πλειοψηφία των ερευνών χρησιμοποιούσαν πρωτόκολλο άσκησης βασισμένο στη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου των δοκιμαζομένων (%VO₂max), γεγονός που οδηγούσε σε διαφορετική παραγωγή θερμότητας στον οργανισμό κυρίως σε άτομα με μεγάλες διαφορές στη VO₂max αλλά και στον μικρό αριθμό των ερευνών σχετικά με τη θερμορυθμιστική απάντηση των παιδιών.

Η Θ_Δ επίσης δεν επηρεάζεται από το σωματικό λίπος και το μέγεθος επιφάνειας σώματος. Το συμπέρασμα αυτό όσον αφορά την επίδραση του σωματικού λίπους στη Θ_Δ είναι σύμφωνο με έρευνα που έγινε σε παχύσαρκα κορίτσια (Leites et al., 2013). Ωστόσο δεν γνωρίζουμε αν επηρεάζεται η αιματική ροή, που μεταφέρει τη θερμότητα από το πυρήνα του σώματος προς την περιφέρεια. Πράγματι σε έρευνα παχύσαρκων αγοριών προεφηβικής ηλικίας βρέθηκε ότι η αιματική ροή των παχύσαρκων ήταν μειωμένη σε σύγκριση με τους μη παχύσαρκους κατά την εκτέλεση δυναμικών ασκήσεων (Karpoff et al., 2009). Επιπρόσθετα, παρά το γεγονός ότι στη μελέτη δεν τεκμηριώθηκε καμία επίδραση του μεγέθους της επιφάνειας σώματος στη Θ_Δ σε έρευνα ενηλίκων βρέθηκε ότι το μέγεθος της επιφάνειας σώματος πιθανά να επηρεάζει τη ρύθμιση της θερμοκρασίας (Gagnon & Kenny, 2012). Η μεγαλύτερη επιφάνεια των παχύσαρκων ίσως αποτελεί πλεονέκτημα καθώς εξασφαλίζει μεγαλύτερη απώλεια θερμότητας από το σώμα. Ωστόσο το πιθανό πλεονέκτημα της μεγαλύτερης επιφάνειας σώματος εξαρτάται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες και το μέγεθος της παραγόμενης θερμότητας. Η θερμοκρασία και η υγρασία του περιβάλλοντος παίζουν σημαντικό ρόλο στην απώλεια θερμότητας μέσω του μηχανισμού της εξάτμισης. Έτσι σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και υγρασίας αυτή να εμποδίζεται. Επίσης, η απώλεια θερμότητας μέσω του μηχανισμού της εξάτμισης εμφανίζεται με την αυξημένη

παραγωγή θερμότητας στο σώμα μέχρι το σημείο της μέγιστης ικανότητάς του για εξάτμιση.

Στη παρούσα μελέτη ο ρυθμός εφίδρωσης όλου του σώματος ήταν ίδιος ($p>0.05$) για όλους τους δοκιμαζόμενους ανεξάρτητα από το σωματικό λίπος και την επιφάνεια σώματος. Παρόλα αυτά σε ΘΠ βρέθηκε ο ρυθμός εφίδρωσης του σώματος να δέχεται μια σημαντική επίδραση ($d=1.23$ και $d=0.96$) από το μέγεθος της επιφάνειας σώματος κατά το τέλος της άσκησης και αποκατάστασης με αυτή των μεγαλόσωμων να υπερτερεί έναντι των μικρόσωμων. Ο συνολικός ρυθμός εφίδρωσης εκφράστηκε ανά τετραγωνικά εκατοστά επιφάνειας σώματος προκειμένου να αποφευχθεί το πλεονέκτημα της μεγαλύτερης επιφάνειας των μεγαλόσωμων και των παχύσαρκων έναντι των μικρόσωμων και μη παχύσαρκων. Το συμπέρασμα αυτό συμφωνούσε με αυτό αντίστοιχης μελέτης που εξέτασε παχύσαρκα και μη παχύσαρκα αγόρια με το ίδιο επίπεδο φυσικής κατάστασης και εγκλιματισμού στη ζέστη (Sehl et al., 2012). Σε αντίθεση βρίσκονται τα αποτελέσματα της έρευνας του Dougherty και των συνεργατών του (2009), η οποία αναφέρει ότι ο ρυθμός εφίδρωσης των παχύσαρκων αγοριών ήταν 12% μικρότερος σε σύγκριση με των μη παχύσαρκων (Dougherty et al., 2009). Πιθανή εξήγηση των παραπάνω αντικρουόμενων αποτελεσμάτων αποτελεί ο εγκλιματισμός των δοκιμαζόμενων στη ζέστη καθώς και το πρωτόκολλο άσκησης που ακολούθησαν. Ωστόσο στην παρούσα μελέτη βρέθηκε διαφορά στο ρυθμό εφίδρωσης σε τοπικό επίπεδο εκτιμώντας το ρυθμό εφίδρωσης του τραπεζοειδούς μυός. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα οι παχύσαρκοι και μεγαλόσωμοι έφηβοι είχαν υψηλότερο ρυθμό εφίδρωσης σε σύγκριση με τους μη παχύσαρκους και τους μικρόσωμους. Δεν υπάρχει αντίστοιχη έρευνα σε παιδιά που να εκτιμάται ο ρυθμός εφίδρωσης του μυός σε συνάρτηση με το σωματικό λίπος και την επιφάνεια σώματος. Μελλοντικές έρευνες πρέπει να μελετήσουν την επίδραση του σωματικού λίπους και κυρίως της επιφάνειας

σώματος στον τοπικό και ολικό ρυθμό εφίδρωσης των εφήβων. Στους ενήλικες προτείνεται, σύμφωνα με έρευνα του Jay και των συνεργατών του (2015), να επιλέγονται τα Watt ανά τετραγωνικά εκατοστά επιφάνεια σώματος ως μέθοδος επιβάρυνσης άσκησης, προκειμένου να αποφευχθούν πιθανές διαφορές στο ρυθμό εφίδρωσης σε τοπικό επίπεδο ανάμεσα σε άτομα με διαφορετική σωματική μάζα και επιφάνεια σώματος. Ωστόσο δε γνωρίζουμε αν η παραπάνω μέθοδος έχει εφαρμογή στα παιδιά.

Επίσης στα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης επιβεβαιώνεται η επίδραση της αυξημένης θερμοκρασίας του σώματος στην καρδιαγγειακή επιβάρυνση. Πράγματι στην αρχή της δοκιμασίας δεν υπήρχε διαφορά ($p > 0.05$) στους ΚΠ λόγω του σωματικού λίπους. Παρόλα αυτά στο τέλος της άσκησης βρέθηκε μεγάλη επίδραση εξαιτίας του σωματικού λίπους στο ΟΠ και μέτρια επίδραση στο ΘΠ με αποτέλεσμα οι παχύσαρκοι δοκιμαζόμενοι να έχουν μεγαλύτερη καρδιαγγειακή επιβάρυνση. Το παραπάνω σε συνδυασμό με τη μειωμένη καρδιακή παροχή (Turley & Wilmore, 1997) που παρατηρείται στα παιδιά τα καθιστά πιο ευάλωτα κατά την έκθεση σε αυξημένο θερμικά φορτίο.

Οι δείκτες υποκειμενικής αίσθησης (θερμική άνεση, θερμική αίσθηση και υποκειμενική αίσθησης της κόπωσης) φαίνεται ότι αυξάνονται και στις δυο περιβαλλοντικές συνθήκες το ίδιο σε όλους τους δοκιμαζόμενους ανεξάρτητα από το σωματικό λίπος και το μέγεθος επιφάνειας σώματος. Το συμπέρασμα αυτό συμφωνεί με εκείνο αντίστοιχης έρευνας σε νεαρά κορίτσια παρόλο που ακολούθησαν διαφορετικό πρωτόκολλο άσκησης ($\%VO_{2max}$) (Leites et al., 2013). Παρόλα αυτά βρέθηκε ότι ο δείκτης υποκειμενικής αίσθησης της κόπωσης μετά το 15ο λεπτό άσκησης να επηρεάζεται σημαντικά από το σωματικό λίπος που πιθανά λόγω του μικρού δείγματος της μελέτης να μη προκύπτει στατιστική σημαντική διαφορά.

Υπάρχουν μελέτες που αναφέρουν ότι τα παχύσαρκα αγόρια παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές στον δείκτη υποκειμενικής αίσθησης της κόπωσης κατά την άσκηση σε ζεστό περιβάλλον (Dougherty et al., 2009, 2010; Sehl et al., 2012).

Συνοψίζοντας καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι κατά την άσκηση στους έφηβους το σωματικό λίπος ασκεί μέτρια προς μεγάλη επίδραση σε κάποιους δείκτες φυσιολογικού φορτίου και υποκειμενικής αίσθησης και το μέγεθος επιφάνειας σώματος επιδρά σημαντικά στο ρυθμό εφίδρωσης όλου του σώματος αλλά και του μυός. Μελλοντική έρευνα με μεγαλύτερο αριθμό εφήβων θα πρέπει να πραγματοποιηθεί προκειμένου να υπάρχει μια πιο ολοκληρωμένη τεκμηρίωση για την επίδραση των παραπάνω παραγόντων στη θερμορυθμιστική και αντιληπτική απάντηση των εφήβων. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι τα παραπάνω συμπεράσματα αντιπροσωπεύουν μια ομάδα εφήβων ηλικίας 14-17 ετών που ασκήθηκαν σε συγκεκριμένα θερμοκρασιακά περιβάλλοντα και δεν μπορούν να γενικευτούν σε όλες τις περιβαλλοντικές συνθήκες ιδίως όταν τα ποσοστά υγρασίας είναι υψηλά. Ένας άλλος σημαντικός περιορισμός είναι ότι δεν εκτιμήθηκε η βιολογική ηλικία των δοκιμαζόμενων. Επίσης, δεν μπόρεσε να εκτιμηθεί η συνολική ποσότητα νερού στο σώμα ή η ημερήσια κατανάλωση τροφίμων και νερού στους δοκιμαζόμενους. Επομένως δεν θα μπορούσαμε να βγάλουμε συμπεράσματα σχετικά με την επίδραση αυτών των παραγόντων στη θερμορυθμιστική απάντηση του οργανισμού.

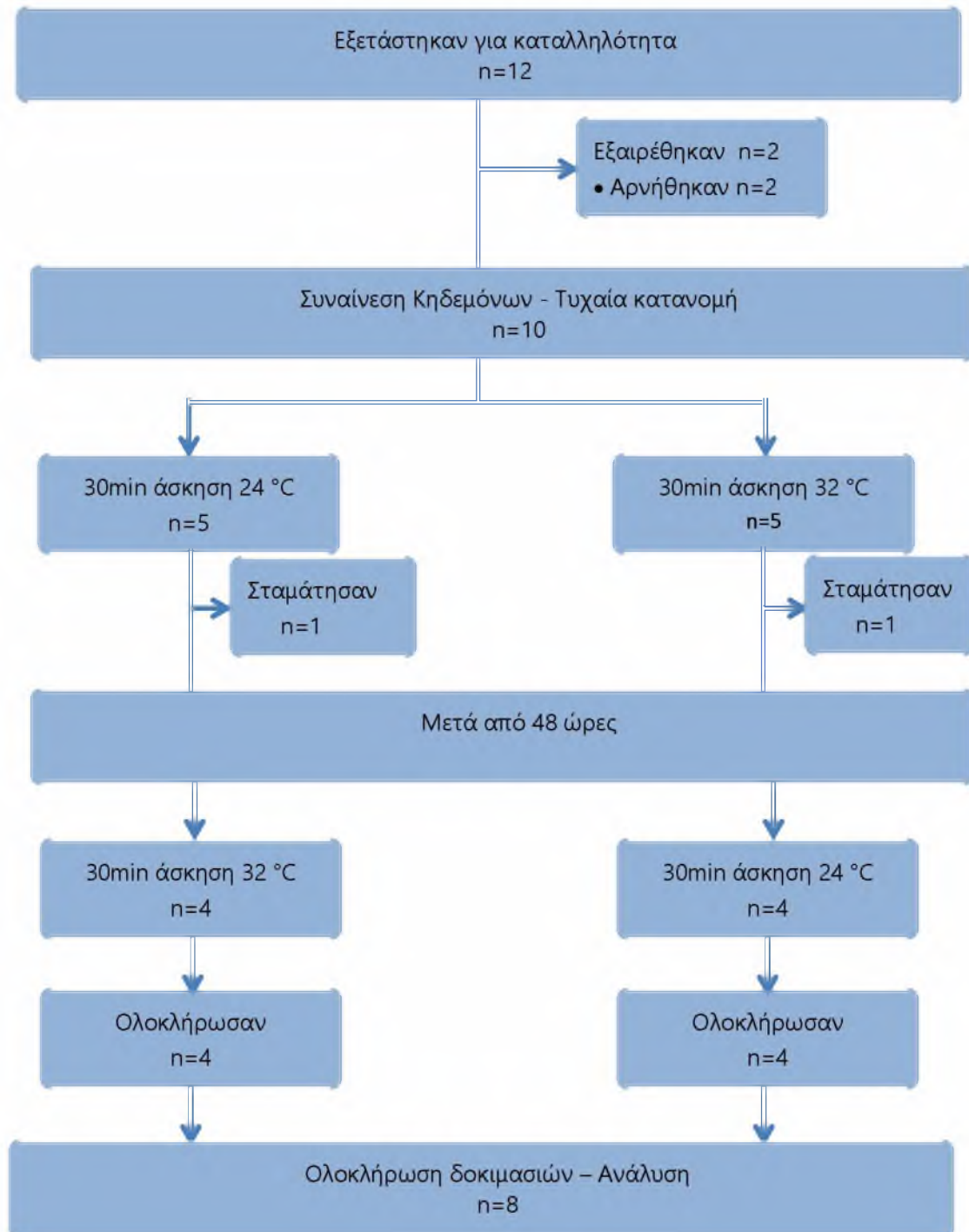
Πίνακας 5.1. Ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά .

Παράγοντας	Κατηγορία	Ηλικία (έτη)	Βάρος (κιλά)	Ύψος (εκατ.)	Σωματικό Λίπος (%)	Επιφάνεια Σώματος (m ²)	VO _{2max} (ml/kg/min)
Σωματικό	Μη Παχύσαρκοι	15.47±1.0	64.49±3.2	179±1.8	13.2±4.3	1.81±0.1	49.9±6.0
Λίπος	Παχύσαρκοι	15.37±0.7	78.22±9.5	183.8±8.9	25.05±4.3	2.0±0.1	42.4±5.0
Επιφάνεια	Μεγαλόσωμοι	15.31±0.9	66.12±4.1	177.5±5.4	16.5±6.6	1.82±0.1	46.56±7.8
Σώματος	Μικρόσωμοι	15.55±0.7	82.62±8.2	189.2±4.0	25.9±4.4	2.10±0.1	43.75±3.9

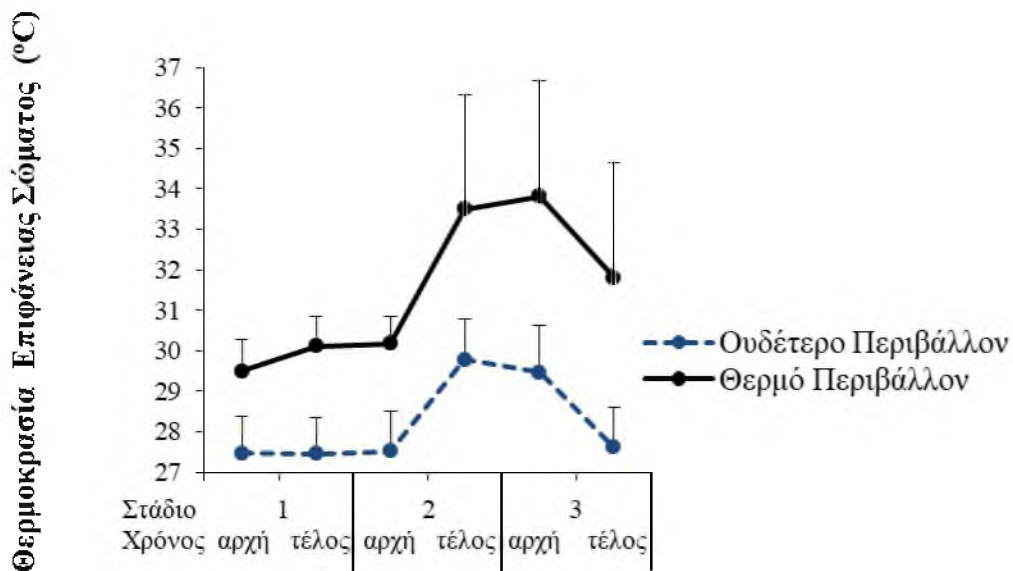
Σημείωση: Οι τιμές εκφράζονται με Μέσους Όρους±Τυπική Απόκλιση, VO_{2max}= μέγιστη πρόσληψη

οξυγόνου.

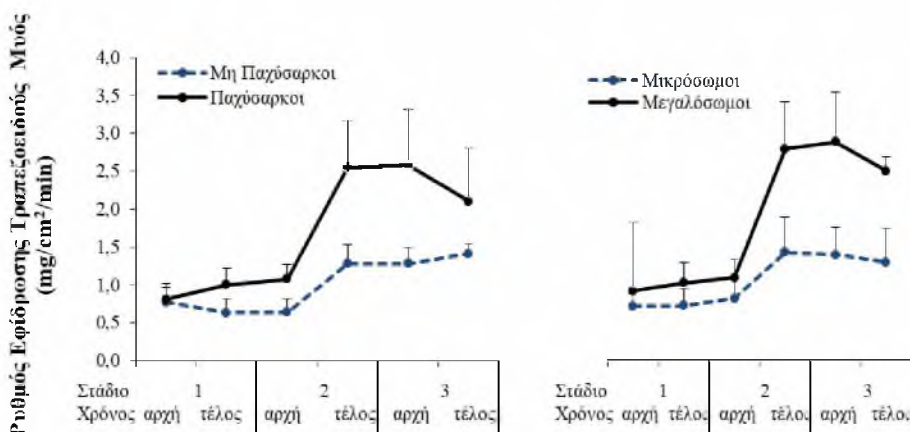
Γράφημα 5.1. Consort diagram της μελέτης.



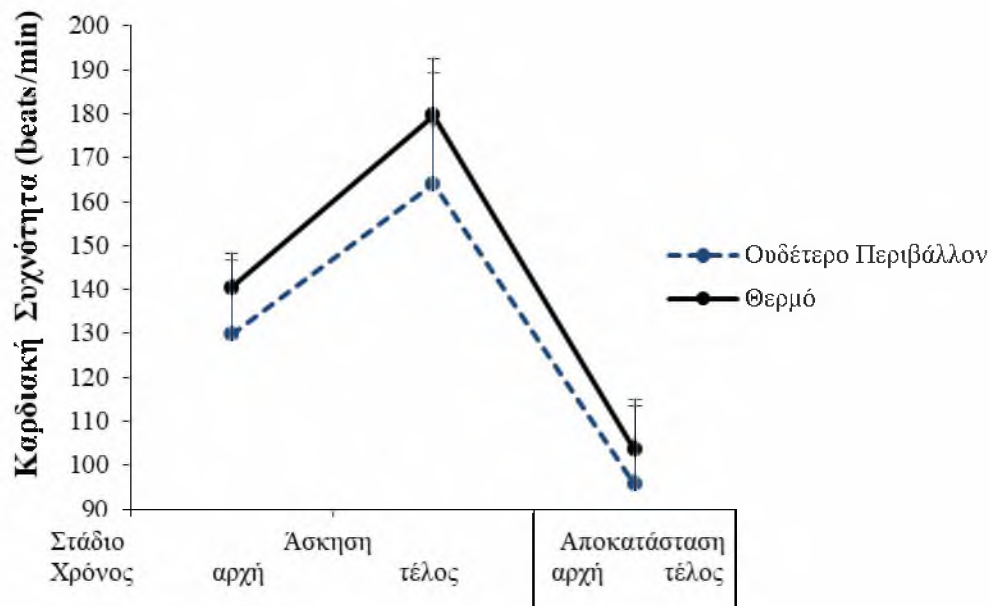
Γράφημα 5.2. Θερμοκρασία Επιφάνειας Σώματος ($^{\circ}\text{C}$) στο Ουδέτερο και Θερμό Περιβάλλον κατά τη διάρκεια των τριών σταδίων του πρωτοκόλλου (Μ.Ο.±Τ.Α), ($p=0.001$).



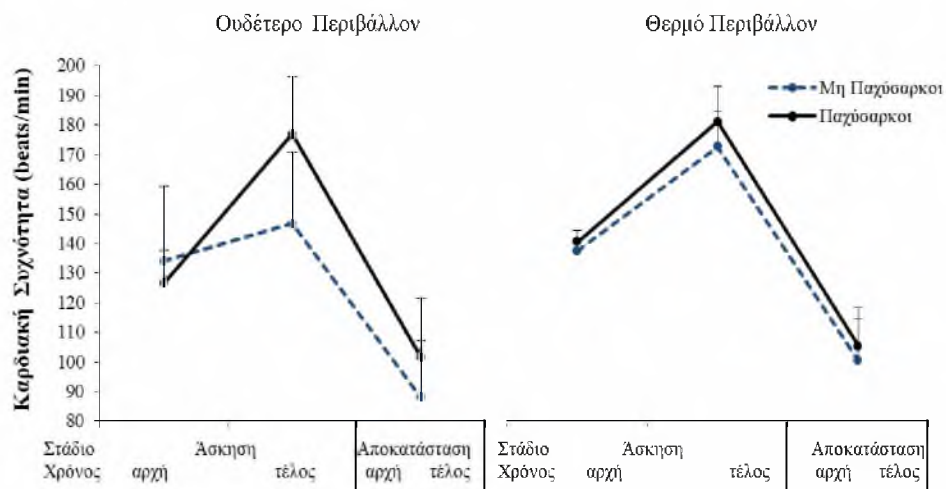
Γράφημα 5.3. Ρυθμός εφίδρωσης τραπεζοειδούς μυός ($\text{mg}/\text{cm}^2/\text{min}$) πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την άσκηση με βάση το σωματικό λίπος και την επιφάνεια σώματος (Μ.Ο.±Τ.Α), ($p<0.05$).

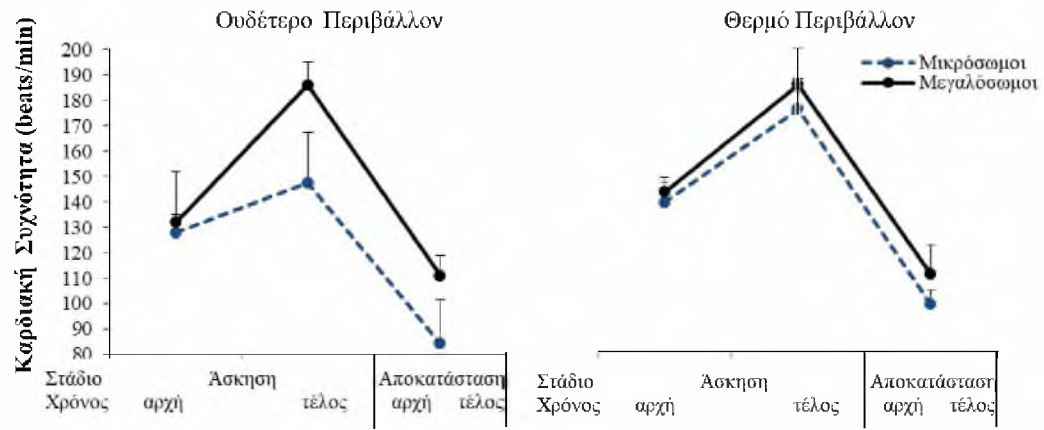


Γράφημα 5.4. Καρδιακοί Παλμοί στο Ουδέτερο και Θερμό Περιβάλλον κατά τη άσκηση και αποκατάσταση (Μ.Ο.±Τ.Α), ($p=0.04$).



Γράφημα 5.5. Καρδιακοί Παλμοί στο Ουδέτερο και Θερμό Περιβάλλον κατά την άσκηση και αποκατάσταση με βάση το σωματικό λίπος και την επιφάνεια σώματος (Μ.Ο.±Τ.Α).





Κεφάλαιο Έξι

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΚΑΙ ΨΥΧΟΣΩΜΑΤΙΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΕΦΗΒΩΝ ΑΘΛΗΤΩΝ ΤΟΥ ΤΕΝΙΣ

Η μελέτη αυτή πραγματοποιήθηκε από τους Μισαηλίδη Μαρία, Δρ. Ανδρέα Δ. Φλουρή, Δρ. Λεωνίδα Ιωάννου, Κωνσταντίνο Μάντζιο και Χρήστο Παπακωνσταντίνου. Ο σχεδιασμός της μελέτης πραγματοποιήθηκε από τη Μισαηλίδη Μαρία και τον Δρ. Ανδρέα Δ. Φλουρή. Η όλη πειραματική διαδικασία διεξάχθηκε υπό την κύρια ευθύνη και επίβλεψη της Μισαηλίδη Μαρίας και την βοήθεια του Χρήστου Παπακωνσταντίνου. Η συλλογή των δεδομένων σε σχέση με τη πειραματική διαδικασία της τεχνικής της πρόψυξης υλοποιήθηκε από τη Μισαηλίδη Μαρία ενώ σε σχέση με τα στοιχεία των αγώνων και μετεωρολογικά δεδομένα συμμετείχαν και οι υπόλοιποι συγγραφείς. Οι στατιστικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν από όλους τους συγγραφείς. Η ερμηνεία των δεδομένων, η συγγραφή της πρώτης δημοσιευμένης μορφής του άρθρου πραγματοποιήθηκαν από τη Μισαηλίδη Μαρία ενώ στην αναθεώρηση του άρθρου και στην υποβολή του σε επιστημονικό περιοδικό συμμετείχε και ο Δρ. Ανδρέας Φλουρής. Η ίδια η συγγραφέας έχει την ευθύνη για την ακεραιότητα και την ακρίβεια των δεδομένων ανάλυσης.

Το Μάρτιο 2021 το άρθρο έγινε δεκτό προς δημοσίευση από το ηλεκτρονικό επιστημονικό περιοδικό International Journal of Sports Physiology and Performance με την εξής μορφή: Misailidi M., Mantzios K., Papakostadinou Ch., Ioannou L.G., Flouris

A.D. Environmental and psychophysical heat stress in adolescent tennis athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2021. Η δημοσιευμένη μορφή του άρθρου βρίσκεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι στρατηγικές πρόψυξης στοχεύουν στη μείωση της θερμοκρασίας του σώματος πριν από την έναρξη της άσκησης, αυξάνοντας με τον τρόπο αυτό τον χρόνο που απαιτείται για να φθάσει ο οργανισμός σε υπερθερμία. Έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι πρόψυξης, που επιδρούν είτε τοπικά είτε σε όλο το σώμα. Πρόψυξη όλου του σώματος και των μυών μπορεί να επιτευχθεί με βύθιση σε κρύο νερό, πρόψυξη του πάνω μέρος του σώματος μέσω μιας τροποποιημένης στολής ή γιλέκου, πρόψυξη τοπικά μέσω επιθεμάτων πάγου, ή άλλων πρόσφατων μεθόδων όπως πρόψυξη κεφαλιού και λαιμού (Quod, Martin, & Laursen, 2006; Ross, Abbiss, Laursen, Martin, & Burke, 2013). Αν και σε κάποιες μελέτες (Duffield, Bird, & Ballard, 2011; Hornery, Farrow, Mujika, & Young, 2007; Wiewelhove et al., 2020) οι μέθοδοι της πρόψυξης δεν μεταβάλλουν τη θερμοκρασία του πυρήνα του σώματος ή την καρδιακή συχνότητα, πρόσφατα συστηματικές ανασκοπήσεις και μετα-αναλύσεις σε εργαστηριακές μελέτες έχουν ξεκάθαρα δείξει τις θετικές επιδράσεις της στη βελτίωση της ασφάλειας κατά τη διάρκεια της άσκησης μειώνοντας το αντιλαμβανόμενο θερμικό φορτίο και οδηγώντας τελικά στη βελτίωση της απόδοσης (Alhadad, Tan, & Lee, 2019; Ross et al., 2013). Οι συγκεκριμένες μελέτες προτείνουν την υιοθέτηση των τεχνικών πρόψυξης σε μη πραγματικές συνθήκες παιχνιδιού, ωστόσο τα πραγματικά αποδεικτικά στοιχεία σχετικά με την αποτελεσματικότητα των μεθόδων πρόψυξης σε πραγματικές συνθήκες παραμένουν λιγοστά εξαιτίας των πρακτικών δυσκολιών (Quod et al., 2006; Ross et al., 2013).

Η περιορισμένη γνώση σχετικά με την εφαρμογή των μεθόδων πρόψυξης σε πραγματικές συνθήκες αποτελεί μια σημαντική αδυναμία στον επιστημονικό χώρο, ειδικά σε αθλήματα όπως το τένις που συχνά διεξάγονται σε ζεστά ή ακόμη και καυτά περιβάλλοντα. Ασθένειες εξαιτίας της θερμότητας εμφανίζονται σε συχνότητα 2.8 στους άνδρες και 1.4 στις γυναίκες για κάθε 1000 αγώνες τένις σε ενήλικες παίκτες (Sell, Hainline, Yorio, & Kovacs, 2013). Αν και δεν υπάρχουν στατιστικά στοιχεία για έφηβους αθλητές τένις (<18 ετών), η ανησυχία σε σχέση με την επίδραση της ζέστης στον οργανισμό των εφήβων αθλητών είναι μεγάλη καθώς σε κάποιες μελέτες (Periard, Thompson, Caillaud, & Quaresima, 2013) αλλά όχι για όλες (Falk & Dotan, 2008) ισχυρίζεται ότι το θερμορυθμιστικό σύστημα των εφήβων πιθανό δεν έχει ολοκληρωθεί. Ωστόσο, οι περιβαλλοντικές συνθήκες στις οποίες διεξάγονται οι αγώνες τένις δεν έχουν εκτιμηθεί, ενώ οι στρατηγικές υποστήριξης εφήβων αθλητών κατά τη διάρκεια αγώνων σε ζεστές συνθήκες παραμένουν ανεξερευνήτες. Στη μελέτη αυτή διερευνήθηκαν οι περιβαλλοντικές συνθήκες στις οποίες διεξάγονται όλοι οι αγώνες εφήβων αθλητών μέσω της Διεθνούς Ομοσπονδίας Τένις κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας (2010-2019). Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε μια μελέτη διασταύρωσης (ClinicalTrials.gov: NCT04197375) προκειμένου να εκτιμηθεί η αποτελεσματικότητα της μεθόδου της πρόψυξης κεφαλής – λαιμού ως προς τις προκαλούμενες από τη ζέστη αρνητικές επιπτώσεις στον ψυχοσωματικό τομέα και την απόδοση των εφήβων αθλητών του τένις κατά τη διάρκεια των αγώνων.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στοιχεία Αγώνων και Μετεωρολογικά στοιχεία

Οι ημερομηνίες διεξαγωγής και οι τοποθεσίες για όλους τους αγώνες σε εξωτερικούς χώρους της ITF Νέων προέρχονται από την επίσημη ιστοσελίδα της ITF

(www.itftennis.com). Μετεωρολογικά στοιχεία για κάθε αγώνα (θερμοκρασία αέρα, σχετική υγρασία, ταχύτητα αέρα και νεφώδη κάλυψη) προέρχονται από τον κοντινότερο μετεωρολογικό σταθμό από τη βάση δεδομένων της Εθνικής Ωκεανικής και Ατμοσφαιρικής Διοίκησης και χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του υγρού λοβού της θερμοκρασίας της γης (WBGT) και διατίθενται ελεύθερα (Flouris A.D, Ioannou LG, Mantzios K, & M., 2020).

Συμμετέχοντες και έγκριση Ηθικής

Το πειραματικό πρωτόκολλο της μελέτης εγκρίθηκε από την επιτροπή Δεοντολογίας του Τμήματος Φυσικής Αγωγής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (αρ. πρωτ.: 735) σε συμφωνία με τη διακήρυξη του Ελσίνκι (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β). Ο αριθμός των δοκιμαζόμενων προσδιορίστηκε σύμφωνα με το G*Power 3.1.9.2 (Faul, Erdfelder, Lang, & Buchner, 2007) ο οποίος στηρίχτηκε στα δεδομένα προηγούμενης δημοσιευμένης μελέτης που διερεύνησε τις αλλαγές της θερμοκρασίας του πυρήνα που παρατηρήθηκαν στο τέλος του 2ου σετ κατά τη διάρκεια αγώνα τένις σε θερμό/υγρό περιβάλλον (Schraner et al., 2017). Σε αυτή τη μελέτη, οι αλλαγές στη θερμοκρασία του πυρήνα κατά τη διάρκεια ενός δοκιμαστικού αγώνα ήταν $2.0 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$. Ενώ η αλλαγή της θερμοκρασίας του πυρήνα ήταν $1.6 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ όταν κατά τη διάρκεια των διαλειμμάτων ενός αγώνα τένις εφαρμόζονταν πετσέτα με πάγο γύρω από το λαιμό και παγωμένη υγρή πετσέτα στο κεφάλι και στους μηρούς. Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω δεδομένα, υπολογίστηκε το μέγεθος της επίδρασης στο 1.45. Με βάση το πρωτόκολλο της μελέτης και ορίζοντας το επίπεδο σημαντικότητας στο 0.05 και την ισχύ στο 0.95, επτά δοκιμαζόμενοι θα έπρεπε να συμμετέχουν στη μελέτη προκειμένου να προσδιοριστούν οι διαφορές μεταξύ των δοκιμασιών ή εντός των δοκιμασιών. Στη μελέτη συμμετείχαν οχτώ υγιείς (μη καπνιστές, χωρίς κάποια καρδιαγγειακή, αναπνευστική ή μεταβολική ασθένεια) έφηβοι αθλητές του τένις. Οι συμμετέχοντες και

οι κηδεμόνες τους έλαβαν σαφείς οδηγίες για το πειραματικό πρωτόκολλο, τους σκοπούς και την επικινδυνότητα της μελέτης πριν υποβάλλουν γραπτή συναίνεση. Οι δοκιμαζόμενοι (16.0 ± 0.9 ετών, 1.82 ± 0.04 m, 71.3 ± 11.1 kg, 1.9 ± 0.1 m²) ήταν καλά εγκλιματισμένοι στις τοπικές περιβαλλοντικές συνθήκες καθώς ζούσαν στην περιοχή που θα διεξάγονταν οι δοκιμασίες τους τελευταίους 6 μήνες τουλάχιστον. Όλοι προπονούσαν περισσότερο από 5 φορές/εβδομάδα και είχαν τουλάχιστον από 3 χρόνια εμπειρία σε εθνικά/διεθνή τουρνουά τένις. Η συμμετοχή των δοκιμαζόμενων ήταν εθελοντική και ανά πάσα στιγμή θα μπορούσαν να διακόψουν τη συμμετοχή τους στη μελέτη.

Πειραματικό Πρωτόκολλο

Οι δοκιμαζόμενοι θα έπρεπε να απέχουν από κάθε είδος έντονης άσκησης και την κατανάλωση καφεΐνης, αλκοόλ και αντιφλεγμονωδών φαρμάκων για τουλάχιστον 24 ώρες πριν τη δοκιμασία. Επίσης τους δόθηκε η οδηγία να καταναλώσουν 200-500mL περίπου νερό τις τελευταίες δύο ώρες πριν τη δοκιμασία προκειμένου να ήταν καλά ενυδατωμένοι. Όλοι οι δοκιμαζόμενοι ήταν εξοικειωμένοι με το πειραματικό πρωτόκολλο της μελέτης καθώς είχε προηγηθεί πριν τις δοκιμασίες μια συνάντηση εξοικείωσης τόσο με τη μέθοδο της πρόψυξης όσο και τα συστήματα καταγραφής των δεδομένων που θα τους εφαρμοζόταν αλλά γενικά και με όλη τη διαδικασία της μελέτης. Κατά την άφιξή τους σε κάθε πειραματική δοκιμασία, οι δοκιμαζόμενοι έπρεπε να δώσουν ένα δείγμα ούρων προκειμένου να ελεγχθεί η ενυδάτωσή τους όπου θα έπρεπε το ειδικό βάρος των ούρων να ήταν μικρότερο από 1.02 προκειμένου να πιστοποιηθεί η καλή ενυδάτωσή τους (Kavouras, 2002). Στη συνέχεια, οι δοκιμαζόμενοι φορούσαν ένα μπλουζάκι, σορτς, κάλτσες και αθλητικά παπούτσια. Οι αρχικές τιμές των δεδομένων (καρδιακή συχνότητα, θερμοκρασία πυρήνα, επιφάνειας

σώματος και τετρακέφαλου μυός) καταγράφονταν σε ένα χώρο με θερμοκρασία περίπου στους 23°C για 10 λεπτά πριν τη προθέρμανση.

Οι δοκιμαζόμενοι χωρίστηκαν σε 4 ζευγάρια ανάλογα με τις δεξιότητές τους και την εμπειρία τους έτσι ώστε να είναι σε κοντινό αγωνιστικά επίπεδο. Ο κάθε αθλητής έπαιξε δύο αγώνες τένις: έναν με πρόψυξη κεφαλής - λαιμού και έναν χωρίς, με τυχαία σειρά με τον ίδιο αντίπαλο (Γράφημα 6.1.). Όλοι οι αγώνες διεξήχθησαν τον Σεπτέμβριο μήνα σε γήπεδα τένις εξωτερικού χώρου και επιφάνειας σκληρού τύπου από τις 9:00 έως τις 18:00 στην πόλη της Πάτρας (πληθυσμός:315.000 κάτοικοι), Ελλάδα. Προκειμένου να αποφευχθούν οι επιδράσεις του κερκαδικού ρυθμού στη θερμοκρασία του οργανισμού (Van Someren et al., 2002) και να διασφαλιστεί η πλήρης αποκατάσταση των αθλητών οι αγώνες γίνονταν την ίδια ώρα της ημέρας και σε απόσταση 2-4 ημερών. Οι αγώνες παίζονταν στα δύο νικηφόρα σετ και σύμφωνα με τους κανονισμούς της ITF, συμπεριλαμβανομένου 15λεπτά προθέρμανση και ελεύθερη κατανάλωση υγρών. Σε κάθε σετ χρησιμοποιούνταν τρεις καινούργιες μπάλες του τένις σύμφωνα με τον διεθνή κανονισμό τένις. Η μέθοδος της πρόψυξης εφαρμόζονταν μέσω ενός κράνους που κάλυπτε την κεφαλή και τον λαιμό των δοκιμαζόμενων ασκώντας πίεση μέσω τη διέλευση κρύου υγρού (Welkinsmed, Downers Grove, IL, USA). Η πρόψυξη διαρκούσε 45 λεπτά περίπου έως ότου η θερμοκρασία πυρήνα των δοκιμαζόμενων να μειωνόταν κατά 0.5°C από τις αρχικές τους τιμές και αμέσως μετά ξεκινούσε η προθέρμανση.

Μετρήσεις

Οι περιβαλλοντικές συνθήκες εκτιμήθηκαν μέσω ενός εκτιμητή του υγρού λοβού της θερμοκρασίας της γης (Kestrel 5400FW, Nielsen-Kellerman, Pennsylvania, USA). Για την εκτίμηση της καρδιακής συχνότητας χρησιμοποιήθηκε RS800CX ρολόι (Polar

Electro, Kempele, Finland) όπου μέσω ενός ελαστικού ιμάντα, που φορούσε ο δοκιμαζόμενος, στέλνονταν τα δεδομένα στο ρολόι. Τα δεδομένα θα μεταφέρονταν μέσω της εφαρμογής polar flow σε ένα υπολογιστή, προκειμένου να αναλυθούν και έτσι να αξιολογηθεί η διακύμανση της καρδιακής συχνότητας. Η θερμοκρασία πυρήνα καταγράφηκε μέσω τηλεμετρικής κάψουλα (BodyCap, Caen, France) που έπρεπε ο δοκιμαζόμενος να καταπιεί 3 ώρες πριν την προγραμματισμένη έναρξη της δοκιμασίας. Τα δεδομένα της θερμοκρασίας του πυρήνα και της καρδιακής συχνότητας χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της φυσιολογικής καταπόνησης (Moran, Shitzer, & Pandolf, 1998). Οι θερμοκρασίες του τετρακέφαλου μυός (Flouris, Webb, & Kenny, 2015) και της μέσης επιφάνειας του σώματος $[0.3(\text{στήθος}) + 0.3(\text{δικέφαλος}) + 0.2(\text{μηρός}) + 0.2(\text{κνήμη})]$ (Ramanathan, 1964) εκτιμήθηκε ασύρματα μέσω iButton θερμοαισθητήρων (DS1921H, Maxim/Dallas Semiconductor Corp., USA). Οι δείκτες της θερμικής άνεσης και αίσθησης (A. P. Gagge et al., 1967) καθώς της υποκειμενικής αίσθησης της κόπωσης (Borg, 1982; Eston et al., 1994; Lamb et al., 1999; Pfeiffer et al., 2002; Robertson & Noble, 1997) εκτιμήθηκαν μέσω τυπικών ερωτηματολογίων. Το ειδικό βάρος των ούρων αξιολογήθηκε μέσω ενός διαθλασίμετρου προκειμένου να εκτιμηθεί η ενυδάτωση των δοκιμαζόμενων (ATAGO, Tokyo, Japan). Οι αγώνες βιντεοσκοπήθηκαν προκειμένου να γίνει αναδρομική ανάλυση των τεχνικών στοιχείων των παιχνιδιών όπως ο αριθμός των game και των πόντων που κερδήθηκαν σε κάθε σετ, τα αβίαστα λάθη, οι άσσοι, τα διπλά λάθη, καθώς και το ποσοστό επιτυχίας του 1^{ου} και του 2^{ου} σερβίς. Τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιήθηκαν για να εκτιμηθεί το προφίλ δραστηριότητας του κάθε παίκτη μέσω της αξιολόγησης της διάρκειας των συνεχόμενων χτυπημάτων (gally), του χρόνου ξεκούρασης ανάμεσα στους πόντους, και το λεγόμενο πραγματικό χρόνο παιχνιδιού.

Στατιστικές αναλύσεις

Χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής συσχέτισης Spearman και το Wilcoxon test για να εκτιμηθεί αν οι τιμές WBGT από τον κοντινότερο μετεωρολογικό σταθμό συσχετίζονται με τις τιμές WBGT που καταγράφηκαν στο γήπεδο κατά τη διάρκεια των αγώνων. Για τη σύγκριση των δεδομένων μεταξύ των δοκιμασιών “Ελέγχου-Πρόψυξης” χρησιμοποιήθηκαν ζευγαρωτά t-tests. Στη συνέχεια εκτιμήθηκε το μέγεθος της επίδρασης της πρόψυξης μέσω του δείκτη Cohen (d), όπου όταν $d < 0.2$ να θεωρείται ασήμαντη, 0.2-0.49 μικρή, 0.5-0.79 μέτρια > 0.8 μεγάλη επίδραση. Για όλες τις αναλύσεις το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας ορίστηκε στο 5% ($p < 0.05$) και όλα τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως $M.O \pm T.A.$. Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε στο στατιστικό πρόγραμμα SPSS 20 (IBM, Armonk, NY, USA).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Το χρονικό διάστημα 2010-2019 το ημερολόγιο της ITF Νέων περιλάμβανε 4008 αγώνες σε εξωτερικά γήπεδα σε 147 χώρες. Πήραμε τα μετεωρολογικά δεδομένα (Flouris A.D et al., 2020) από κοντινούς μετεωρολογικούς σταθμούς (13.6 ± 20.3 km απόσταση από τον αγωνιστικό χώρο) για 3056 από αυτούς τους αγώνες αντιπροσωπεύοντας το 76% του συνολικού αριθμού των αγώνων που πραγματοποιήθηκαν (Γράφημα 2). Συνολικά βρέθηκε ότι 30.1% των αγώνων πραγματοποιήθηκαν σε ζεστές ($25-30^{\circ}\text{C}$ WBGT; 25.9%), πολύ ζεστές ($30-35^{\circ}\text{C}$ WBGT; 4.1%), ή εξαιρετικά ζεστές ($>35^{\circ}\text{C}$ WBGT; 0.1%) περιβαλλοντικές συνθήκες (Γράφημα 1).

Προκειμένου να γίνει προσομοίωση των συνθηκών που πραγματοποιούνταν το 1/3 όλων των τουρνουά της ITF Νέων (Γράφημα 1), η μελέτη αυτή διεξήχθη σε θερμές περιβαλλοντικές συνθήκες (δοκιμασία ελέγχου: $27.9 \pm 1.8^{\circ}\text{C}$ WBGT; δοκιμασία με πρόψυξη: $27.7 \pm 2.2^{\circ}\text{C}$ WBGT). Ο κοντινότερος μετεωρολογικός σταθμός ήταν 33.1 km

μακριά από τα γήπεδα που πραγματοποιήθηκαν οι αγώνες, στον Άραξο (γεωγραφικό μήκος: 21.42; γεωγραφικό πλάτος: 38.15; υψόμετρο: 11m). Η απόσταση αυτή ήταν μεγαλύτερη από το 93% των τουρνουά της ITF που χρησιμοποιήθηκαν παραπάνω. Τα WBGT δεδομένα από το μετεωρολογικό σταθμό ($26.0 \pm 3.4^{\circ}\text{C}$) συσχετίστηκαν με $r=0.55$, $p<0.001$ με τα δεδομένα που καταγράφηκαν στον αγωνιστικό χώρο ($27.2 \pm 2.5^{\circ}\text{C}$) κατά τη διάρκεια διεξαγωγής των μετρήσεων.

Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η μέθοδος της πρόψυξης κεφαλής - λαιμού προκάλεσε μείωση της θερμοκρασίας του πυρήνα του σώματος από $36.9 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ στους $36.4 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ($p=0.001$; $d=2.4$). Η διαφορά αυτή που προκλήθηκε στη θερμοκρασία του πυρήνα εξαιτίας της πρόψυξης μειώθηκε κατά την προθέρμανση έτσι ώστε να μην είναι τόσο έντονη στην αρχή του 1ου σετ (37.4 ± 0.4 προς 37.7 ± 0.2 κατά τη δοκιμασία πρόψυξης και ελέγχου αντίστοιχα) έως και το τέλος του αγώνα (38.1 ± 1.3 προς 38.2 ± 0.5 κατά τη δοκιμασία πρόψυξης και ελέγχου αντίστοιχα) (Πίνακας 6.1). Η μέθοδος της πρόψυξης άσκησε μεγάλη επίδραση ($d>0.8$) στη θερμοκρασία της επιφάνειας σώματος στην αρχή του 2ου σετ (33.9 ± 0.5 προς 34.5 ± 0.4 κατά τη δοκιμασία πρόψυξης και ελέγχου αντίστοιχα) έως και το τέλος του 2ου σετ (33.6 ± 0.6 προς 34.4 ± 0.5 κατά τη δοκιμασία πρόψυξης και ελέγχου αντίστοιχα). Στο δείκτη της θερμικής άνεσης παρατηρήθηκε σημαντική μείωση ($p<0.01$) εξαιτίας της πρόψυξης στο τέλος του 1ου σετ (2.4 ± 1.2 προς 3.4 ± 0.9 κατά τη δοκιμασία πρόψυξης και ελέγχου αντίστοιχα) έως και το τέλος του 2ου σετ (2.9 ± 1.2 προς 3.7 ± 1.2 κατά τη δοκιμασία πρόψυξης και ελέγχου αντίστοιχα). Στο δείκτη της θερμικής αίσθησης παρατηρήθηκε σημαντική μείωση ($p<0.05$) εξαιτίας της πρόψυξης στην αρχή του 1ου σετ (5.7 ± 1.3 προς 7.1 ± 1.0 κατά τη δοκιμασία πρόψυξης και ελέγχου αντίστοιχα) έως και το τέλος του 2ου σετ (6.6 ± 1.2 προς 7.6 ± 0.9 κατά τη δοκιμασία πρόψυξης και

ελέγχου αντίστοιχα). Επίσης, η μέθοδος της πρόψυξης προκάλεσε μέτρια επίδραση ($d > 0.50$) στο δείκτη υποκειμενικής αίσθησης της κόπωσης στο τέλος του 2ου σετ (15.4 ± 1.8 προς 16.3 ± 1.4 κατά τη δοκιμασία πρόψυξης και ελέγχου αντίστοιχα) (Πίνακας 6.1). Η θερμοκρασία του τετρακέφαλου μυός (διαφορά : $0.35 \pm 1.39^\circ\text{C}$), η καρδιακή συχνότητα (διαφορά: 3.69 ± 28.2 beats/min), ο δείκτης φυσιολογικής καταπόνησης, το σωματικό βάρος και το ειδικό βάρος των ούρων παρέμειναν ανεπηρέαστα ($p > 0.05$; $d < 0.2$). Μικρή ή μέτρια βελτίωση παρατηρήθηκε στις περισσότερες παραμέτρους απόδοσης (d : 0.20-0.79) (Πίνακας 6.1). Ωστόσο αυτή η μικρή προς μέτρια βελτίωση που παρατηρήθηκε στις περισσότερες παραμέτρους της απόδοσης από την εφαρμογή της πρόψυξης δεν συνοδεύτηκε από αλλαγή του προφίλ δραστηριότητας των παικτών (διάρκεια συνεχόμενων κτυπημάτων, διάλειμμα ανάμεσα στους πόντους, και πραγματικού χρόνου παιχνιδιού, $p > 0.05$, $d < 0.2$).

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Από τα αποτελέσματα βρέθηκε ότι το 1/3 των αγώνων της ITF Νέων που πραγματοποιήθηκαν την τελευταία δεκαετία διεξάγονταν σε ζεστές, πολύ ζεστές ή εξαιρετικά ζεστές περιβαλλοντικές συνθήκες ($25-36^\circ\text{C}$ WBGT). Το Αμερικάνικο Κολέγιο Αθλητικής Ιατρικής συνιστά ακύρωση όλων των αθλητικών διοργανώσεων σε περιβαλλοντικές συνθήκες με $\text{WBGT} > 27.9^\circ\text{C}$, για το 13.5% των αγώνων από τα δεδομένα μας, εξαιτίας του υψηλού κινδύνου για ασκησιογενείς ασθένειες λόγω θερμότητας (American College of Sports et al., 2007). Οι έφηβοι αθλητές στη μελέτη μας παρουσίασαν αυξημένη υπερθερμία (σταθερή θερμοκρασία πυρήνα $> 38^\circ\text{C}$), κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού στη ζέστη, σε τέτοιο επίπεδο όπως έχει αναφερθεί σε μελέτη ενηλίκων αθλητών (Periard et al., 2013). Τα αποτελέσματα της μελέτης φανερώνουν ότι όπως οι ενήλικες αθλητές του τένις μπορούν να εμφανίσουν ακραία

υπερθερμία κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού τους (Periard et al., 2013) το ίδιο και οι έφηβοι αθλητές, δεδομένου των υψηλών περιβαλλοντικών συνθηκών που διεξάγονται οι αγώνες τους σύμφωνα με το επίσημο ημερολόγιο της ITF Νέων.

Η παρούσα μελέτη είναι η πρώτη που εξετάζει την αποτελεσματικότητα της μεθόδου της πρόψυξης σε έφηβους αθλητές κατά τη διάρκεια πραγματικών συνθηκών παιχνιδιού. Διαπιστώθηκε ότι η μέθοδος της πρόψυξης που εφαρμόστηκε μείωσε σε κάποιο βαθμό τη φυσιολογική θερμική καταπόνηση, τους δείκτες της θερμικής άνεσης, θερμικής αίσθησης και υποκειμενικής αίσθησης της κόπωσης καθώς επίσης προκάλεσε μικρές προς μέτριες βελτιώσεις σε παραμέτρους απόδοσης. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός, ότι οι βελτιώσεις που παρατηρήθηκαν στην απόδοση δεν συνοδεύτηκαν από αλλαγές στο προφίλ δραστηριότητας του αθλητή. Σε αντίθεση με πρόσφατα δημοσιευμένα δεδομένα (Hoppe et al., 2020), όπου αναφέρεται ότι η μέθοδος της πρόψυξης επηρεάζει τους αθλητές στην προσπάθειά τους να επικρατήσουν στο παιχνίδι υιοθετώντας ένα πιο επιθετικό τρόπο παιχνιδιού μέσω πιο δυνατών κτυπημάτων σε όλο το γήπεδο με στόχο να κερδίσουν εύκολους πόντους ή να αναγκάσουν τον αντίπαλο σε λάθος.

Η θετική επίδραση της πρόψυξης στους δείκτες θερμικής άνεσης, θερμικής αίσθησης και υποκειμενικής αίσθησης της κόπωσης έχει επίσης αναφερθεί σε ενήλικες αθλητές του τένις (Castle et al., 2006; Duffield et al., 2011) και αυτό ίσως δίνει το πλεονέκτημα στους αθλητές να επιδοθούν σε υψηλότερη ένταση καθώς και να αντέξουν υψηλότερη θερμική καταπόνηση. Παρόλα αυτά, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι στη μελέτη αυτή υπήρχε μικρός αριθμός δείγματος που αποτελούνταν μόνο από αγόρια καθώς επίσης δεν ελέγχθηκε πιθανή συμμετοχή ψυχολογικών παραμέτρων αφού δεν ήταν δυνατό να εφαρμοστεί ψευδο-ερέθισμα. Επίσης, δεν εκτιμήθηκε η συνολική ποσότητα νερού στο σώμα ή η ημερήσια κατανάλωση

τροφίμων και νερού στους δοκιμαζόμενους. Τα αποτελέσματα προηγούμενων μελετών σε σχέση με την αποτελεσματικότητα της πρόψυξης ήταν αμφιλεγόμενα (Castle et al., 2006; Hornery et al., 2007). Στο τένις, μια προηγούμενη μελέτη ανέφερε ότι δεν υπήρχε επίδραση της πρόψυξης στην απόδοση και στη θερμοκρασία του πυρήνα των αθλητών κατά τη διάρκεια τεσσάρων αγώνων προσομοίωσης (2 ώρες και 40 min) απέναντι σε ένα μηχάνημα που πετούσε μπάλες σε κλειστό γήπεδο τένις κάτω από θερμικά ουδέτερες περιβαλλοντικές συνθήκες (Hornery et al., 2007). Η παραπάνω άποψη υποστηρίχτηκε από μια μεταγενέστερη μελέτη (Duffield et al., 2011) που ανέφερε ότι δεν υπήρχε σημαντική επίδραση της πρόψυξης στην απόδοση, στο φυσιολογικό και αντιληπτικό φορτίο των αθλητών κατά τη διάρκεια προπόνησης τένις στη ζέστη.

Επίσης, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι τα περιβαλλοντικά δεδομένα των αγώνων από το ημερολόγιο της ITF Νέων για την τελευταία δεκαετία δεν ήταν από τον αγωνιστικό χώρο αλλά από τον κοντινότερο μετεωρολογικό σταθμό. Επομένως, οι πραγματικές συνθήκες όσον αφορά τις περιβαλλοντικές συνθήκες στον αγωνιστικό χώρο πιθανό να διέφεραν. Η μελέτη εγκυρότητά μας έδειξε ότι οι ενδείξεις τις WBGT από τον κοντινότερο μετεωρολογικό σταθμό γενικότερα αντιπροσώπευαν τις ενδείξεις που καταγράφονταν στον αγωνιστικό χώρο. Υπήρχε μια υποεκτίμηση των δεδομένων της WBGT στο μετεωρολογικό σταθμό κατά 1.2°C. Ενώ η διαφορά αυτή της κλίμακα των 1.2°C είναι απίθανο να έχει κάποια έντονη φυσιολογική επίδραση στον οργανισμό των αθλητών ωστόσο το γεγονός αυτό ενισχύει την άποψη ότι ένα μεγάλο ποσοστό των αγώνων τένις πραγματοποιούνται σε θερμά περιβάλλοντα. Αν και οι διαφορά αυτή που παρατηρείται στη μελέτη μας εξηγείται από τη μεγάλη απόσταση ανάμεσα στο μετεωρολογικό σταθμό και τους αγωνιστικούς χώρους που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις, είναι λογικό να προβλεφθεί κάποιος βαθμός μεταβλητότητας σε όλες τις

περιπτώσεις. Αυτό συμβαίνει γιατί οι μετεωρολογικοί σταθμοί είναι τοποθετημένοι σε περιοχές ώστε να μην επηρεάζονται από το μικροκλίμα και το φυσικό περιβάλλον (Petersson, Kuklane, & Gao, 2019). Μια πρόσφατη μελέτη στη Βραζιλία, χρησιμοποιώντας δεδομένα μετεωρολογικών σταθμών για τον υπολογισμό των WBGT εφαρμόζοντας μεθόδους παρόμοιες με αυτές που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη μελέτη, έδειξε ότι δεν υπάρχει σημαντική διαφορά για αποστάσεις έως 80χλμ. (Maia, Ruas, & Bitencourt, 2015). Συμπερασματικά, δεδομένου τον μεγάλο αριθμό των αγώνων που καλύφθηκαν καθώς και της περιορισμένης απόστασης ανάμεσα στον μετεωρολογικό σταθμό και στα γήπεδα που χρησιμοποιήθηκαν, προτείνεται ότι η προσέγγιση μας αυτή είναι ισχυρή και αντικατοπτρίζει τις πραγματικές συνθήκες.

ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Η υψηλή συχνότητα των αυξημένων επιπέδων θερμότητας που παρατηρείται κατά τη διάρκεια αγώνων της ITF Νέων επιβεβαιώνει προηγούμενες προτάσεις ότι οι αθλητές, οι προπονητές, οι διοργανωτές και οι τεχνικοί σύμβουλοι του αθλήματος θα πρέπει να γνωρίζουν τις αρνητικές επιπτώσεις που επιφέρει η προπόνηση με υψηλές εντάσεις σε θερμά περιβάλλοντα στην υγεία και την απόδοση των αθλητών και κυρίως όταν αναφερόμαστε για έφηβους. Τα τουρνουά τένις των νέων αθλητών θα πρέπει να διοργανώνονται με τέτοιο τρόπο ώστε να μειώνεται ο κίνδυνος για την υγεία των αθλητών, ενώ προπονητές, αθλητές και διοργανωτές θα πρέπει να ενημερωθούν για αυτούς τους κινδύνους. Παρεμβάσεις όπως η μέθοδο της πρόψυξης που διερευνήθηκε στη παρούσα μελέτη μπορούν να συμβάλλουν στη μείωση των αρνητικών συνεπειών της υπερθερμίας στην απόδοση και την υγεία των αθλητών. Λαμβάνοντας υπόψη τις αναλύσεις από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του παιχνιδιού μπορούμε να πούμε ότι η μέθοδος της πρόψυξης βοηθά τους έφηβους αθλητές να υιοθετήσουν μια πιο

επιθετική/κυρίαρχη στρατηγική παιχνιδιού από ότι μια παθητική παίζοντας από τη baseline προσπαθώντας να μειώσουν τη πιθανότητα του λάθους.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Περίπου το 1/3 των αγώνων της ITF Νέων που πραγματοποιήθηκαν την τελευταία δεκαετία έγιναν σε ζεστές, πολύ ζεστές, ή εξαιρετικά ζεστές περιβαλλοντικές συνθήκες (25-36°C WBGT). Κάτω από τέτοιες συνθήκες, οι έφηβοι αθλητές του τένις εμφανίζουν αυξημένη υπερθερμία και η παρέμβαση της πρόψυξη κεφαλιού - λαιμού ίσως μπορεί να μειώσει τη φυσιολογική και αντιληπτική επιβάρυνση που προκαλείται από τη ζέστη και να οδηγήσει σε μικρή προς μέτρια βελτίωση της απόδοσης.

Πίνακας 6.1. Αποτελέσματα των φυσιολογικών και αντιληπτικών δεικτών και της απόδοσης (M.O±T.A) των εφήβων αθλητών του τένις κατά τη δοκιμασία Ελέγχου και Πρόψυξης σε διάφορες χρονικές στιγμές

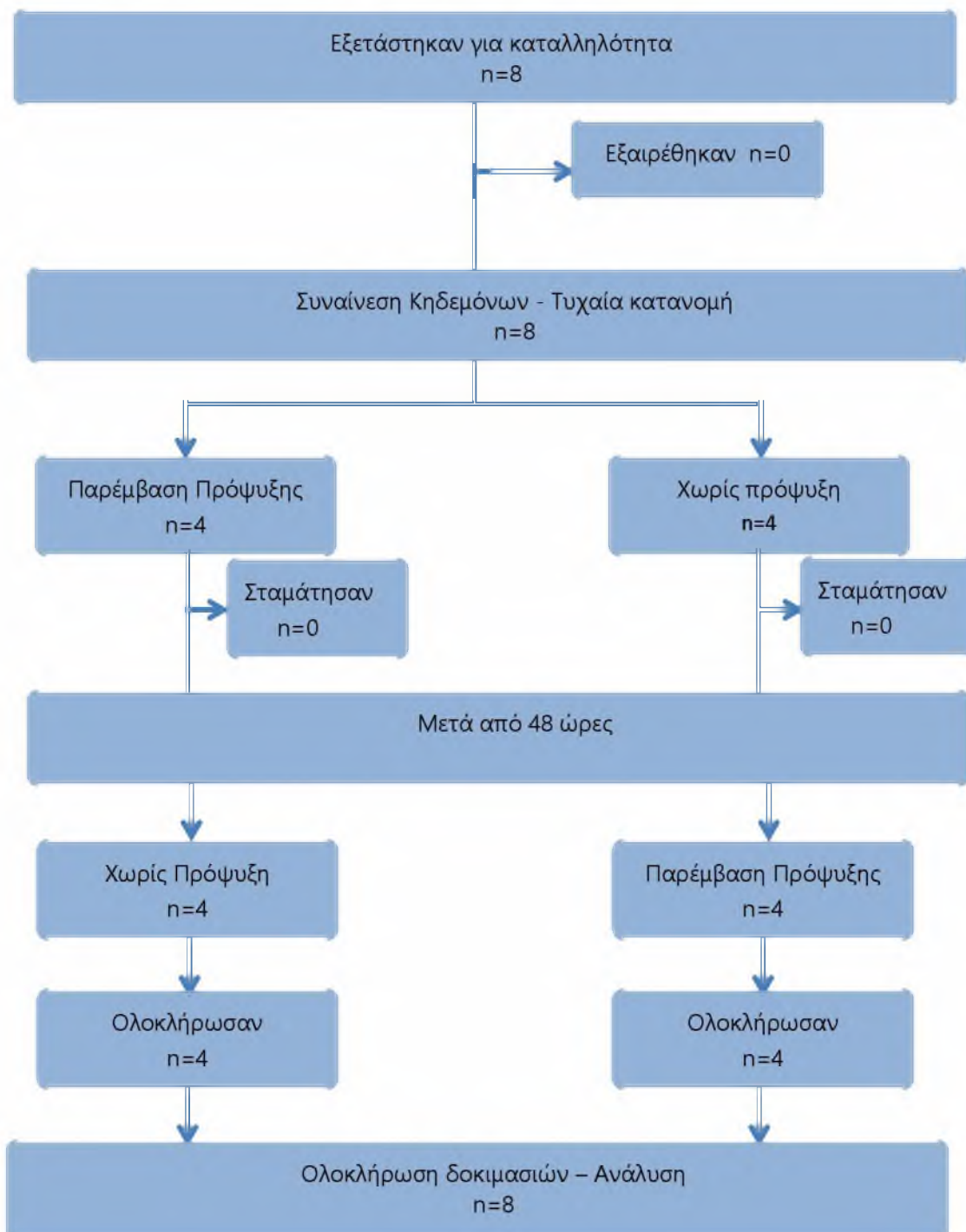
Παράμετροι	Δοκιμασία	Set 1		Set 2	
		Αρχή	Τέλος	Αρχή	Τέλος
Θερμοκρασία Πυρήνα (°C)	Ελέγχου	37.7±0.2	38.3±0.5	38.1±0.5	38.2±0.5
	Πρόψυξης	37.4±0.4 ^c	38.4±0.7	37.8±0.9 ^a	38.0±1.3 ^a
Θερμοκρασία Επιφάνειας σώματος (°C)	Ελέγχου	34.3±0.4	34.1±0.6	34.5±0.4	34.4±0.5
	Πρόψυξης	34.4±0.4 ^a	34.1±0.5	33.9±0.5 ^c	33.6±0.6 ^c
Θερμική Άνεση	Ελέγχου	1.9±1.1	3.4±0.9	---	3.7±1.2
	Πρόψυξης	1.6±0.7 ^a	2.4±1.2 ^{*c}	---	2.9±1.2 ^{*b}
Θερμική Αίσθηση	Ελέγχου	7.1±1.0	7.4±1.1	---	7.6±0.9
	Πρόψυξης	5.7±1.3 ^{*c}	6.4±1.1 ^{*c}	---	6.6±1.2 ^{*c}
Υποκειμενική αίσθηση κόπωσης	Ελέγχου	8.6±2.5	13.0±2.3	---	16.3±1.4
	Πρόψυξης	8.0±2.0 ^a	12.8±1.7	---	15.4±1.8 ^b
Games κερδισμένα	Ελέγχου	3.7±2.3		3.5±2.5	
	Πρόψυξης	3.7±2.4		4.0±2.6	
Points κερδισμένοι ανά set	Ελέγχου	28.2±12.9		23.1±12.1	
	Πρόψυξης	30.8±9.1 ^a		27.2±16.5 ^a	
Αβίαστα Λάθη	Ελέγχου	8.7±6.3		7.1±5.1	
	Πρόψυξης	8.0±3.1		6.7±4.9	
Άσσοι	Ελέγχου	0.5±0.7		0.3±0.5	
	Πρόψυξης	1.0±1.1 ^b		0.5±0.9 ^a	
Διπλό Λάθος	Ελέγχου	1.0±2.1		0.9±1.8	
	Πρόψυξης	1.1±1.8		0.3±0.4 ^a	
Ακρίβεια 1 ^{ου} σερβίς (%)	Ελέγχου	53.3±12.9		57.8±11.8	
	Πρόψυξης	56.2±9.4 ^a		53.3±9.2 ^a	

Ακρίβεια 2^{ου} σερβίς (%)	Ελέγχου	73.9±9.7	67.5±22.5
	Πρόψυξης	79.1±5.4^b	75.3±11.6^a

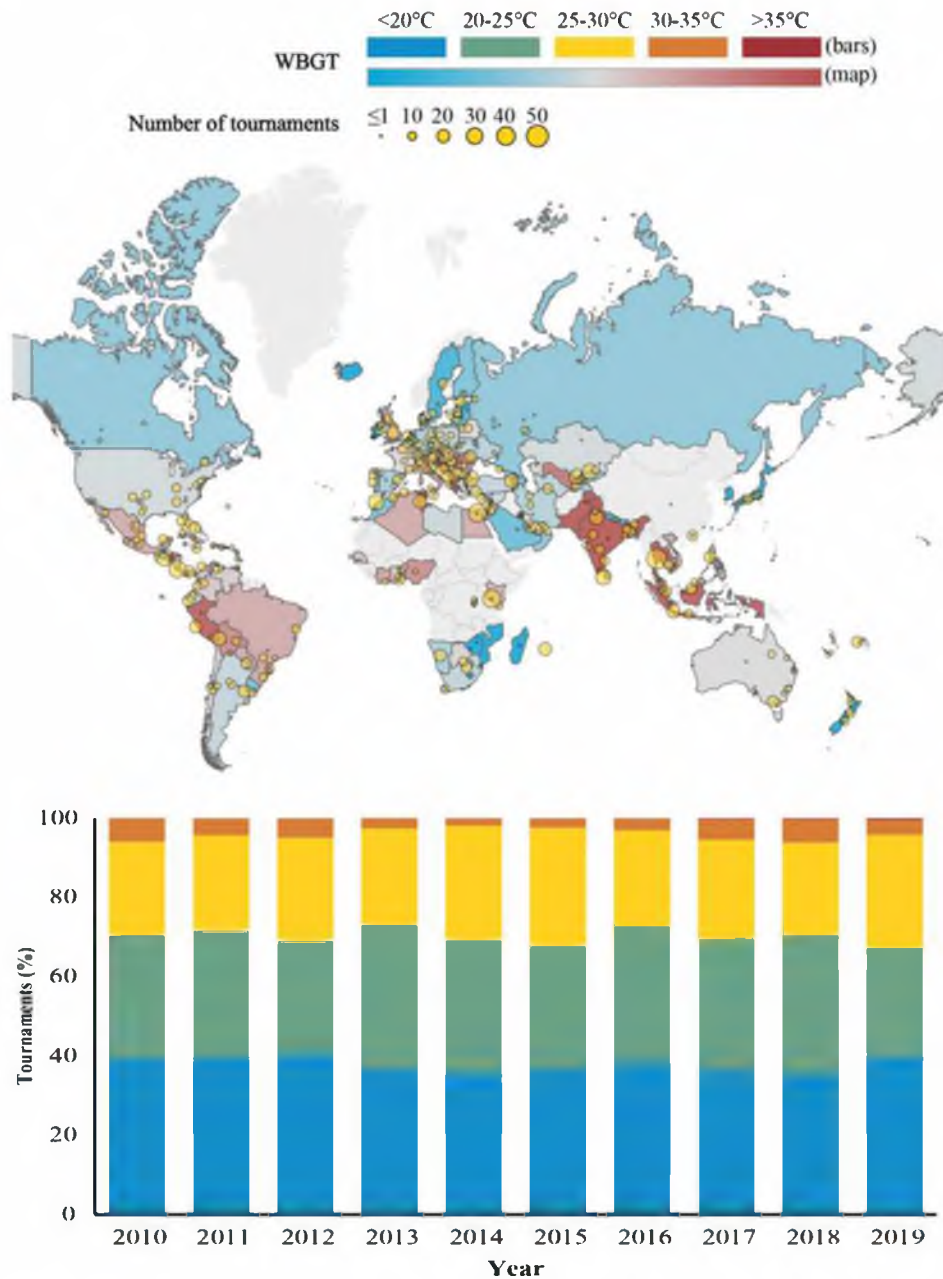
Σημείωση: * = στατιστικά σημαντική διαφορά από δοκιμασία ελέγχου με $p < 0.05$, Μέγεθος επίδρασης: a = μικρή (0.20-0.49); b = μέτρια (0.50-0.79); c = μεγάλη (≥ 0.8).

Διευκρινήσεις: Η θερμική άνεση εκτιμήθηκε μέσω αναγνωρισμένης κλίμακας με 1 να θεωρείται ως “άνετο” και 5 ως “πολύ άβολο”, η θερμική άνεση εκτιμήθηκε μέσω αναγνωρισμένης κλίμακας με 1 να θεωρείται ως “πολύ κρύο” και 10 ως “υπερβολικά ζεστό”, και ο δείκτης της υποκειμενικής αίσθηση της κόπωσης εκτιμήθηκε μέσω αναγνωρισμένης κλίμακας με 6 να θεωρείται ως “καθόλου κουραστικό” και 20 ως “μέγιστη κόπωση”.

Γράφημα 6.1. Consort διάγραμμα μελέτης.



Γράφημα 6.2. Στοιχεία από 3056 αγώνες τένις της ITF Νέων (Flouris A.D et al., 2020).



Σημείωση: Οι κύκλοι στον χάρτη απεικονίζουν τον αριθμό των τουρνουά που διοργανώνονται σε διαφορετικές τοποθεσίες και τα χρώματα της χώρας υποδεικνύουν τη θερμοκρασία του υγρού λοβού της γης (WBGT) κατά τη διάρκεια των πιο καυτών τουρνουά σε κάθε χώρα. Το γράφημα με τις μπάρες απεικονίζει τη συχνότητα των αγώνων που πραγματοποιούνται σε διαφορετικά επίπεδα WBGT κάθε χρόνο.

Κεφάλαιο Επτά

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η θερμορύθμιση αποτελεί ένα από τα βασικά συστήματα ομοιοστατικού ελέγχου του ανθρώπινου οργανισμού και ανήκει στην γενική κατηγορία απόκρισης των αντανακλαστικών δηλαδή μιας ιδιαίτερης αλληλουχίας γεγονότων ανάμεσα σε ένα ερέθισμα και μια απάντηση. Η σημαντικότητα διατήρησης της εσωτερικής θερμοκρασίας του οργανισμού σε σχεδόν σταθερά επίπεδα έγκειται στη διασφάλιση του κυτταρικού μεταβολισμού που το κόστος αποτυχίας είναι η πρωτεϊνική μετουσίωση, η νευρική/νοητική δυσλειτουργία, ή ακόμη και ο θάνατος. Υπάρχει ένα σύνολο ενδογενών και εξωγενών παραγόντων που επηρεάζει τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του οργανισμού. Αναμφίβολα η άσκηση από μόνη της αποτελεί ένα θερμικά στρεσογόνο παράγοντα που οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας του πυρήνα του σώματος, η οποία αν συνδυαστεί με αυξημένα θερμοκρασιακά περιβάλλοντα μπορεί να βάλει σε κίνδυνο την υγεία του ανθρώπου. Υπάρχουν επιπλέον ενδογενείς παράγοντες όπως η ηλικία, το επίπεδο φυσικής κατάστασης, η σύσταση και το μέγεθος επιφάνειας σώματος, ο εγκλιματισμός, η ενυδάτωση που μπορούν να επηρεάσουν τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του οργανισμού προκειμένου να διατηρηθεί σε σχεδόν σταθερά επίπεδα περίπου στους 37°C. Μολονότι οι έρευνες για την επίδραση των παραπάνω παραγόντων ως προς τη θερμορυθμιστική λειτουργία του οργανισμού αποτελεί αντικείμενο μελέτης πολλών ετών ωστόσο δεν έχει διαλευκανθεί ακόμη ο τρόπος επίδρασή τους. Ιδίως στα παιδιά και στους έφηβους έχουν γίνει ελάχιστες

μελέτες σε σχέση με αυτές των ενηλίκων μολονότι το θερμορυθμιστικό σύστημα των παιδιών θεωρείται πιο ανώριμο σύμφωνα με κάποιες μελέτες (Periard et al., 2013). Η παρούσα διατριβή συνοψίζει την ερευνητική προσπάθεια στην επίλυση της παραπάνω αβεβαιότητας. Το θεμελιώδες ερώτημα είναι: πώς οι διάφοροι ενδογενείς παράγοντες επηρεάζουν το θερμορυθμιστικό σύστημα του οργανισμού, την παραγωγή και την αποβολή της θερμότητας από το σώμα, κατά την άσκηση στην παιδική ηλικία. Η παραγωγή θερμότητας εκτιμήθηκε μέσω της θερμοκρασίας του πυρήνα και της επιφάνειας του σώματος. Δεν εκτιμήθηκε η θερμοκρασία των μυών καθώς αυτή αντικατοπτρίζεται μέσω της θερμοκρασίας του πυρήνα του σώματος. Δεδομένου ότι οι μύες παράγουν τεράστια ποσά θερμότητας κατά την άσκηση που οδηγούν σε αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος. Η αποβολή θερμότητας από το σώμα εκτιμήθηκε μέσω του ρυθμού εφίδρωσης όλου του σώματος. Για την απάντηση του παραπάνω ερωτήματος πραγματοποιήθηκαν τρεις μελέτες. Οι μελέτες που παρουσιάστηκαν στα Κεφάλαια 4 και 5 διερεύνησαν την επίδραση των ενδογενών παραγόντων: της ηλικίας, του επιπέδου φυσικής κατάστασης, της σύστασης και του μεγέθους της επιφάνειας σώματος στη θερμορυθμιστική ανταπόκριση του οργανισμού κατά την άσκηση, ενώ το πείραμα που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 6 διερεύνησε την αποτελεσματικότητα της μεθόδου της πρόψυξης κεφαλής- – λαιμού στη μείωση του φυσιολογικού και αντιληπτικού φορτίου και την βελτίωση της απόδοσης εφήβων αθλητών σε πραγματικές συνθήκες.

Η μελέτη που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 4 προσπάθησε να διερευνήσει μεμονωμένα και συνδυαστικά την επίδραση της ηλικίας και του επιπέδου φυσικής κατάστασης στο ΡΕΟΣ καθώς και να μελετήσει την πορεία εξέλιξης του ΡΕΟΣ κατά την παιδική ηλικία. Από τα αποτελέσματα βρέθηκε ότι ο ΡΕΟΣ αυξάνει γραμμικά με την αύξηση της ηλικίας. Συγκεκριμένα από την ηλικία 9-13 ετών δεν παρατηρείται

κάποια σημαντική εξέλιξη ωστόσο αυξάνει ραγδαία μέχρι την ηλικία των 14 ετών όπου και παραμένει σε υψηλά επίπεδα έως και την ηλικία των 17 ετών. Βρέθηκε ότι τα παιδιά με υψηλότερο επίπεδο φυσικής κατάστασης έχουν και υψηλότερο ΡΕΟΣ, συμπέρασμα που αποδεικνύει την ευεργετική επίδραση των υψηλών επιπέδων VO_{2max} στην ικανότητα για αποβολή θερμότητας από το σώμα. Το ίδιο συμπέρασμα προκύπτει και σε μελέτες ενηλίκων (Notley et al., 2019; Stapleton et al., 2015), εξαιτίας το ναωρίτερο σημείο έναρξης της εφίδρωσης κατά την άσκηση σε συνδυασμό με τον αυξημένο ρυθμό παραγωγής ιδρώτα καθώς η άσκηση εξελίσσεται. Ωστόσο στη παρούσα μελέτη δεν εκτιμήθηκε το σημείο έναρξης της εφίδρωσης. Ένα ενδιαφέρον συμπέρασμα από την παρούσα μελέτη είναι η ποσότητα νερού που χάνεται κατά την διάρκεια έντονης άσκησης, το οποίο κυμαίνεται από 50ml, για αυτούς που κάνουν 2-3 λεπτά άσκησης, στα 350ml για αυτούς που κάνουν 12 λεπτά άσκησης. Αυτό φανερώνει το πόσο σημαντική είναι η ενυδάτωση των παιδιών σχολικής ηλικίας τα οποία πίνουν ίσως λιγότερο νερό από το συνιστώμενο λόγω της αποτροπής χρήσης των τουαλετών κατά την διάρκεια του μαθήματος (Ko et al., 2016; Molloy et al., 2008). Οι ειδικοί φυσικής αγωγής, άσκησης και υγείας πρέπει να είναι γνώστες των υπάρχοντων οδηγιών για την πρόσληψη νερού και να συμβουλεύουν τα παιδιά για την κατάλληλη αναπλήρωση της καθημερινής ποσότητας νερού, όταν αυτά αθλούνται έντονα σε θερμά περιβάλλοντα προκειμένου να αποφευχθούν οι αρνητικές επιπτώσεις της χαμηλής πρόσληψης νερού και της αφυδάτωσης στη φυσιολογία και γνωστική λειτουργία των παιδιών (Kavouras et al., 2017; Suh & Kavouras, 2019).

Σκοπός της μελέτης που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 5 ήταν η εξέταση των πιθανών διαφορών σε θερμορυθμιστικούς και αντιληπτικούς δείκτες εξαιτίας της επίδρασης του σωματικού λίπους και της επιφάνειας σώματος σε εφήβους κατά τη διάρκεια 30 λεπτών άσκησης σε ποδήλατο, που προκαλούσε την ίδια παραγωγή

θερμότητας ανά κιλό σωματικής μάζας, σε θερμικά ουδέτερο και ζεστό περιβάλλον. Στη μελέτη ελέγχθηκε η ενυδάτωση των δοκιμαζόμενων και το πρωτόκολλο άσκησης δεν στηρίχτηκε στη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου των δοκιμαζόμενων (%VO₂max), γεγονός που οδηγεί σε διαφορετική παραγωγή θερμότητας στον οργανισμό κυρίως σε άτομα με μεγάλες διαφορές στη VO₂max (Havenith & van Middendorp, 1990; Jay et al., 2011; Sehl et al., 2012; Vroman et al., 1983). Σύμφωνα με την μηδενική υπόθεση οι παχύσαρκοι και οι μικρόσωμοι έφηβοι θα είχαν υψηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τους εφήβους που είχαν κανονικό βάρος και ήταν μεγαλόσωμοι. Το κύριο συμπέρασμα είναι ότι το σωματικό λίπος ασκεί μέτρια προς μεγάλη επίδραση ($d > 0.50$) σε κάποιους δείκτες φυσιολογικού φορτίου και υποκειμενικής αίσθησης που πιθανά λόγω του μικρού δείγματος της μελέτης να μη προέκυψε στατιστική σημαντική διαφορά. Το μέγεθος επιφάνειας σώματος επιδρά σημαντικά στο ρυθμό εφίδρωσης όλου του σώματος αλλά και του μυός. Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής συμφωνούν με αυτά άλλης έρευνας (Haymes et al., 1974) που αναφέρει ότι εξαιτίας του σωματικού λίπους υπάρχουν διαφορές στη Θ_{π} ανάμεσα σε παχύσαρκα και μη παχύσαρκα παιδιά, με αυτή των παχύσαρκων να υπερτερεί. Παρόλα αυτά υπάρχουν έρευνες σε παχύσαρκα και μη παχύσαρκα αγόρια (Dougherty et al., 2009; Sehl et al., 2012) και κορίτσια (Leites et al., 2013) που αναφέρουν ότι δεν υπάρχει επίδραση του σωματικού λίπους στην αύξηση της θερμοκρασίας του οργανισμού. Αξιοσημείωτο είναι ότι η επιφάνεια σώματος άσκησε μεγάλη επίδραση ($d \geq 0.8$) στο ΡΕΟΣ τόσο κατά το τέλος της άσκησης όσο και της αποκατάστασης στο ΘΠ με αυτή των μεγαλόσωμων να είναι υψηλότερη. Επίσης ο ρυθμός εφίδρωσης σε τοπικό επίπεδο εκτιμώντας το ρυθμό εφίδρωσης του τραπεζοειδούς μυός βρέθηκε ότι επηρεάζεται σημαντικά από το ποσοστό σωματικού λίπους και το μέγεθος επιφάνειας σώματος. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα οι παχύσαρκοι και μεγαλόσωμοι έφηβοι είχαν υψηλότερο ρυθμό εφίδρωσης σε σύγκριση

με τους μη παχύσαρκους και τους μικρόσωμους. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν αντίστοιχες έρευνες σε εφήβους που να εκτιμούν την επίδραση του μεγέθους της επιφάνειας σώματος στη θερμορυθμιστική απάντηση του οργανισμού.

Η μελέτη που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 6 προσπάθησε να διερευνήσει την αποτελεσματικότητα της μεθόδου της πρόψυξης κεφαλής – λαιμού στη μείωση του φυσιολογικού και αντιληπτικού φορτίου και την βελτίωση της απόδοσης εφήβων αθλητών σε πραγματικές συνθήκες. Για πρώτη φορά εφαρμόστηκε σε έφηβους αθλητές του τένις μια στρατηγική μείωση της θερμοκρασίας του πυρήνα κατά 0.5°C σε πραγματικές συνθήκες παιχνιδιού. Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι η μέθοδος της πρόψυξης προκάλεσε ως ένα βαθμό κάποια βελτίωση στη φυσιολογική θερμική καταπόνηση των αθλητών καθώς μείωσε τη θερμοκρασία της επιφάνειας του σώματος για το μεγαλύτερο μέρος του αγώνα και οδήγησε σε βελτίωση των δεικτών της θερμικής αίσθησης, θερμικής άνεσης και της υποκειμενικής αίσθησης της κόπωσης. Σε αντίθεση βρίσκονται τα αποτελέσματα προηγούμενων ερευνών (Duffield et al., 2011; Hornery et al., 2007) σε ενήλικες καθώς δεν παρατηρείται καμία επίδραση της πρόψυξης στην απόδοση, στο φυσιολογικό και αντιληπτικό φορτίο των αθλητών κατά τη διάρκεια προπόνησης τένις στη ζέστη ή σε αγώνες προσομοίωσης. Οι θετικές επιδράσεις που αναφέρθηκαν προκάλεσαν μικρές προς μέτριες βελτιώσεις σε παραμέτρους απόδοσης χωρίς αυτές να οδηγήσουν σε αλλαγή του προφίλ δραστηριότητας των αθλητών. Το αποτέλεσμα αυτό βρίσκεται σε αντίθεση με πρόσφατα δημοσιευμένα δεδομένα σε ενήλικες αθλητές (Horpe et al., 2020), στα οποία αναφέρεται ότι η μέθοδος της πρόψυξης επηρεάζει τους αθλητές στην προσπάθειά τους να επικρατήσουν στο παιχνίδι υιοθετώντας ένα πιο επιθετικό τρόπο παιχνιδιού μέσω πιο δυνατών κτυπημάτων σε όλο το γήπεδο με στόχο να κερδίσουν εύκολους πόντους ή να αναγκάσουν τον αντίπαλο σε λάθος. Ένα σημαντικό πόρισμα της μελέτης αυτής

ήταν ότι το 1/3 των αγώνων της ITF Νέων πραγματοποιούνται σε ζεστές, πολύ ζεστές ή εξαιρετικά ζεστές περιβαλλοντικές συνθήκες (25-36°C WBGT) όπου σύμφωνα με συστάσεις του Αμερικάνικου Κολεγίου Αθλητικής Ιατρικής προτείνεται ακύρωση όλων των αθλητικών διοργανώσεων σε περιβαλλοντικές συνθήκες με WBGT>27.9°C, για το 13.5% των αγώνων από τα δεδομένα μας, εξαιτίας του υψηλού κινδύνου για ασκησιογενείς ασθένειες λόγω θερμότητας (American College of Sports et al., 2007). Αξιοσημείωτο είναι πως οι έφηβοι αθλητές παρουσίασαν αυξημένη υπερθερμία (σταθερή θερμοκρασία πυρήνα >38°C), κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού στη ζέστη, σε τέτοιο επίπεδο όπως έχει αναφερθεί σε μελέτη ενηλίκων αθλητών (Periard et al., 2013).

Διαβάζοντας τα σημαντικότερα συμπεράσματα αυτής της Διατριβής είναι σημαντικό να αναφερθούμε στους περιορισμούς που είναι εγγενείς με τις μεθόδους και τον σχεδιασμό των παραπάνω ερευνών. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι όλα τα παραπάνω συμπεράσματα αντιπροσωπεύουν τα αγόρια μιας συγκεκριμένης ηλικιακής κατηγορίας, 14-17 ετών για τις μελέτες στα Κεφάλαια 5 και 6, που ασκήθηκαν σε συγκεκριμένα θερμοκρασιακά περιβάλλοντα και δεν μπορούν να γενικευτούν σε όλες τις περιβαλλοντικές συνθήκες ιδίως όταν τα ποσοστά υγρασίας είναι υψηλά. Αντίστοιχες μελέτες πρέπει να γίνουν για τα κορίτσια. Στη συνέχεια για να ισχυροποιηθούν τα αποτελέσματα των μελετών στα Κεφάλαια 5 και 6 θα πρέπει να εφαρμοστούν σε ένα μεγαλύτερο αριθμό δοκιμαζόμενων έτσι ώστε εκεί που εμφανίζονταν οι επιδράσεις των διαφόρων παραγόντων πιθανόν να προκύψουν σημαντικές διαφορές. Επιπρόσθετα μια περαιτέρω μελέτη της επίδρασης του μεγέθους της επιφάνειας σώματος με πρωτόκολλο βασισμένο στα Watt ανά τετραγωνικά εκατοστά επιφάνεια σώματος ως μέθοδος επιβάρυνσης, όπου σύμφωνα με την άποψη του Jay και των συνεργατών του (2015) θεωρείται πιο κατάλληλο, να οδηγούσε σε πιο αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα. Επιπρόσθετα χρησιμοποιώντας στη μελέτη του Κεφαλαίου 4 το παλίνδρομο τεστ

20μέτρων δεν επιτράπηκε να διερευνηθούν ξεχωριστά οι πιθανές επιδράσεις του χρόνου άσκησης και της VO_{2max} στο ΡΕΟΣ κάτι που θα μπορούσε να προκύψει από ένα διαβαθμισμένο τεστ. Επομένως μια περαιτέρω μελέτη με ένα διαβαθμισμένο τεστ θα μας έδινε περαιτέρω πληροφορίες για το ΡΕΟΣ. Γενικότεροι περιορισμοί και των τριών μελετών είναι ότι δεν εκτιμήθηκε η βιολογική ηλικία των δοκιμαζόμενων καθώς και η ημερήσια κατανάλωση τροφίμων και υγρών.

Κατά τη διάρκεια αυτού του χρονικού διαστήματος συνειδητοποίησα ότι η φυσιολογία του ανθρώπινου οργανισμού είναι τόσο πολύπλευρη και πολύπλοκη που εκεί που απαντάς ένα ερώτημα έχουν αρχίσει να δημιουργούνται νέα. Η απάντηση ενός προβληματισμού δεν είναι εύκολη διαδικασία και μπορεί να προέλθει μόνο όταν ξέρεις τι ακριβώς ψάχνεις και αποδεσμευτείς από οποιαδήποτε αντίληψη που πιθανά υπάρχει γύρω από αυτό το θέμα. Η συστηματική δουλειά και η υπομονή είναι τα όπλα ενός ερευνητή για την αντιμετώπιση των διαφόρων δυσκολιών που θα προκύψουν στο έργο του. Σκοπός της όλης ερευνητικής διαδικασίας είναι η εξυπηρέτηση του ανθρώπου και το πώς θα βελτιωθεί η ίδια του η ζωή μέσα από τη γνώση των διαφόρων λειτουργιών της ανθρώπινης υπόστασης.

Κεφάλαιο Οχτώ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τη διεξοδική μελέτη των παραγόντων που επηρεάζουν τη θερμορυθμιστική ανταπόκριση του οργανισμού κατά την παιδική ηλικία και τα αποτελέσματα από τις τρεις μελέτες συμπεραίνεται ότι:

1. Η ηλικία και η φυσική κατάσταση συσχετίζονται στατιστικά σημαντικά με τον ρυθμό εφίδρωσης όλου του σώματος με $r=0.369$ και $r=0.429$ αντίστοιχα ($p<0.001$) και ερμηνεύουν το 18.8% της μεταβλητότητάς του.
2. Τα παιδιά με υψηλότερο επίπεδο φυσικής κατάστασης έχουν και υψηλότερο ρυθμός εφίδρωσης όλου του σώματος.
3. Το σωματικό λίπος ασκεί μέτρια προς μεγάλη επίδραση σε κάποιους δείκτες φυσιολογικού φορτίου και υποκειμενικής αίσθησης.
4. Το μέγεθος επιφάνειας σώματος επιδρά σημαντικά στο ρυθμό εφίδρωσης όλου του σώματος.
5. Ο ρυθμός εφίδρωσης του μυός (τραπεζοειδής μυς) επηρεάζεται σημαντικά από το σωματικό λίπος και την επιφάνεια σώματος.
6. Η μέθοδος της πρόψυξης κεφαλής – λαιμού προκάλεσε ως ένα βαθμό κάποια βελτίωση στη θερμορυθμιστική και αντιληπτική ανταπόκριση των εφήβων αθλητών του τένις καθώς μείωσε τη θερμοκρασία της επιφάνειας του σώματος για το μεγαλύτερο μέρος του αγώνα και οδήγησε σε βελτίωση των δεικτών της

θερμικής αίσθησης, θερμικής άνεσης και της υποκειμενικής αίσθησης της κόπωσης. Επιπρόσθετα, η μέθοδο της πρόψυξης επέφερε μικρές προς μέτριες βελτιώσεις σε παραμέτρους απόδοσης χωρίς αυτές να οδηγούν σε αλλαγή του προφίλ δραστηριότητας των αθλητών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Adams, J. D., Ganio, M. S., Burchfield, J. M., Matthews, A. C., Werner, R. N., Chokbengboun, A. J., . . . LaChance, A. A. (2015). Effects of obesity on body temperature in otherwise-healthy females when controlling hydration and heat production during exercise in the heat. *Eur J Appl Physiol*, *115*(1), 167-176. doi:10.1007/s00421-014-3002-y
- Aikas, E., Karvonen, M. J., Piironen, P., & Ruosteenoja, R. (1962). Intramuscular, rectal and oesophageal temperature during exercise. *Acta Physiol Scand*, *54*, 36-70. doi:10.1111/j.1748-1716.1962.tb02361.x
- Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Herrmann, S. D., Meckes, N., Bassett, D. R., Jr., Tudor-Locke, C., . . . Leon, A. S. (2011). 2011 Compendium of Physical Activities: a second update of codes and MET values. *Med Sci Sports Exerc*, *43*(8), 1575-1581. doi:10.1249/MSS.0b013e31821ece12
- Aizawa, S., & Cabanac, M. (2002). The influence of temporary semi-supine and supine postures on temperature regulation in humans. *J Therm Biol*(27), 109-114.
- Alhadad, S. B., Tan, P. M. S., & Lee, J. K. W. (2019). Efficacy of Heat Mitigation Strategies on Core Temperature and Endurance Exercise: A Meta-Analysis. *Front Physiol*, *10*, 71. doi:10.3389/fphys.2019.00071
- American College of Sports, M., Armstrong, L. E., Casa, D. J., Millard-Stafford, M., Moran, D. S., Pyne, S. W., & Roberts, W. O. (2007). American College of Sports Medicine position stand. Exertional heat illness during training and competition. *Med Sci Sports Exerc*, *39*(3), 556-572. doi:10.1249/MSS.0b013e31802fa199
- Armstrong, L. E. (2000). *Performing in Extreme Environments: Human Kinetics*.

- Aschoff, J. (1956). [Internal-peripheral reciprocal action in thermoregulation]. *Arch Phys Ther (Leipz)*, 8(3), 113-133.
- Aschoff, J. (1971). Temperaturregulation. In O. H. Gauer, K. Kramer, & R. Jung (Eds.), *Energiehaushalt und Temperaturregulation. Physiologie des Menschen* (pp. 43-112). Munich, Germany: Urban & Schwarzenberg.
- Astrand, P.-O., & Rodahl, K. (1977). *Energy Balance and Temperature Regulation* (2nd ed.). New York: McGraw-Hill.
- Aulick, L. H., Robinson, S., & Tzankoff, S. P. (1981). Arm and leg intravascular temperatures of men during submaximal exercise. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 51(5), 1092-1097.
- Bangsbo, J., Krstrup, P., Gonzalez-Alonso, J., & Saltin, B. (2001). ATP production and efficiency of human skeletal muscle during intense exercise: effect of previous exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 280(6), E956-964.
- Bar-Or, O. (1998). Effects of age and gender on sweating pattern during exercise. *Int J Sports Med*, 19 Suppl 2, S106-107. doi:10.1055/s-2007-971970
- Bar-Or, O., Harris, D., Bergstein, V., & Buskirk, E. R. (1976). Progressive hypohydration in subjects who vary in adiposity. *Isr J Med Sci*, 12(8), 800-803.
- Bar-Or, O., Magnusson, L. I., & Buskirk, E. R. (1968). Distribution of heat-activated sweat glands in obese and lean men and women. *Hum Biol*, 40(2), 235-248.
- Barrett, J., Lack, L., & Morris, M. (1993). The sleep-evoked decrease of body temperature. *Sleep*, 16(2), 93-99.
- Bedno, S. A., Li, Y., Han, W., Cowan, D. N., Scott, C. T., Cavicchia, M. A., & Niebuhr, D. W. (2010). Exertional heat illness among overweight U.S. Army recruits in basic training. *Aviat Space Environ Med*, 81(2), 107-111. doi:10.3357/ase.2623.2010

- Bennett, L. A., Johnson, J. M., Stephens, D. P., Saad, A. R., & Kellogg, D. L., Jr. (2003). Evidence for a role for vasoactive intestinal peptide in active vasodilatation in the cutaneous vasculature of humans. *J Physiol*, 552(Pt 1), 223-232. doi:10.1113/jphysiol.2003.042135
- Benzinger, T. H. (1969). Heat regulation: homeostasis of central temperature in man. *Physiol Rev*, 49(4), 671-759.
- Bernard, C. (1865). *Introduction a l'étude de la médecine expérimentale*. Paris: J.B. Bailliere et Fils.
- Bernard, C. (1878). *Lecons sur les phenomenes de la vie communs aux animaux et aux vegetaux*. Paris: J.B. Bailliere et Fils.
- Berthoud, H. R., & Neuhuber, W. L. (2000). Functional and chemical anatomy of the afferent vagal system. *Auton Neurosci*, 85(1-3), 1-17. doi:10.1016/S1566-0702(00)00215-0
- Binder, K., Lynn, A. G., Gagnon, D., Kondo, N., & Kenny, G. P. (2012). Hyperthermia modifies muscle metaboreceptor and baroreceptor modulation of heat loss in humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 302(4), R417-423. doi:10.1152/ajpregu.00463.2011
- Blaxter, K. L. (1978). Adair Crawford and calorimetry. *Proc Nutr Soc*, 37(1), 1-3.
- Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*, 14(5), 377-381.
- Boulant, J. A. (1981). Hypothalamic mechanisms in thermoregulation. *Fed Proc*, 40(14), 2843-2850.
- Boulant, J. A. (2000). Role of the preoptic-anterior hypothalamus in thermoregulation and fever. *Clin Infect Dis*, 31 Suppl 5, S157-161. doi:10.1086/317521
- Boulant, J. A., & Bignall, K. E. (1973). Hypothalamic neuronal responses to peripheral and deep-body temperatures. *Am J Physiol*, 225(6), 1371-1374.
- Boulant, J. A., & Hardy, J. D. (1974). The effect of spinal and skin temperatures on the firing rate and thermosensitivity of preoptic neurones. *J Physiol*, 240(3), 639-660.

- Brubaker, P., Kaminsky, L., & Whaley, M. (2002). *Coronary Artery Disease: Essentials of Prevention and Rehabilitation Programs: Human Kinetics*
- Buono, M. J., & Sjöholm, N. T. (1988). Effect of physical training on peripheral sweat production. *J Appl Physiol* (1985), 65(2), 811-814. doi:10.1152/jappl.1988.65.2.811
- Candas, V., Libert, J. P., & Vogt, J. J. (1979). Influence of air velocity and heat acclimation on human skin wettedness and sweating efficiency. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 47(6), 1194-1200.
- Cannon, W. B. (1929). Pharmacological Injections and Physiological Inferences. *Science*, 70(1821), 500-501. doi:10.1126/science.70.1821.500-a
- Carlisle, H. J. (1969). Effect of preoptic and anterior hypothalamic lesions on behavioral thermoregulation in the cold. *J Comp Physiol Psychol*, 69(2), 391-402.
- Carpenter, K. J. (1994). The 1993 W. O. Atwater Centennial Memorial Lecture. The life and times of W. O. Atwater (1844-1907). *J Nutr*, 124(9 Suppl), 1707S-1714S.
- Carrillo, A. E., & Flouris, A. D. (2011). Caloric restriction and longevity: effects of reduced body temperature. *Ageing Res Rev*, 10(1), 153-162. doi:10.1016/j.arr.2010.10.001
- Carrillo, A. E., Koutedakis, Y., & Flouris, A. D. (2011). Early life mammalian biology and later life physical performance: maximising physiological adaptation. *Br J Sports Med*, 45(12), 1000-1001. doi:10.1136/bjsports-2011-090198
- Casa, D. J., Armstrong, L. E., Ganio, M. S., & Yeargin, S. W. (2005). Exertional heat stroke in competitive athletes. *Curr Sports Med Rep*, 4(6), 309-317. doi:10.1097/01.csmr.0000306292.64954.da
- Castle, P. C., Macdonald, A. L., Philp, A., Webborn, A., Watt, P. W., & Maxwell, N. S. (2006). Precooling leg muscle improves intermittent sprint exercise performance in hot, humid conditions. *J Appl Physiol* (1985), 100(4), 1377-1384. doi:10.1152/japplphysiol.00822.2005

- Chappuis, P., Pittet, P., & Jequier, E. (1976). Heat storage regulation in exercise during thermal transients. *J Appl Physiol*, *40*(3), 384-392.
- Cheung, S. S., & McLellan, T. M. (1998). Heat acclimation, aerobic fitness, and hydration effects on tolerance during uncompensable heat stress. *J Appl Physiol* (1985), *84*(5), 1731-1739.
- Cramer, M. N., & Jay, O. (2014). Selecting the correct exercise intensity for unbiased comparisons of thermoregulatory responses between groups of different mass and surface area. *J Appl Physiol* (1985), *116*(9), 1123-1132.
doi:10.1152/jappphysiol.01312.2013
- Crandall, C. G., Johnson, J. M., Kosiba, W. A., & Kellogg, D. L., Jr. (1996). Baroreceptor control of the cutaneous active vasodilator system. *J Appl Physiol* (1985), *81*(5), 2192-2198.
- Daanen, H. A. M., Racinais, S., & Periard, J. D. (2018). Heat Acclimation Decay and Re-Induction: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med*, *48*(2), 409-430.
doi:10.1007/s40279-017-0808-x
- Dauncey, M. J. (1979). Energy metabolism in man and the influence of diet and temperature: a review. *J Hum Nutr*, *33*(4), 259-269.
- Dauncey, M. J., & Bingham, S. A. (1983). Dependence of 24 h energy expenditure in man on the composition of the nutrient intake. *Br J Nutr*, *50*(1), 1-13.
- de Ferranti, S. D., Gauvreau, K., Ludwig, D. S., Neufeld, E. J., Newburger, J. W., & Rifai, N. (2004). Prevalence of the metabolic syndrome in American adolescents: findings from the Third National Health and Nutrition Examination Survey. *Circulation*, *110*(16), 2494-2497. doi:10.1161/01.CIR.0000145117.40114.C7
- Deren, T. M., Coris, E. E., Bain, A. R., Walz, S. M., & Jay, O. (2012). Sweating is greater in NCAA football linemen independently of heat production. *Med Sci Sports Exerc*, *44*(2), 244-252. doi:10.1249/MSS.0b013e31822cb4e2

- Dotd, C., Gunnarsson, T., Elam, M., Karlsson, T., & Wallin, B. G. (1995). Central blood volume influences sympathetic sudomotor nerve traffic in warm humans. *Acta Physiol Scand*, 155(1), 41-51. doi:10.1111/j.1748-1716.1995.tb09946.x
- Dougherty, K. A., Chow, M., & Kenney, W. L. (2009). Responses of lean and obese boys to repeated summer exercise in the heat bouts. *Med Sci Sports Exerc*, 41(2), 279-289. doi:10.1249/MSS.0b013e318185d341
- Dougherty, K. A., Chow, M., & Kenney, W. L. (2010). Critical environmental limits for exercising heat-acclimated lean and obese boys. *Eur J Appl Physiol*, 108(4), 779-789. doi:10.1007/s00421-009-1290-4
- Drinkwater, B. L., Kupprat, I. C., Denton, J. E., & Horvath, S. M. (1977). Heat tolerance of female distance runners. *Ann N Y Acad Sci*, 301, 777-792.
- Du Bois, D., & Du Bois, E. F. (1916). A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. *Arch Int Med*, 17, 863-871.
- Du Bois, D., & Du Bois, E. F. (1989). A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. 1916. *Nutrition*, 5(5), 303-311; discussion 312-303.
- Dubois, E. F. (1936). *Basal metabolism in health and disease* (3rd ed.). Philadelphia: Lea and Febiger.
- Duchen, M. R. (2004). Mitochondria in health and disease: perspectives on a new mitochondrial biology. *Mol Aspects Med*, 25(4), 365-451. doi:10.1016/j.mam.2004.03.001
- Duffield, R., Bird, S. P., & Ballard, R. J. (2011). Field-based pre-cooling for on-court tennis conditioning training in the heat. *J Sports Sci Med*, 10(2), 376-384.
- Dufour, A., & Candas, V. (2007). Ageing and thermal responses during passive heat exposure: sweating and sensory aspects. *Eur J Appl Physiol*, 100(1), 19-26. doi:10.1007/s00421-007-0396-9

- Edwards, R. H., Hill, D. K., & Jones, D. A. (1975). Heat production and chemical changes during isometric contractions of the human quadriceps muscle. *J Physiol*, *251*(2), 303-315.
- EFSA Panel on Dietetic Products, N., and Allergies,. (2010). Scientific opinion on dietary reference values for water. *EFSA J*, *8*, 1459.
- Elia, M., Ritz, P., & Stubbs, R. J. (2000). Total energy expenditure in the elderly. *Eur J Clin Nutr*, *54 Suppl 3*, S92-103.
- Epstein, Y., Shapiro, Y., & Brill, S. (1983). Role of surface area-to-mass ratio and work efficiency in heat intolerance. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, *54*(3), 831-836.
doi:10.1152/jappl.1983.54.3.831
- Eston, R. G., Lamb, K. L., Bain, A., Williams, A. M., & Williams, J. G. (1994). Validity of a perceived exertion scale for children: a pilot study. *Percept Mot Skills*, *78*(2), 691-697.
doi:10.2466/pms.1994.78.2.691
- Falk, B. (1998). Effects of thermal stress during rest and exercise in the paediatric population. *Sports Med*, *25*(4), 221-240. doi:10.2165/00007256-199825040-00002
- Falk, B., Bar-Or, O., Smolander, J., & Frost, G. (1994). Response to rest and exercise in the cold: effects of age and aerobic fitness. *J Appl Physiol (1985)*, *76*(1), 72-78.
- Falk, B., & Dotan, R. (2008). Children's thermoregulation during exercise in the heat: a revisit. *Appl Physiol Nutr Metab*, *33*(2), 420-427. doi:10.1139/H07-185
- Falk, B., & Dotan, R. (2011). Temperature regulation and elite young athletes. *Med Sport Sci*, *56*, 126-149. doi:10.1159/000320645
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behav Res Methods*, *39*(2), 175-191. doi:10.3758/bf03193146
- Fiala, D. (1998). *Dynamic simulation of human heat transfer and thermal comfort*. University Leicester, UK.

- Florez-Duquet, M., & McDonald, R. B. (1998). Cold-induced thermoregulation and biological aging. *Physiol Rev*, 78(2), 339-358.
- Flouris A.D, Ioannou LG, Mantzios K, & M., M. (2020). Meteorological data of all International Tennis Federation Junior tournaments held during 2010-2019. (Publication no. 10.6084/m9.figshare.12174699.v1. FigShare2020.).
- Flouris, A. D. (2011). Functional architecture of behavioural thermoregulation. *Eur J Appl Physiol*, 111(1), 1-8. doi:10.1007/s00421-010-1602-8
- Flouris, A. D. (2015). Playing football in a hot environment: effects on performance and recommendations for coaches. *Inquiries in Sport & Physical Education*, 13(1), 17-25.
- Flouris, A. D. (2019). Human thermoregulation. In J. D. Périard & S. Racinais (Eds.), *Heat stress in sport and exercise* (pp. 3-27). Geneva, Switzerland: Springer International Publishing.
- Flouris, A. D., & Cheung, S. S. (2009). Influence of thermal balance on cold-induced vasodilation. *J Appl Physiol* (1985), 106(4), 1264-1271. doi:10.1152/jappphysiol.91426.2008
- Flouris, A. D., Dinas, P. C., Valente, A., Andrade, C. M., Kawashita, N. H., & Sakellariou, P. (2017). Exercise-induced effects on UCP1 expression in classical brown adipose tissue: a systematic review. *Horm Mol Biol Clin Investig*. doi:10.1515/hmbci-2016-0048
- Flouris, A. D., Metsios, G. S., & Koutedakis, Y. (2005). Enhancing the efficacy of the 20 m multistage shuttle run test. *Br J Sports Med*, 39(3), 166-170. doi:10.1136/bjism.2004.012500
- Flouris, A. D., & Piantoni, C. (2015). Links between thermoregulation and aging in endotherms and ectotherms. *Temperature (Austin)*, 2(1), 73-85. doi:10.4161/23328940.2014.989793
- Flouris, A. D., & Schlader, Z. J. (2015). Human behavioral thermoregulation during exercise in the heat. *Scand J Med Sci Sports*, 25 Suppl 1, 52-64. doi:10.1111/sms.12349

- Flouris, A. D., Webb, P., & Kenny, G. P. (2015). Noninvasive assessment of muscle temperature during rest, exercise, and postexercise recovery in different environments. *J Appl Physiol (1985)*, *118*(10), 1310-1320. doi:10.1152/jappphysiol.00932.2014
- Food and Nutrition Board, I. o. M. (2004). *Dietary reference intakes for water, potassium, sodium, chloride, and sulfate*. Washington DC, USA: National Academies Press.
- Franklin, P. J., Green, D. J., & Cable, N. T. (1993). The influence of thermoregulatory mechanisms on post-exercise hypotension in humans. *J Physiol*, *470*, 231-241.
- Gagge, A., Fobelets, A. P., & Berglund, L. G. (1986). A standard predictive index of human response to the thermal environment. *ASHRAE Transaction*(92), 709-731.
- Gagge, A., & Gonzalez, R. (1996). *Mechanisms of heat exchange* (Vol. 1).
- Gagge, A. P., Stolwijk, J. A., & Hardy, J. D. (1967). Comfort and thermal sensations and associated physiological responses at various ambient temperatures. *Environ Res*, *1*(1), 1-20.
- Gagnon, D., & Kenny, G. P. (2012). Sex differences in thermoeffector responses during exercise at fixed requirements for heat loss. *J Appl Physiol (1985)*, *113*(5), 746-757. doi:10.1152/jappphysiol.00637.2012
- Gardner, J. W., Kark, J. A., Karnei, K., Sanborn, J. S., Gastaldo, E., Burr, P., & Wenger, C. B. (1996). Risk factors predicting exertional heat illness in male Marine Corps recruits. *Med Sci Sports Exerc*, *28*(8), 939-944. doi:10.1097/00005768-199608000-00001
- Garrow, J. S., Murgatroyd, P., Toft, R., & Warwick, P. (1977). A direct calorimeter for clinical use [proceedings]. *J Physiol*, *267*(1), 15P-16P.
- Gilbert, S. S., van den Heuvel, C. J., Ferguson, S. A., & Dawson, D. (2004). Thermoregulation as a sleep signalling system. *Sleep Med Rev*, *8*(2), 81-93. doi:10.1016/S1087-0792(03)00023-6
- Gisolfi, C., & Robinson, S. (1969). Relations between physical training, acclimatization, and heat tolerance. *J Appl Physiol*, *26*(5), 530-534. doi:10.1152/jappl.1969.26.5.530

- Gisolfi, C. V., & Wenger, C. B. (1984). Temperature regulation during exercise: old concepts, new ideas. *Exerc Sport Sci Rev*, *12*, 339-372.
- Glotzbach, S. F., & Heller, H. C. (1994). *Temperature regulation* (M. H. Kryger, T. Roth, & W. C. Dement Eds. 2nd ed.). Philadelphia.
- Goglia, F. (2005). Biological effects of 3,5-diiodothyronine (T₂). *Biochemistry (Mosc)*, *70*(2), 164-172.
- Goglia, F., Moreno, M., & Lanni, A. (1999). Action of thyroid hormones at the cellular level: the mitochondrial target. *FEBS Lett*, *452*(3), 115-120.
- Gonzalez-Alonso, J. (2012). Human thermoregulation and the cardiovascular system. *Exp Physiol*, *97*(3), 340-346. doi:10.1113/expphysiol.2011.058701
- Gonzalez-Alonso, J., Quistorff, B., Krstrup, P., Bangsbo, J., & Saltin, B. (2000). Heat production in human skeletal muscle at the onset of intense dynamic exercise. *J Physiol*, *524 Pt 2*, 603-615.
- Guyton, A. C. (1991). *Textbook of medical physiology* (8th ed.). Philadelphia.
- Guyton, A. C., & Hall, J. E. (1996). *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology* (11th ed.). Philadelphia: W. B. Saunders.
- Hammel, H. T. (1968). Regulation of internal body temperature. *Annu Rev Physiol*, *30*, 641-710. doi:10.1146/annurev.ph.30.030168.003233
- Hardy, J. D. (1961). Physiology of temperature regulation. *Physiol Rev*, *41*, 521-606.
- Hardy, J. D., & Dubois, E. F. (1937). Regulation of Heat Loss from the Human Body. *Proc Natl Acad Sci U S A*, *23*(12), 624-631.
- Havenith, G. (2001). Individualized model of human thermoregulation for the simulation of heat stress response. *J Appl Physiol* (1985), *90*(5), 1943-1954.
- Havenith, G., Coenen, J. M., Kistemaker, L., & Kenney, W. L. (1998). Relevance of individual characteristics for human heat stress response is dependent on exercise intensity and

climate type. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 77(3), 231-241.

doi:10.1007/s004210050327

Havenith, G., Luttikholt, V. G., & Vrijkotte, T. G. (1995). The relative influence of body characteristics on humid heat stress response. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 70(3), 270-279.

Havenith, G., & van Middendorp, H. (1990). The relative influence of physical fitness, acclimatization state, anthropometric measures and gender on individual reactions to heat stress. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 61(5-6), 419-427. doi:10.1007/bf00236062

Haymes, E. M., Buskirk, E. R., Hodgson, J. L., Lundegren, H. M., & Nicholas, W. C. (1974). Heat tolerance of exercising lean and heavy prepubertal girls. *J Appl Physiol*, 36(5), 566-571. doi:10.1152/jappl.1974.36.5.566

Haymes, E. M., McCormick, R. J., & Buskirk, E. R. (1975). Heat tolerance of exercising lean and obese prepubertal boys. *J Appl Physiol*, 39(3), 457-461. doi:10.1152/jappl.1975.39.3.457

Heft, M. W., Cooper, B. Y., O'Brien, K. K., Hemp, E., & O'Brien, R. (1996). Aging effects on the perception of noxious and non-noxious thermal stimuli applied to the face. *Aging (Milano)*, 8(1), 35-41.

Henane, R., Flandrois, R., & Charbonnier, J. P. (1977). Increase in sweating sensitivity by endurance conditioning in man. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 43(5), 822-828. doi:10.1152/jappl.1977.43.5.822

Hensel, H. (1981). Thermoreception and temperature regulation. *Monogr Physiol Soc*, 38, 1-321.

Henshel, A. (1967). Obesity as an occupational hazard. *Can J Public Health*(58), 491.

Herman, R. M., Brower, J. B., Stoddard, D. G., Casano, A. R., Targovnik, J. H., Herman, J. H., & Tearse, P. (2007). Prevalence of somatic small fiber neuropathy in obesity. *Int J Obes (Lond)*, 31(2), 226-235. doi:10.1038/sj.ijo.0803418

- Hirai, A., Tanabe, M., & Shido, O. (1991). Enhancement of finger blood flow response of postprandial human subjects to the increase in body temperature during exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 62(3), 221-227.
- Holowatz, L. A., Thompson-Torgerson, C., & Kenney, W. L. (2010). Aging and the control of human skin blood flow. *Front Biosci (Landmark Ed)*, 15, 718-739.
- Hoppe, M. W., Hotfiel, T., Stuckradt, A., Grim, C., Ueberschar, O., Freiwald, J., & Baumgart, C. (2020). Effects of passive, active, and mixed playing strategies on external and internal loads in female tennis players. *PLoS One*, 15(9), e0239463.
doi:10.1371/journal.pone.0239463
- Hori, T. (1991). An update on thermosensitive neurons in the brain: from cellular biology to thermal and non-thermal homeostatic functions. *Jpn J Physiol*, 41(1), 1-22.
- Hornery, D. J., Farrow, D., Mujika, I., & Young, W. B. (2007). Caffeine, carbohydrate, and cooling use during prolonged simulated tennis. *Int J Sports Physiol Perform*, 2(4), 423-438.
- Hulbert, A. J. (2000). Thyroid hormones and their effects: a new perspective. *Biol Rev Camb Philos Soc*, 75(4), 519-631.
- ISO. (1994). *Moderate Thermal Environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort* Geneva: International Standards Organisation.
- ISO. (2004). *Ergonomics of the thermal environment. Determination of metabolic heat production*. Geneva.
- Jansky, L. (1995). Humoral thermogenesis and its role in maintaining energy balance. *Physiol Rev*, 75(2), 237-259.
- Jay, O., Bain, A. R., Deren, T. M., Sacheli, M., & Cramer, M. N. (2011). Large differences in peak oxygen uptake do not independently alter changes in core temperature and sweating during exercise. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 301(3), R832-841.
doi:10.1152/ajpregu.00257.2011

- Jay, O., Garipey, L. M., Reardon, F. D., Webb, P., Ducharme, M. B., Ramsay, T., & Kenny, G. P. (2007). A three-compartment thermometry model for the improved estimation of changes in body heat content. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 292(1), R167-175. doi:10.1152/ajpregu.00338.2006
- Jequier, E. (1975). Direct calorimetry: a new clinical approach for measuring thermoregulatory responses in man. *Bibl Radiol*(6), 185-190.
- Jeronimus, B. F., Riese, H., Sanderman, R., & Ormel, J. (2014). Mutual reinforcement between neuroticism and life experiences: a five-wave, 16-year study to test reciprocal causation. *J Pers Soc Psychol*, 107(4), 751-764. doi:10.1037/a0037009
- Johnson, J. M., & Proppe, D. W. (1996). Cardiovascular adjustments to heat stress In M. Fregly & C. Blatteis (Eds.), *Handbook of Physiology : Environmental Physiology* (pp. 215-243). New York, NY: Oxford University Press.
- Johnson, M. R., Ferkol, T. W., & Shepherd, R. W. (2006). Energy cost of activity and exercise in children and adolescents with cystic fibrosis. *J Cyst Fibros*, 5(1), 53-58. doi:10.1016/j.jcf.2005.10.001
- Journeay, W. S., Carter, R., 3rd, & Kenny, G. P. (2006). Thermoregulatory control following dynamic exercise. *Aviat Space Environ Med*, 77(11), 1174-1182.
- Journeay, W. S., Reardon, F. D., Martin, C. R., & Kenny, G. P. (2004). Control of cutaneous vascular conductance and sweating during recovery from dynamic exercise in humans. *J Appl Physiol (1985)*, 96(6), 2207-2212. doi:10.1152/jappphysiol.01201.2003
- Journeay, W. S., Reardon, F. D., McInnis, N. H., & Kenny, G. P. (2005). Nonthermoregulatory control of cutaneous vascular conductance and sweating during recovery from dynamic exercise in women. *J Appl Physiol (1985)*, 99(5), 1816-1821. doi:10.1152/jappphysiol.00497.2005
- Kakitsuba, N., & Mekjavic, I. B. (1987). Determining the rate of body heat storage by incorporating body composition. *Aviat Space Environ Med*, 58(4), 301-307.

- Kamijo, Y., Lee, K., & Mack, G. W. (2005). Active cutaneous vasodilation in resting humans during mild heat stress. *J Appl Physiol (1985)*, *98*(3), 829-837.
doi:10.1152/jappphysiol.00235.2004
- Karpoff, L., Vinet, A., Schuster, I., Oudot, C., Goret, L., Dauzat, M., . . . Perez-Martin, A. (2009). Abnormal vascular reactivity at rest and exercise in obese boys. *Eur J Clin Invest*, *39*(2), 94-102. doi:10.1111/j.1365-2362.2008.02068.x
- Kavouras, S. A. (2002). Assessing hydration status. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, *5*(5), 519-524. doi:10.1097/00075197-200209000-00010
- Kavouras, S. A., Bougatsas, D., Johnson, E. C., Arnaoutis, G., Tsipouridi, S., & Panagiotakos, D. B. (2017). Water intake and urinary hydration biomarkers in children. *Eur J Clin Nutr*, *71*(4), 530-535. doi:10.1038/ejcn.2016.218
- Kellogg, D. L., Jr. (2006). In vivo mechanisms of cutaneous vasodilation and vasoconstriction in humans during thermoregulatory challenges. *J Appl Physiol (1985)*, *100*(5), 1709-1718.
doi:10.1152/jappphysiol.01071.2005
- Kellogg, D. L., Jr., Liu, Y., Kosiba, I. F., & O'Donnell, D. (1999). Role of nitric oxide in the vascular effects of local warming of the skin in humans. *J Appl Physiol (1985)*, *86*(4), 1185-1190.
- Kenefick, R. W., & Cheuvront, S. N. (2012). Hydration for recreational sport and physical activity. *Nutr Rev*, *70 Suppl 2*, S137-142. doi:10.1111/j.1753-4887.2012.00523.x
- Kenney, E. L., Long, M. W., Craddock, A. L., & Gortmaker, S. L. (2015). Prevalence of inadequate hydration among US children and disparities by gender and race/ethnicity: National Health and Nutrition Examination Survey, 2009-2012. *Am J Public Health*, *105*(8), e113-118. doi:10.2105/AJPH.2015.302572
- Kenney, W. L. (1985a). Physiological correlates of heat intolerance. *Sports Med*, *2*(4), 279-286.
- Kenney, W. L. (1985b). A review of comparative responses of men and women to heat stress. *Environ Res*, *37*(1), 1-11.

- Kenney, W. L., Craighead, D. H., & Alexander, L. M. (2014). Heat waves, aging, and human cardiovascular health. *Med Sci Sports Exerc*, *46*(10), 1891-1899.
doi:10.1249/MSS.0000000000000325
- Kenney, W. L., & Fowler, S. R. (1988). Methylcholine-activated eccrine sweat gland density and output as a function of age. *J Appl Physiol* (1985), *65*(3), 1082-1086.
- Kenney, W. L., & Johnson, J. M. (1992). Control of skin blood flow during exercise. *Med Sci Sports Exerc*, *24*(3), 303-312.
- Kenny, G. P., Dorman, L. E., Webb, P., Ducharme, M. B., Gagnon, D., Reardon, F. D., . . . Jay, O. (2009). Heat balance and cumulative heat storage during intermittent bouts of exercise. *Med Sci Sports Exerc*, *41*(3), 588-596. doi:10.1249/MSS.0b013e31818c97a9
- Kenny, G. P., & Flouris, A. D. (2014a). The human thermoregulatory system and its response to thermal stress. In F. Wang & C. Gao (Eds.), *Protective Clothing* (pp. 319-365). Atlanta, GA, USA: Woodhead Publishing.
- Kenny, G. P., & Flouris, A. D. (2014b). The human thermoregulatory system and its response to thermal stress. In F. Wang & C. Gao (Eds.), *Protective clothing: managing thermal stress*. Cambridge, UK: Woodhead Publishing Limited.
- Kenny, G. P., & Flouris, A. D. (2014). *The human thermoregulatory system and its response to thermal stress*.
- Kenny, G. P., & Flouris, A. D. (2014c). *The human thermoregulatory system and its response to thermal stress*. .
- Kenny, G. P., & Gagnon, D. (2010). Is there evidence for nonthermal modulation of whole body heat loss during intermittent exercise? *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, *299*(1), R119-128. doi:10.1152/ajpregu.00102.2010
- Kenny, G. P., Gagnon, D., Shiff, D., Armstrong, R., Journeay, W. S., & Kilby, D. (2010). Influence of nonthermal baroreceptor modulation of heat loss responses during uncompensable heat stress. *Eur J Appl Physiol*, *108*(3), 541-548. doi:10.1007/s00421-009-1255-7

- Kenny, G. P., Jackson, D. N., & Reardon, F. D. (2000). Acute head-down tilt decreases the postexercise resting threshold for forearm cutaneous vasodilation. *J Appl Physiol* (1985), 89(6), 2306-2311.
- Kenny, G. P., & Jay, O. (2007). Sex differences in postexercise esophageal and muscle tissue temperature response. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 292(4), R1632-1640. doi:10.1152/ajpregu.00638.2006
- Kenny, G. P., & Jay, O. (2013). Thermometry, calorimetry, and mean body temperature during heat stress. *Compr Physiol*, 3(4), 1689-1719. doi:10.1002/cphy.c130011
- Kenny, G. P., Jay, O., & Journeay, W. S. (2007). Disturbance of thermal homeostasis following dynamic exercise. *Appl Physiol Nutr Metab*, 32(4), 818-831. doi:10.1139/H07-044
- Kenny, G. P., Jay, O., Zaleski, W. M., Reardon, M. L., Sigal, R. J., Journeay, W. S., & Reardon, F. D. (2006). Postexercise hypotension causes a prolonged perturbation in esophageal and active muscle temperature recovery. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 291(3), R580-588. doi:10.1152/ajpregu.00918.2005
- Kenny, G. P., & Journeay, W. S. (2010). Human thermoregulation: separating thermal and nonthermal effects on heat loss. *Front Biosci (Landmark Ed)*, 15, 259-290.
- Kenny, G. P., & Niedre, P. C. (2002). The effect of exercise intensity on the post-exercise esophageal temperature response. *Eur J Appl Physiol*, 86(4), 342-346.
- Kenny, G. P., Poirier, M. P., Metsios, G. S., Boulay, P., Dervis, S., Friesen, B. J., . . . Flouris, A. D. (2017). Hyperthermia and cardiovascular strain during an extreme heat exposure in young versus older adults. *Temperature (Austin)*, 4(1), 79-88. doi:10.1080/23328940.2016.1230171
- Kenny, G. P., Proulx, C. E., Denis, P. M., & Giesbrecht, G. G. (2000). Moderate exercise increases the post exercise resting warm thermoregulatory response thresholds. *Aviat Space Environ Med*, 71(9), 914-919.

- Kenny, G. P., Reardon, F. D., Ducharme, M. B., Reardon, M. L., & Zaleski, W. (2002). Tissue temperature transients in resting contra-lateral leg muscle tissue during isolated knee extension. *Can J Appl Physiol*, *27*(6), 535-550.
- Kenny, G. P., Reardon, F. D., Giesbrecht, G. G., Jette, M., & Thoden, J. S. (1997). The effect of ambient temperature and exercise intensity on post-exercise thermal homeostasis. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, *76*(2), 109-115. doi:10.1007/s004210050221
- Kenny, G. P., Webb, P., Ducharme, M. B., Reardon, F. D., & Jay, O. (2008). Calorimetric measurement of postexercise net heat loss and residual body heat storage. *Med Sci Sports Exerc*, *40*(9), 1629-1636. doi:10.1249/MSS.0b013e31817751cb
- Kenny, G. P., Wilson, T. E., Flouris, A. D., & Fujii, N. (2018). Heat exhaustion. *Handb Clin Neurol*, *157*, 505-529. doi:10.1016/B978-0-444-64074-1.00031-8
- Kinder, E. (1927). A study of the nest-building activity of the albino rat. *J Exp Zool* (47), 117-161.
- Ko, L. N., Chuang, K. W., Champeau, A., Allen, I. E., & Copp, H. L. (2016). Lower urinary tract dysfunction in elementary school children: results of a cross-sectional teacher survey. *J Urol*, *195*(4 Pt 2), 1232-1238. doi:10.1016/j.juro.2015.09.091
- Kondo, N., Shibasaki, M., Aoki, K., Koga, S., Inoue, Y., & Crandall, C. G. (2001). Function of human eccrine sweat glands during dynamic exercise and passive heat stress. *J Appl Physiol* (1985), *90*(5), 1877-1881.
- Kondo, N., Yanagimoto, S., Nishiyasu, T., & Crandall, C. G. (2003). Effects of muscle metaboreceptor stimulation on cutaneous blood flow from glabrous and nonglabrous skin in mildly heated humans. *J Appl Physiol* (1985), *94*(5), 1829-1835. doi:10.1152/jappphysiol.00810.2002
- Krauchi, K., & Wirz-Justice, A. (1994). Circadian rhythm of heat production, heart rate, and skin and core temperature under unmasking conditions in men. *Am J Physiol*, *267*(3 Pt 2), R819-829.

- Krustrup, P., Ferguson, R. A., Kjaer, M., & Bangsbo, J. (2003). ATP and heat production in human skeletal muscle during dynamic exercise: higher efficiency of anaerobic than aerobic ATP resynthesis. *J Physiol*, *549*(Pt 1), 255-269.
doi:10.1113/jphysiol.2002.035089
- Krustrup, P., Gonzalez-Alonso, J., Quistorff, B., & Bangsbo, J. (2001). Muscle heat production and anaerobic energy turnover during repeated intense dynamic exercise in humans. *J Physiol*, *536*(Pt 3), 947-956.
- Lamb, K. L., Eston, R. G., & Corns, D. (1999). Reliability of ratings of perceived exertion during progressive treadmill exercise. *Br J Sports Med*, *33*(5), 336-339.
doi:10.1136/bjism.33.5.336
- Lanni, A., Moreno, M., Lombardi, A., de Lange, P., & Goglia, F. (2001). Control of energy metabolism by iodothyronines. *J Endocrinol Invest*, *24*(11), 897-913.
doi:10.1007/BF03343949
- Lanza, D., & Vegetti, M. (1996). *Opere Biologiche di Aristotele* (2nd ed.). Torino: UTET.
- Laties, V. G., & Weiss, B. (1959). Thyroid state and working for heat in the cold. *Am J Physiol*, *197*, 1028-1034.
- Laties, V. G., & Weiss, B. (1960). Behavior in the cold after acclimatization. *Science*, *131*(3417), 1891-1892.
- Latzka, W. A., Sawka, M. N., Montain, S. J., Skrinar, G. S., Fielding, R. A., Matott, R. P., & Pandolf, K. B. (1998). Hyperhydration: tolerance and cardiovascular effects during uncompensable exercise-heat stress. *J Appl Physiol* (1985), *84*(6), 1858-1864.
- Lee, T. F., & Wang, L. C. (1985). Improving cold tolerance in elderly rats by aminophylline. *Life Sci*, *36*(21), 2025-2032.
- Leger, L. A., Mercier, D., Gadoury, C., & Lambert, J. (1988). The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *J Sports Sci*, *6*(2), 93-101. doi:10.1080/02640418808729800

- Leites, G. T., Sehl, P. L., Cunha Gdos, S., Detoni Filho, A., & Meyer, F. (2013). Responses of obese and lean girls exercising under heat and thermoneutral conditions. *J Pediatr*, *162*(5), 1054-1060. doi:10.1016/j.jpeds.2012.10.047
- Leonard, W. R., Katzmarzyk, P. T., Stephen, M. A., & Ross, A. G. (1995). Comparison of the heart rate-monitoring and factorial methods: assessment of energy expenditure in highland and coastal Ecuadoreans. *Am J Clin Nutr*, *61*(5), 1146-1152.
- Lewis, S., Heitkemper, M. M., Dirksen, S. R., Bucher, L., & O'Brien, P. G. (2007). *Medical-surgical nursing* (7th ed.).
- Limbaugh, J. D., Wimer, G. S., Long, L. H., & Baird, W. H. (2013). Body fatness, body core temperature, and heat loss during moderate-intensity exercise. *Aviat Space Environ Med*, *84*(11), 1153-1158. doi:10.3357/ase.3627.2013
- Lossius, K., Eriksen, M., & Walloe, L. (1993). Fluctuations in blood flow to acral skin in humans: connection with heart rate and blood pressure variability. *J Physiol*, *460*, 641-655.
- Lynn, A. G., Gagnon, D., Binder, K., Boushel, R. C., & Kenny, G. P. (2012). Divergent roles of plasma osmolality and the baroreflex on sweating and skin blood flow. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, *302*(5), R634-642. doi:10.1152/ajpregu.00411.2011
- MacDougall, J. D., Roche, P. D., Bar-Or, O., & Moroz, J. R. (1983). Maximal aerobic capacity of Canadian schoolchildren: prediction based on age-related oxygen cost of running. *Int J Sports Med*, *4*(3), 194-198. doi:10.1055/s-2008-1026034
- Mack, G. W., Cordero, D., & Peters, J. (2001). Baroreceptor modulation of active cutaneous vasodilation during dynamic exercise in humans. *J Appl Physiol* (1985), *90*(4), 1464-1473.
- Maia, P. A., Ruas, A. C., & Bitencourt, D. P. (2015). Wet-bulb globe temperature index estimation using meteorological data from Sao Paulo State, Brazil. *Int J Biometeorol*, *59*(10), 1395-1403. doi:10.1007/s00484-014-0949-7

- Malchaire, J. B. (1991). Predicted sweat rate in fluctuating thermal conditions. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 63(3-4), 282-287.
- Martin, H. F., 3rd, & Manning, J. W. (1971). Thalamic 'warming' and 'cooling' units responding to cutaneous stimulation. *Brain Res*, 27(2), 377-381.
- Mason, J. W. (1972). *Organization of psychoendocrine mechanism : a review and reconsideration of research*. New York.
- McArdle, W., Katch, F., & Katch, V. (2001). *Φυσιολογία της Άσκησης - Τόμος Ι*
- McCord, G. R., Cracowski, J. L., & Minson, C. T. (2006). Prostanoids contribute to cutaneous active vasodilation in humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 291(3), R596-602. doi:10.1152/ajpregu.00710.2005
- McDonald, R. B., & Horwitz, B. A. (1999). Brown adipose tissue thermogenesis during aging and senescence. *J Bioenerg Biomembr*, 31(5), 507-516.
- McGinn, R., Swift, B., Binder, K., Gagnon, D., & Kenny, G. P. (2012). Muscle metaboreceptors modulate skin blood flow and sweating following dynamic exercise. *Appl Physiol Nutr Metab*(37).
- McManus, C., Newhouse, H., Seitz, S., Nixon, D., Poppendiek, H., & Heymsfield, S. (1984). Human gradient-layer calorimeter: development of an accurate and practical instrument for clinical studies. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*, 8(3), 317-320.
- Meis, S. J., Dove, E. L., Bell, E. F., Thompson, C. M., Glatzl-Hawlik, M. A., Gants, A. L., & Kim, W. K. (1994). A gradient-layer calorimeter for measurement of energy expenditure of infants. *Am J Physiol*, 266(3 Pt 2), R1052-1060.
- Mekjavic, I. B., & Eiken, O. (2006). Contribution of thermal and nonthermal factors to the regulation of body temperature in humans. *J Appl Physiol* (1985), 100(6), 2065-2072. doi:10.1152/jappphysiol.01118.2005
- Mekjavic, I. B., Sundberg, C. J., & Linnarsson, D. (1991). Core temperature "null zone". *J Appl Physiol* (1985), 71(4), 1289-1295.

- Miles, C. W., Wong, N. P., Rumpler, W. V., & Conway, J. (1993). Effect of circadian variation in energy expenditure, within-subject variation and weight reduction on thermic effect of food. *Eur J Clin Nutr*, 47(4), 274-284.
- Minson, C. T., Wladkowski, S. L., Cardell, A. F., Pawelczyk, J. A., & Kenney, W. L. (1998). Age alters the cardiovascular response to direct passive heating. *J Appl Physiol* (1985), 84(4), 1323-1332.
- Mitchell, D., & Wyndham, C. H. (1969). Comparison of weighting formulas for calculating mean skin temperature. *J Appl Physiol*, 26(5), 616-622.
- Molloy, C. J., Gandy, J., Cunningham, C., & Slattery, G. (2008). An exploration of factors that influence the regular consumption of water by Irish primary school children. *J Hum Nutr Diet*, 21(5), 512-515. doi:10.1111/j.1365-277x.2008.00880.x
- Montain, S. J., & Coyle, E. F. (1992). Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift during exercise. *J Appl Physiol* (1985), 73(4), 1340-1350. doi:10.1152/jappl.1992.73.4.1340
- Montain, S. J., Latzka, W. A., & Sawka, M. N. (1995). Control of thermoregulatory sweating is altered by hydration level and exercise intensity. *J Appl Physiol* (1985), 79(5), 1434-1439. doi:10.1152/jappl.1995.79.5.1434
- Mora-Rodriguez, R. (2012). Influence of aerobic fitness on thermoregulation during exercise in the heat. *Exerc Sport Sci Rev*, 40(2), 79-87. doi:10.1097/JES.0b013e318246ee56
- Moran, D. S., Shitzer, A., & Pandolf, K. B. (1998). A physiological strain index to evaluate heat stress. *Am J Physiol*, 275(1), R129-134. doi:10.1152/ajpregu.1998.275.1.R129
- Morimoto, T., Slabochova, Z., Naman, R. K., & Sargent, F., 2nd. (1967). Sex differences in physiological reactions to thermal stress. *J Appl Physiol*, 22(3), 526-532.
- Morrison, S. F. (1999). RVLM and raphe differentially regulate sympathetic outflows to splanchnic and brown adipose tissue. *Am J Physiol*, 276(4 Pt 2), R962-973.

- Murgatroyd, P. R., Shetty, P. S., & Prentice, A. M. (1993). Techniques for the measurement of human energy expenditure: a practical guide. *Int J Obes Relat Metab Disord*, *17*(10), 549-568.
- Nagashima, K. (2006). Central mechanisms for thermoregulation in a hot environment. *Ind Health*, *44*(3), 359-367.
- Nishi, Y. (1981). *Measurement of thermal balance in man*. New York: NY: Elsevier.
- Notley, S. R., Lamarche, D. T., Meade, R. D., Flouris, A. D., & Kenny, G. P. (2019). Revisiting the influence of individual factors on heat exchange during exercise in dry heat using direct calorimetry. *Exp Physiol*, *104*(7), 1038-1050. doi:10.1113/EP087666
- O'Brien, C., Hoyt, R. W., Buller, M. J., Castellani, J. W., & Young, A. J. (1998). Telemetry pill measurement of core temperature in humans during active heating and cooling. *Med Sci Sports Exerc*, *30*(3), 468-472. doi:10.1097/00005768-199803000-00020
- O'Connor, T. M., O'Halloran, D. J., & Shanahan, F. (2000). The stress response and the hypothalamic-pituitary-adrenal axis: from molecule to melancholia. *QJM*, *93*(6), 323-333.
- Papathanasiou, G., Georgoudis, G., Papandreou, M., Spyropoulos, P., Georgakopoulos, D., Kalfakakou, V., & Evangelou, A. (2009). Reliability measures of the short International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) in Greek young adults. *Hellenic J Cardiol*, *50*(4), 283-294.
- Parsons, K. C. (2003). *Human Thermal Environments: The Effects of Hot, Moderate, and Cold Environments on Human Health, Comfort, and Performance* (I. T. Francis Ed. 2nd ed.). London.
- Periard, J. D., Thompson, M. W., Caillaud, C., & Quaresima, V. (2013). Influence of heat stress and exercise intensity on vastus lateralis muscle and prefrontal cortex oxygenation. *Eur J Appl Physiol*, *113*(1), 211-222. doi:10.1007/s00421-012-2427-4

- Petersson, J., Kuklane, K., & Gao, C. (2019). Is There a Need to Integrate Human Thermal Models with Weather Forecasts to Predict Thermal Stress? *Int J Environ Res Public Health*, *16*(22). doi:10.3390/ijerph16224586
- Pfeiffer, K. A., Pivarnik, J. M., Womack, C. J., Reeves, M. J., & Malina, R. M. (2002). Reliability and validity of the Borg and OMNI rating of perceived exertion scales in adolescent girls. *Med Sci Sports Exerc*, *34*(12), 2057-2061. doi:10.1097/00005768-200212000-00029
- Poehlman, E. T. (1993). Regulation of energy expenditure in aging humans. *J Am Geriatr Soc*, *41*(5), 552-559.
- Poehlman, E. T., Melby, C. L., & Badylak, S. F. (1991). Relation of age and physical exercise status on metabolic rate in younger and older healthy men. *J Gerontol*, *46*(2), B54-58.
- Quod, M. J., Martin, D. T., & Laursen, P. B. (2006). Cooling athletes before competition in the heat: comparison of techniques and practical considerations. *Sports Med*, *36*(8), 671-682. doi:10.2165/00007256-200636080-00004
- Raichle, M. E. (2001). Cognitive neuroscience. Bold insights. *Nature*, *412*(6843), 128-130. doi:10.1038/35084300
- Ramanathan, N. L. (1964). A New Weighting System for Mean Surface Temperature of the Human Body. *J Appl Physiol*, *19*, 531-533. doi:10.1152/jappl.1964.19.3.531
- Randall, W. C. (1946). Quantitation and Regional Distribution of Sweat Glands in Man. *J Clin Invest*, *25*(5), 761-767. doi:10.1172/JCI101760
- Ravussin, E., & Bogardus, C. (1982). Thermogenic response to insulin and glucose infusions in man: a model to evaluate the different components of the thermic effect of carbohydrate. *Life Sci*, *31*(18), 2011-2018.
- Ravussin, E., Burnand, B., Schutz, Y., & Jequier, E. (1982). Twenty-four-hour energy expenditure and resting metabolic rate in obese, moderately obese, and control subjects. *Am J Clin Nutr*, *35*(3), 566-573.

- Reardon, F. D., Leppik, K. E., Wegmann, R., Webb, P., Ducharme, M. B., & Kenny, G. P. (2006). The Snellen human calorimeter revisited, re-engineered and upgraded: design and performance characteristics. *Med Biol Eng Comput*, *44*(8), 721-728.
doi:10.1007/s11517-006-0086-5
- Refinetti, R., & Carlisle, H. J. (1986). Effects of lateral hypothalamic lesions on thermoregulation in the rat. *Physiol Behav*, *38*(2), 219-228.
- Rennie, K. L., Hennings, S. J., Mitchell, J., & Wareham, N. J. (2001). Estimating energy expenditure by heart-rate monitoring without individual calibration. *Med Sci Sports Exerc*, *33*(6), 939-945.
- Riggs, A. J., Millecchia, R. J., & Riggs, J. E. (2004). The contributions of Lavoisier, Carnot, and Mayer to understanding heat illness. *Aviat Space Environ Med*, *75*(10), 916-917.
- Roberts, W. O. (2004). Death in the heat: can football heat stroke be prevented? *Curr Sports Med Rep*, *3*(1), 1-3. doi:10.1249/00149619-200402000-00001
- Robertson, R. J., & Noble, B. J. (1997). Perception of physical exertion: methods, mediators, and applications. *Exerc Sport Sci Rev*, *25*, 407-452.
- Ross, M., Abbiss, C., Laursen, P., Martin, D., & Burke, L. (2013). Precooling methods and their effects on athletic performance : a systematic review and practical applications. *Sports Med*, *43*(3), 207-225. doi:10.1007/s40279-012-0014-9
- Rowell, L. B., Wyss, C. R., & Brengelmann, G. L. (1973). Sustained human skin and muscle vasoconstriction with reduced baroreceptor activity. *J Appl Physiol*, *34*(5), 639-643.
- Sakellariou, P., Valente, A., Carrillo, A. E., Metsios, G. S., Nadolnik, L., Jamurtas, A. Z., . . . Flouris, A. D. (2016). Chronic l-menthol-induced browning of white adipose tissue hypothesis: A putative therapeutic regime for combating obesity and improving metabolic health. *Med Hypotheses*, *93*, 21-26. doi:10.1016/j.mehy.2016.05.006
- Saltin, B. (1966). Aerobic and anaerobic work capacity at 2,300 meters. *Schweiz Z Sportmed*, *14*(1), 81-87.

- Saltin, B., Gagge, A. P., & Stolwijk, J. A. (1970). Body temperatures and sweating during thermal transients caused by exercise. *J Appl Physiol*, 28(3), 318-327.
- Saltin, B., & Hermansen, L. (1966). Esophageal, rectal, and muscle temperature during exercise. *J Appl Physiol*, 21(6), 1757-1762.
- Sarton-Miller, I., Holman, D. J., & Spielvogel, H. (2003). Regression-based prediction of net energy expenditure in children performing activities at high altitude. *Am J Hum Biol*, 15(4), 554-565. doi:10.1002/ajhb.10162
- Sawka, M., & Pandolf, K. (2001). *Physical exercise in hot climates: physiology, performance, and biomedical issues*. Massachusetts
- Sawka, M., Wenger, C., & Pandolf, K. (1996). Thermoregulatory responses to acute exercise–heat stress and heat acclimation. In M. Fregly & C. Blatteis (Eds.), *Environmental Physiology* (pp. 157-185). New York: NY: Oxford University Press for the American Physiological Society.
- Sawka, M. N., & Coyle, E. F. (1999). Influence of body water and blood volume on thermoregulation and exercise performance in the heat. *Exerc Sport Sci Rev*, 27, 167-218.
- Sawka, M. N., & Wenger, C. B. (1988). *Physiological responses to acute exercise-heat stress*.
- Sawka, M. N., Wenger, C. B., & Pandolf, K. B. (1996a). Thermoregulatory responses to acute exercise–heat stress and heat acclimation. In M. J. Fregly & C. M. Blatteis (Eds.), *Handbook of Physiology* (pp. 157–185). New York: Oxford University Press.
- Sawka, M. N., Wenger, C. B., & Pandolf, K. B. (1996b). Thermoregulatory responses to acute exercise–heat stress and heat acclimation. In M. Fregly & C. Blatteis (Eds.), *Handbook of Physiology : Environmental Physiology*. New York, NY: Oxford University Press.
- Schranner, D., Scherer, L., Lynch, G. P., Korder, S., Brotherhood, J. R., Pluim, B. M., . . . Jay, O. (2017). In-Play Cooling Interventions for Simulated Match-Play Tennis in Hot/Humid Conditions. *Med Sci Sports Exerc*, 49(5), 991-998. doi:10.1249/MSS.0000000000001183

- Sehl, P. L., Leites, G. T., Martins, J. B., & Meyer, F. (2012). Responses of obese and non-obese boys cycling in the heat. *Int J Sports Med*, 33(6), 497-501. doi:10.1055/s-0031-1301314
- Selkirk, G. A., & McLellan, T. M. (2001). Influence of aerobic fitness and body fatness on tolerance to uncompensable heat stress. *J Appl Physiol (1985)*, 91(5), 2055-2063. doi:10.1152/jappl.2001.91.5.2055
- Sell, K., Hainline, B., Yorio, M., & Kovacs, M. (2013). Illness data from the US Open Tennis Championships From 1994 to 2009. *Clin J Sport Med*, 23(1), 25-32. doi:10.1097/JSM.0b013e31826b7e52
- Seto, C. K., Way, D., & O'Connor, N. (2005). Environmental illness in athletes. *Clin Sports Med*, 24(3), 695-718, x. doi:10.1016/j.csm.2005.03.002
- Shibasaki, M., Inoue, Y., & Kondo, N. (1997). Mechanisms of underdeveloped sweating responses in prepubertal boys. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 76(4), 340-345. doi:10.1007/s004210050258
- Shibasaki, M., Inoue, Y., Kondo, N., & Iwata, A. (1997). Thermoregulatory responses of prepubertal boys and young men during moderate exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 75(3), 212-218. doi:10.1007/s004210050150
- Shibasaki, M., Kondo, N., & Crandall, C. G. (2003). Non-thermoregulatory modulation of sweating in humans. *Exerc Sport Sci Rev*, 31(1), 34-39.
- Shibasaki, M., Wilson, T. E., Cui, J., & Crandall, C. G. (2002). Acetylcholine released from cholinergic nerves contributes to cutaneous vasodilation during heat stress. *J Appl Physiol (1985)*, 93(6), 1947-1951. doi:10.1152/japplphysiol.00036.2002
- Shiraki, K., Konda, N., & Sagawa, S. (1986). Esophageal and tympanic temperature responses to core blood temperature changes during hyperthermia. *J Appl Physiol (1985)*, 61(1), 98-102.
- Shvartz, E., & Reibold, R. C. (1990). Aerobic fitness norms for males and females aged 6 to 75 years: a review. *Aviat Space Environ Med*, 61(1), 3-11.

- Silva, J. E. (2006). Thermogenic mechanisms and their hormonal regulation. *Physiol Rev*, *86*(2), 435-464. doi:10.1152/physrev.00009.2005
- Snellen, J. W., Chang, K. S., & Smith, W. (1983). Technical description and performance characteristics of a human whole-body calorimeter. *Med Biol Eng Comput*, *21*(1), 9-20.
- Soboll, S. (1993). Thyroid hormone action on mitochondrial energy transfer. *Biochim Biophys Acta*, *1144*(1), 1-16.
- Solack, S. D., Brengelmann, G. L., & Freund, P. R. (1985). Sweat rate vs. forearm blood flow during lower body negative pressure. *J Appl Physiol* (1985), *58*(5), 1546-1552.
- Stapleton, J. M., Larose, J., Simpson, C., Flouris, A. D., Sigal, R. J., & Kenny, G. P. (2014). Do older adults experience greater thermal strain during heat waves? *Appl Physiol Nutr Metab*, *39*(3), 292-298. doi:10.1139/apnm-2013-0317
- Stapleton, J. M., Poirier, M. P., Flouris, A. D., Boulay, P., Sigal, R. J., Malcolm, J., & Kenny, G. P. (2015). Aging impairs heat loss, but when does it matter? *J Appl Physiol* (1985), *118*(3), 299-309. doi:10.1152/jappphysiol.00722.2014
- Stitt, J. T. (1993). *Central regulation of body temperature. In Exercise, Heat and Thermoregulation* (6th ed.).
- Suh, H., & Kavouras, S. A. (2019). Water intake and hydration state in children. *Eur J Nutr*, *58*(2), 475-496. doi:10.1007/s00394-018-1869-9
- Takamata, A., Nagashima, K., Nose, H., & Morimoto, T. (1997). Osmoregulatory inhibition of thermally induced cutaneous vasodilation in passively heated humans. *Am J Physiol*, *273*(1 Pt 2), R197-204.
- Talan, M. I., Tatelman, H. M., & Engel, B. T. (1991). Cold tolerance and metabolic heat production in male C57BL/6J mice at different times of day. *Physiol Behav*, *50*(3), 613-616.

- Tankersley, C. G., Smolander, J., Kenney, W. L., & Fortney, S. M. (1991). Sweating and skin blood flow during exercise: effects of age and maximal oxygen uptake. *J Appl Physiol* (1985), 71(1), 236-242.
- Tataranni, P. A., Larson, D. E., Snitker, S., & Ravussin, E. (1995). Thermic effect of food in humans: methods and results from use of a respiratory chamber. *Am J Clin Nutr*, 61(5), 1013-1019.
- Taylor, C. B., Coffey, T., Berra, K., Iaffaldano, R., Casey, K., & Haskell, W. L. (1984). Seven-day activity and self-report compared to a direct measure of physical activity. *Am J Epidemiol*, 120(6), 818-824.
- Thoden, J., Kenny, G., Reardon, F., Jette, M., & Livingstone, S. (1994). Disturbance of thermal homeostasis during post-exercise hyperthermia. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 68(2), 170-176.
- Turley, K. R., & Wilmore, J. H. (1997). Cardiovascular responses to treadmill and cycle ergometer exercise in children and adults. *J Appl Physiol* (1985), 83(3), 948-957.
doi:10.1152/jappl.1997.83.3.948
- Ulrich-Lai, Y. M., & Herman, J. P. (2009). Neural regulation of endocrine and autonomic stress responses. *Nat Rev Neurosci*, 10(6), 397-409. doi:10.1038/nrn2647
- Valente, A., Jamurtas, A. Z., Koutedakis, Y., & Flouris, A. D. (2015). Molecular pathways linking non-shivering thermogenesis and obesity: focusing on brown adipose tissue development. *Biol Rev Camb Philos Soc*, 90(1), 77-88. doi:10.1111/brv.12099
- Van Someren, E. J., Raymann, R. J., Scherder, E. J., Daanen, H. A., & Swaab, D. F. (2002). Circadian and age-related modulation of thermoreception and temperature regulation: mechanisms and functional implications. *Ageing Res Rev*, 1(4), 721-778.
- Vander, J. A., Sherman, J., & Luciano, D. (2001). *HUMAN PHYSIOLOGY - THE MECHANISMS OF BODY FUNCTION* (8th ed.): McGraw-Hill.

- Vroman, N. B., Buskirk, E. R., & Hodgson, J. L. (1983). Cardiac output and skin blood flow in lean and obese individuals during exercise in the heat. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 55(1 Pt 1), 69-74. doi:10.1152/jappl.1983.55.1.69
- Wallace, R. F., Kriebel, D., Punnett, L., Wegman, D. H., Wenger, C. B., Gardner, J. W., & Kark, J. A. (2006). Risk factors for recruit exertional heat illness by gender and training period. *Aviat Space Environ Med*, 77(4), 415-421.
- Webb, P. (1995). The physiology of heat regulation. *Am J Physiol*, 268(4 Pt 2), R838-850.
- Webb, P. (1998). *HEAT STORAGE DURING EXERCISE, ESPECIALLY IN MUSCLE*. Paper presented at the 8th International Conference on Environmental Ergonomics, San Diego, California, USA
- Webb, P., & Troutman, S. J., Jr. (1970). An instrument for continuous measurement of oxygen consumption. *J Appl Physiol*, 28(6), 867-871.
- Webster, J. D., Welsh, G., Pacy, P., & Garrow, J. S. (1986). Description of a human direct calorimeter, with a note on the energy cost of clerical work. *Br J Nutr*, 55(1), 1-6.
- Weinman, K. P., Slabochova, Z., Bernauer, E. M., Morimoto, T., & Sargent, F., 2nd. (1967). Reactions of men and women to repeated exposure to humid heat. *J Appl Physiol*, 22(3), 533-538.
- Weiss, B. (1957). Thermal behavior of the sub-nourished and pantothenic-acid-deprived rat. *J Comp Physiol Psychol*, 50(5), 481-485.
- Weiss, B., & Laties, V. G. (1960). Magnitude of reinforcement as a variable in thermoregulatory behavior. *J Comp Physiol Psychol*, 53, 603-608.
- Weiss, B., & Laties, V. G. (1961). Behavioral thermoregulation. *Science*, 133(3461), 1338-1344.
- Wenger, C. B. (1972). Heat of evaporation of sweat: thermodynamic considerations. *J Appl Physiol*, 32(4), 456-459. doi:10.1152/jappl.1972.32.4.456
- Wenger, C. B. (1997). *Human adaptation to hot environments*. Retrieved from

- Wenger, C. B. (2002). Human adaptation to hot environments. In C. B. Wenger (Ed.), *Medical aspects of harsh environments* (Vol. 1, pp. 51-86). Natick, MA, USA: U.S. Army Research Institute of Environmental Medicine.
- Wenger, C. B., Stephenson, L. A., & Durkin, M. A. (1986). Effect of nerve block on response of forearm blood flow to local temperature. *J Appl Physiol* (1985), 61(1), 227-232.
- West, J. B. (200). *Pulmonary Physiology and Pathophysiology: An Integrated, Case-Based Approach* (6th ed.). San Diego.
- Whipp, B. J., & Wasserman, K. (1969). Efficiency of muscular work. *J Appl Physiol*, 26(5), 644-648.
- Wiewelhove, T., Conradt, F., Rawlins, S., Deacon, J., Meyer, T., Kellmann, M., . . . Ferrauti, A. (2020). Effects of in-play cooling during simulated tennis match play in the heat on performance, physiological, and perceptual measures. *J Sports Med Phys Fitness*. doi:10.23736/S0022-4707.20.11243-X
- Wilkins, B. W., Minson, C. T., & Halliwill, J. R. (2004). Regional hemodynamics during postexercise hypotension. II. Cutaneous circulation. *J Appl Physiol* (1985), 97(6), 2071-2076. doi:10.1152/jappphysiol.00466.2004
- Wilson, T. E., Cui, J., & Crandall, C. G. (2005). Mean body temperature does not modulate eccrine sweat rate during upright tilt. *J Appl Physiol* (1985), 98(4), 1207-1212. doi:10.1152/jappphysiol.00648.2004
- Wissler, E. H. (2008). A quantitative assessment of skin blood flow in humans. *Eur J Appl Physiol*, 104(2), 145-157. doi:10.1007/s00421-008-0697-7
- Witt, K. A., Snook, J. T., O'Dorisio, T. M., Zivony, D., & Malarkey, W. B. (1993). Exercise training and dietary carbohydrate: effects on selected hormones and the thermic effect of feeding. *Int J Sport Nutr*, 3(3), 272-289.

- Wong, B. J., & Minson, C. T. (2006). Neurokinin-1 receptor desensitization attenuates cutaneous active vasodilatation in humans. *J Physiol*, 577(Pt 3), 1043-1051. doi:10.1113/jphysiol.2006.112508
- Wong, B. J., Wilkins, B. W., & Minson, C. T. (2004). H1 but not H2 histamine receptor activation contributes to the rise in skin blood flow during whole body heating in humans. *J Physiol*, 560(Pt 3), 941-948. doi:10.1113/jphysiol.2004.071779
- Wyndham, C. H., Morrison, J. F., & Williams, C. G. (1965). Heat reactions of male and female Caucasians. *J Appl Physiol*, 20(3), 357-364.
- Wyss, C. R., Brengelmann, G. L., Johnson, J. M., Rowell, L. B., & Niederberger, M. (1974). Control of skin blood flow, sweating, and heart rate: role of skin vs. core temperature. *J Appl Physiol*, 36(6), 726-733.
- Zwiauer, K. F., Mueller, T., & Widhalm, K. (1992). Effect of daytime on resting energy expenditure and thermic effect of food in obese adolescents. *J Am Coll Nutr*, 11(3), 267-271.
- Русанов, В. И. (1981). *Комплексные метеорологические показатели и методы оценки климата для медицинских целей: Учебное пособие.*

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Δημοσιευμένα άρθρα

Ανασκοπική



Αναζητήσεις στη Φυσική Αγωγή & τον Αθλητισμό
Τόμος XX (XX), XX - XX
Δημοσιεύτηκε: XXX



Inquiries in Sport & Physical Education
Volume XX (XX), XX - XX
Released: XXX

www.pe.uth.gr/emag

ISSN 1790-3041

Φυσιολογία του Ανθρώπινου Θερμορυθμιστικού Συστήματος - Θερμική Ισορροπία

Μαρία Μισαηλίδη & Ανδρέας Δ. Φλουρής

Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Περίληψη

Στα ομοιόθερμα ζώα όπως ο άνθρωπος, η διατήρηση της θερμικής ισορροπίας του οργανισμού σε σχεδόν σταθερά επίπεδα επιτυγχάνεται μέσω φυσιολογικών και συμπεριφοριστικών αποκρίσεων. Η θερμική αυτή ισορροπία είναι αποτέλεσμα της ισοτιμίας του ρυθμού παραγωγής και του ρυθμού απώλειας θερμότητας. Η παραγωγή θερμότητας προέρχεται από τον καταβολισμό των θρεπτικών συστατικών στα κύτταρα. Κατά την διαδικασία αυτή απελευθερώνεται ενέργεια της οποίας το μεγαλύτερο μέρος μετατρέπεται σε θερμότητα μέσα στο σώμα. Η παραγωγή θερμότητας επηρεάζεται από ένα σύνολο παραγόντων όπως το φύλο, η ηλικία, η σωματική σύνθεση, η μυϊκή δραστηριότητα, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, η λήψη τροφής και οι διάφορες ασθένειες. Προκειμένου όμως να επέλθει θερμική ισορροπία θα πρέπει να δραστηριοποιηθούν οι μηχανισμοί ανταλλαγής θερμότητας του σώματος με το περιβάλλον οι οποίοι ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες: ξηρού και υγρού τύπου. Ο μηχανισμός ξηρού τύπου περιλαμβάνει το μηχανισμό της αγωγής, της μεταφοράς και της ακτινοβολίας ενώ ο μηχανισμός υγρού τύπου περιλαμβάνει κυρίως την εξάτμιση του νερού από τα διάφορα μέρη του σώματος. Οι παραπάνω πληροφορίες αναλύονται αποκλειστικά σε ξενόγλωσσα περιοδικά και εκδόσεις, ενώ η σχετική γνώση στα ελληνικά παραμένει ελάχιστη. Ο σκοπός της παρούσας ανασκόπησης ήταν να συνοψίσει την υπάρχουσα γνώση σχετικά με το θερμορυθμιστικό σύστημα του ανθρώπου, συγκεκριμένα τις αρχές που διέπουν την έννοια της θερμικής ισορροπίας. Αναλύονται οι παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή θερμότητας και γίνεται λεπτομερής περιγραφή των μηχανισμών που εξασφαλίζουν την διάχυση της περίσσειας θερμότητας στο περιβάλλον προκειμένου να επιτευχθεί θερμική ισορροπία. Για την επιλογή των πληροφοριών έγινε περιεκτική αναζήτηση στη διεθνή βάση δεδομένων Pubmed χρησιμοποιώντας όρους σχετικούς με το θερμορυθμιστικό σύστημα, την παραγωγή θερμότητας και τους μηχανισμούς αποβολής θερμότητας από το σώμα. Η σημαντικότητα της μελέτης των παραπάνω θεμάτων έγκειται στην αναγκαιότητα της επίτευξης θερμικής ισορροπίας στον οργανισμό προκειμένου να αποφευχθούν ατυχήματα και ασθένειες που σχετίζονται με την υπερθερμία.

Λέξεις κλειδιά: *θερμορύθμιση, θερμική ισορροπία, παραγωγή θερμότητας και μηχανισμοί αποβολής θερμότητας*

Review

Physiology of Human Thermoregulation - Heat Balance

Maria Misailidi & Andreas D. Flouris

Department of Physical Education and Sport Science, University of Thessaly

Abstract

In homeothermic animals including humans, the internal body temperature is maintained nearly constant through physiological and behavioral adjustments. Heat balance is achieved by balancing the heat produced within the body and the heat dissipated to the environment. Heat production is generated through the catabolism of nutrients in the body's cells. Energy is released via this process, most of which is converted to heat in the body. Heat production is affected by a number of factors such as sex, age, body composition, physical activity, ambient temperature, food intake and specific diseases. To achieve heat balance, the mechanisms of heat dissipation to the environment have to be activated, which are classified in two categories: dry and wet heat exchange. Dry heat transfer is the sum of heat exchange via conduction, convection and radiation while wet heat exchange is mainly the evaporation of water from the body surface. The above information is analyzed in foreign language publications and journals, while the relevant knowledge in Greek remains minimal. The purpose of this review is to summarize the existing knowledge about the human thermoregulatory system and the principles of heat balance. The factors affecting heat production and the heat exchange mechanisms with the environment are also analyzed. To achieve this, a comprehensive search was made in the Pubmed database using terms related to the human thermoregulatory system as well as the mechanisms of heat production and heat loss. The physiological importance of these mechanisms is demonstrated by the importance of heat balance for preventing accidents and diseases associated with heat stress.

Keywords: *thermoregulation, heat balance, heat production and heat exchange pathways*

Εισαγωγή

Ο άνθρωπος είναι ομοιόθερμος, δηλαδή η εσωτερική θερμοκρασία του σώματός του παραμένει σε σχετικά σταθερό επίπεδο. Η διατήρηση της σχετικά σταθερής θερμοκρασίας, περίπου 37°C σε φυσιολογικά άτομα σε ηρεμία, που εξασφαλίζει το ιδανικό περιβάλλον για τη διεξαγωγή των βιοχημικών αντιδράσεων επιτυγχάνεται μέσω του θερμορυθμιστικού συστήματος (Flouris, 2011; Flouris & Schlader, 2015) το οποίο απαιτεί την επιστράτευση συμπεριφοριστικών και φυσιολογικών μηχανισμών (Kenny & Flouris, 2014; Van Someren, Raymann, Scherder, Daanen, & Swaab, 2002). Η σημασία των συμπεριφοριστικών μηχανισμών έχει αναγνωριστεί από την εποχή του Αριστοτέλη και θεωρείται ως η πρώτη γραμμή άμυνας για τη διατήρηση και την αποκατάσταση της θερμικής ισορροπίας σε ηρεμία και ιδίως κατά την παραγωγή έργου: άσκηση ή εργασία σε θερμό περιβάλλον (Flouris & Schlader, 2015; Lanza & Vegetti, 1996). Ωστόσο, παρά την ενεργοποίηση της συμπεριφοριστικής θερμορύθμισης, πολλές φορές διαταράσσεται η θερμική ισορροπία του σώματος. Σε αυτές τις περιπτώσεις, το θερμορυθμιστικό σύστημα ενεργοποιεί τους αυτόνομους μηχανισμούς του προκειμένου να επέλθει εξισορρόπηση του ρυθμού παραγωγής θερμότητας στο σώμα και του ρυθμού αποβολής θερμότητας προς το περιβάλλον (Nagashima, 2006).

Ο σκοπός της παρούσας ανασκόπησης είναι να συνοψίσει την υπάρχουσα γνώση σχετικά με τις αρχές που διέπουν την έννοια της θερμικής ισορροπίας του ανθρώπινου σώματος. Αναλύονται οι παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή θερμότητας και γίνεται λεπτομερής περιγραφή των τρόπων με τους οποίους το σώμα ανταλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον. Για τη μελέτη όλων των παραπάνω θεμάτων έγινε μη-συστηματική αναζήτηση στη διεθνή βάση δεδομένων Pubmed. Με δεδομένη την πλήρη έλλειψη σχετικής γνώσης σε ελληνικά επιστημονικά περιοδικά, απώτερος σκοπός του άρθρου αυτού είναι να οδηγήσει σε μια βαθύτερη κατανόηση του ανθρώπινου θερμορυθμιστικού συστήματος. Η σημαντικότητα της μελέτης των θεμάτων που καλύπτει η παρούσα ανασκόπηση έγκειται στις σοβαρές επιπτώσεις που μπορεί να επιφέρει η διαταραχή της θερμικής ισορροπίας του σώματος. Πράγματι, η θερμορύθμιση παίζει τόσο σημαντικό ρόλο στην ομοιοστατική ισορροπία του οργανισμού που το κόστος αποτυχίας της είναι η πρωτεϊνική μετουσίωση (η διάσπαση των δεσμών στη δευτεροταγή, τριτοταγή, ή τεταρτοταγή δομή των πρωτεϊνών), η νευρική/νοητική δυσλειτουργία, ή ακόμη και ο θάνατος (Flouris, 2011; Flouris & Schlader, 2015). Επίσης, η διατήρηση της θερμικής ισορροπίας κατά τη διάρκεια της ζωής παίζει θεμελιώδη ρόλο στη διαδικασία της γήρανσης (Carrillo & Flouris, 2011; Flouris & Piantoni, 2015; Flouris, Spiropoulos, Sakellariou, & Koutedakis, 2009). Τα παραπάνω χρήζουν ιδιαίτερης σημασίας σε εργασιακά περιβάλλοντα όπου οι άνθρωποι έχουν να αντιμετωπίσουν την υψηλή παραγωγή θερμότητας λόγω σωματικής δραστηριότητας σε συνδυασμό με τις εκάστοτε περιβαλλοντικές συνθήκες και τη πιθανή χρήση προστατευτικού ρουχισμού.

Εξέλιξη της έννοιας της θερμορύθμισης

Ο Αριστοτέλης ήταν ο πρώτος που αναφέρθηκε στη συμβολή του εγκεφάλου για τη διατήρηση της ακεραιότητας του σώματος μέσω της ρύθμισης της συμπεριφοράς και της πρόσληψης της τροφής, τα οποία σχετίζονται άμεσα με την θερμοκρασία του σώματος (Lanza & Vegetti, 1996). Αργότερα, στα τέλη του 18ου και στις αρχές του 19ου αιώνα οι Lavoisier, Carnot και Mayer καθιέρωσαν με το σύνολο της ερευνητικής τους εργασίας τη θερμορύθμιση, δηλαδή τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του σώματος, ως σημαντική πληροφόρηση για την άσκηση της ιατρικής (Riggs, Millecchia, & Riggs, 2004). Ο Γάλλος επιστήμονας Bernard (1878) συνέχισε τη δουλειά των Lavoisier, Carnot και Mayer διαπιστώνοντας ότι οι άνθρωποι μπορούν να αιμφοούν το εξωτερικό περιβάλλον διότι μπορούν να διατηρούν τη σταθερότητα στα κύτταρά τους (Bernard, 1878). Ο Bernard ονόμασε το εσωτερικό περιβάλλον των κυττάρων «milieu interieur» και παρατήρησε ότι, χάρη στη διατήρηση της εσωτερικής αυτής σταθερότητας, οι άνθρωποι είναι ανεξάρτητοι από το εξωτερικό περιβάλλον. Έτσι εξηγείται γιατί μπορούμε να ζούμε, να εργαζόμαστε και να ασκούμε σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες όπως ζέστη ή κρύο, υψηλή υγρασία ή ξηρό περιβάλλον, υψηλό ή χαμηλό υψόμετρο, αλλά και πώς/γιατί προκύπτουν συγκεκριμένες ασθένειες. Σύμφωνα με τον Bernard, ο οργανισμός είναι

έτσι φτιαγμένος ώστε από την μία πλευρά να υπάρχει πλήρης επικοινωνία μεταξύ εξωτερικού περιβάλλοντος και «milieu interieur» και από την άλλη να υπάρχουν αμυντικές διεργασίες στο οργανισμό που να διατηρούν και να συντηρούν τα αποθέματα των ζωντανών συστατικών (Bernard, 1865; Bernard, 1878). Υπό αυτό το πρίσμα, η νόσος και ο θάνατος δεν είναι παρά η αποδιοργάνωση ή η διαταραχή αυτών των διεργασιών (Bernard, 1865).

Το έργο του Bernard συνεχίστηκε από τον Cannon (1929) ο οποίος δεν μίλησε για απόλυτη ενδοκυτταρική σταθερότητα αλλά περιέγραψε τις ενέργειες των κυττάρων κατά την ανταπόκρισή τους σε απειλητικά ερεθίσματα με όρους δυναμικής ισορροπίας και μεταβλητότητας (Cannon, 1929). Ο Cannon επινόησε τον όρο ομοιόσταση για να υποδείξει ότι υπάρχει ομοιότητα με ένα βαθμό μεταβολής και όχι απόλυτης σταθερότητας. Μεταβολές αναπόφευκτα υπάρχουν, αλλά το μέγεθος αυτών είναι μικρό και συνήθως διατηρείται σε στενά όρια (Cannon, 1929). Στη συνέχεια, και ιδιαίτερα την περίοδο 1930-1970, η έρευνα για την κατανόηση του θερμορυθμιστικού συστήματος γνώρισε ιδιαίτερη άνθηση (Flouris, 2011). Τέλος, από τα μέσα της δεκαετίας του 1990, οι μελέτες για τη θερμορύθμιση άρχισαν να εντάσσουν ολοένα και περισσότερο βιολογικά, ψυχολογικά, και κλινικά στοιχεία (Flouris, 2011).

Θερμορύθμιση του ανθρώπινου οργανισμού - Θερμική ισορροπία

Η θερμορύθμιση είναι ένα από τα βασικά συστήματα ομοιοστατικού ελέγχου του οργανισμού και ανήκει στη γενική κατηγορία απόκρισης των αντανάκλαστικών, δηλαδή σε μια ιδιαίτερη αλληλουχία γεγονότων ανάμεσα σε ένα ερέθισμα και μια απόκριση. Για τη θερμορύθμιση, ως ερέθισμα ορίζεται η οποιαδήποτε ανιχνεύσιμη μεταβολή της θερμοκρασίας κάποιου ιστού του σώματος που ανιχνεύεται με αισθητήρες/υποδοχείς οι οποίοι είναι απολήξεις αισθητήριων νευρώνων στην επιφάνεια του δέρματος ή σε διάφορα μέρη στο εσωτερικό του σώματος (εγκέφαλος, σπονδυλική στήλη, γαστρεντερικός σωλήνας, κ.α.) (Flouris, 2011). Οι αισθητήρες αυτοί παράγουν ηλεκτρικά σήματα επί των αντίστοιχων νευρώνων με συχνότητα ανάλογη της θερμοκρασίας. Τα παραχθέντα ηλεκτρικά σήματα άγονται από τις νευρικές ίνες στην προοπτική χώρα και τον πρόσθιο υποθάλαμο, που αποτελούν το κέντρο ολοκλήρωσης της αυτόνομης θερμορύθμισης (Flouris & Schlader, 2015). Το κέντρο ολοκλήρωσης με την σειρά του καθορίζει: (α) τη δραστηριότητα των νευρώνων που προκαλούν τη συστολή/διαστολή των μυνών γύρω από τα αιμοφόρα αγγεία του δέρματος ή παράγουν ιδρώτα/μυϊκό τρόμο, και (β) την απελευθέρωση διαφόρων ορμονών που οδηγούν σε αύξηση της θερμογένεσης.

Προκειμένου να επιτευχθεί θερμική ισορροπία, το θερμορυθμιστικό σύστημα δραστηριοποιεί μηχανισμούς που εξισορροπούν το ρυθμό παραγωγής θερμότητας στο σώμα με το ρυθμό αποβολής θερμότητας προς το περιβάλλον (Nagashima, 2006). Οποιαδήποτε ανισορροπία στα παραπάνω έχει ως αποτέλεσμα την μεταβολή της συνολικής θερμότητας που είναι αποθηκευμένη στο σώμα. Ο ρυθμός συσσώρευσης θερμότητας στο σώμα προσδιορίζεται από το μεταβολικό ρυθμό, την παραγωγή εξωτερικού έργου, την ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ του σώματος και του περιβάλλοντος μέσω ακτινοβολίας, μεταφοράς και αγωγής, καθώς και την αποβολή θερμότητας από το σώμα μέσω της εξάτμισης και περιγράφεται στην εξίσωση της θερμικής ισορροπίας (Gagge & Gonzalez, 1996; Parsons, 2003):

$$S = M - (\pm W) \pm (R + C + K) - E \quad (1)$$

όπου S είναι ο ρυθμός αποθήκευσης θερμότητας στο σώμα, M είναι ο μεταβολικός ρυθμός (πάντα θετικός), W είναι ο ρυθμός παραγωγής εξωτερικού έργου (θετικός στην ομόκεντρη, αρνητικός στην έκκεντρη άσκηση, και μηδενικός σε ηρεμία), R είναι ο ρυθμός ανταλλαγής θερμότητας μέσω ακτινοβολίας, C είναι ο ρυθμός ανταλλαγής θερμότητας μέσω μεταφοράς, K είναι ο ρυθμός ανταλλαγής θερμότητας μέσω αγωγής και E είναι ο ρυθμός αποβολής θερμότητας μέσω εξάτμισης.

Οι τρόποι ανταλλαγής θερμότητας μεταξύ του σώματος και του περιβάλλοντος χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: (α) ξηρού τύπου (ακτινοβολία, μεταφορά και αγωγή) και (β) υγρού τύπου (εξάτμιση). Η ανταλλαγή θερμότητας ξηρού τύπου (κυρίως η ακτινοβολία) παίζει βασικό ρόλο σε συνθήκες ηρεμίας, ενώ η ανταλλαγή θερμότητας υγρού τύπου αποτελεί την κύρια οδό

αποβολής θερμότητας κατά την άσκηση σε θερμό περιβάλλον (Πίνακας 1) (Kenny & Flouris, 2014; Wenger, 2002).

Πίνακας 1. Ποσοστιαία συνεισφορά των τρόπων ανταλλαγής θερμότητας μεταξύ του σώματος και του περιβάλλοντος σε ηρεμία και κατά την άσκηση σε θερμό περιβάλλον.

	Ηρεμία		Μέτρια άσκηση (300 W)	
	%	kcal/min	%	kcal/min
Αγωγή & Μεταφορά	20	0.3	15	2.2
Ακτινοβολία	60	0.9	5	0.8
Εξάτμιση	20	0.3	80	12
Σύνολο	100	1.5	100	15

Ανταλλαγή θερμότητας ξηρού τύπου

Ακτινοβολία. Οι επιφάνειες όλων των αντικειμένων εκπέμπουν θερμότητα με την μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (Wenger, 1997). Η ακτινοβολία περιλαμβάνει τη μεταφορά θερμότητας από την επιφάνεια ενός αντικείμενου στην επιφάνεια ενός άλλου αντικείμενου χωρίς όμως να υπάρχει καμία επαφή μεταξύ των δύο επιφανειών. Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια μεταφέρεται από το θερμότερο προς το ψυχρότερο αντικείμενο. Έτσι, αν η θερμοκρασία του δέρματος είναι υψηλότερη από την θερμοκρασία των αντικειμένων που το περιβάλλουν, τότε εκδηλώνεται καθαρή απώλεια θερμότητας από το σώμα. Αντίθετα, αν η θερμοκρασία των επιφανειών που περιβάλλουν το σώμα είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του δέρματος, τότε το σώμα απορροφά θερμική ενέργεια μέσω ακτινοβολίας. Η καθαρή ακτινοβολούμενη ενέργεια που ανταλλάσσεται είναι ευθέως ανάλογη της ικανότητας ακτινοβολίας των αντικειμένων ή του σώματος (Kenny & Flouris, 2014). Σε ένα άνθρωπο, η ανταλλαγή θερμότητας μέσω ακτινοβολίας εξαρτάται από την ικανότητα ακτινοβολίας της εξωτερικής επιφάνειας του σώματος του και την ακτινοβολούσα περιοχή του σώματος, η οποία, με τη σειρά της, εξαρτάται από τη στάση του ατόμου και τον προσανατολισμό του σε σχέση με την πηγή ακτινοβολίας (Parsons, 2003), καθώς και την απόχρωση της επιδερμίδας (Русанов, 1981). Η μεγαλύτερη πηγή θερμικής ακτινοβολίας στη φύση είναι ο ήλιος (Kenny & Jay, 2013).

Αγωγή. Η αγωγή αναφέρεται στην απώλεια ή στην πρόσληψη θερμότητας μέσω μεταφοράς θερμικής ενέργειας κατά την πρόσκρουση γειτονικών μορίων. Στην ουσία η θερμότητα άγεται από μόριο σε μόριο. Στο ανθρώπινο σώμα, η αγωγή επιτυγχάνεται διαμέσου άμεσης επαφής με μία θερμότερη ή ψυχρότερη επιφάνεια. Σε φυσιολογικές συνθήκες, θεωρείται ότι η ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον μέσω αυτής της οδού είναι ασήμαντη (Parsons, 2003). Αυτό συμβαίνει διότι η άμεση επαφή του δέρματος με στερεές και υψηλά αγωγίμες επιφάνειες είναι συνήθως πολύ σύντομη και εμπλέκεται συνήθως ένα πολύ μικρό μέρος της συνολικής επιφάνειας του σώματος (π.χ., οι άκρες των δακτύλων). Επιπλέον, το μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας του σώματος είναι σχεδόν πάντα μονωμένο μέσω του ρουχισμού, μειώνοντας δραστικά την πιθανότητα για ανταλλαγή θερμότητας μέσω αγωγής.

Μεταφορά. Η μεταφορά αναφέρεται στη διαδικασία σύμφωνα με την οποία θερμότητα αποβάλλεται ή προσλαμβάνεται με τη μετακίνηση του αέρα ή του νερού που περιβάλλει το σώμα. Για παράδειγμα ο αέρας δίπλα από το σώμα θερμαίνεται μέσω αγωγής, μετακινείται λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας του, κι έτσι απομακρύνει θερμική ενέργεια μακριά από το σώμα. Τη θέση του θερμού στρώματος αέρα που μετακινήθηκε παίρνει ένα στρώμα ψυχρού αέρα και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Η μεταφορά θερμότητας υφίσταται πάντοτε διότι ο

θερμός αέρας είναι λιγότερα πυκνός κι έτσι ανυψώνεται. Έτσι η μεταφορά θερμότητας βοηθά επίσης τη δια-της-αγωγής ανταλλαγή θερμότητας, με την διατήρηση σταθερής παροχής κρύου αέρα (Vander, Sherman, & Luciano, 2001). Ο ρυθμός ανταλλαγής θερμότητας μέσω μεταφοράς εξαρτάται από (α) την πυκνότητα του αέρα ή του νερού που περιβάλλουν το σώμα, (β) τη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στην επιφάνεια του δέρματος και το μέσο (αέρας ή νερό) που περιβάλλει το σώμα, (γ) την εκτιθέμενη περιοχή, και (δ) την ταχύτητα που κινείται το μέσο (αέρας ή νερό) που περιβάλλει το σώμα (Kenny & Flouris, 2014). Αν η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στην εξωτερική επιφάνεια του σώματος και του μέσου που την περιβάλλει είναι αρνητική (δηλαδή, αν η θερμοκρασία του αέρα που περιβάλλει το σώμα είναι υψηλότερη από την θερμοκρασία του σώματος), τότε εμφανίζεται αρνητική ανταλλαγή θερμότητας μέσω μεταφοράς και το σώμα προσλαμβάνει θερμότητα αντί να αποβάλλει (Kenny & Jay, 2013). Η ανταλλαγή θερμότητας μέσω μεταφοράς είναι ανάλογη της διαφοράς θερμοκρασίας που υπάρχει ανάμεσα στο σώμα και το περιβάλλον, όπως προκύπτει από την εξίσωση μεταφοράς θερμότητας:

$$C=hc * A * (T_{sk}-T_a) \quad (2)$$

όπου C είναι η μεταφερόμενη θερμότητα, A είναι η επιφάνεια του σώματος, T_{sk} είναι η μέση τιμή της θερμοκρασίας δέρματος, T_a είναι η μέση τιμή της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, και hc είναι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας ο οποίος περιλαμβάνει την επίδραση όλων των παραγόντων που επηρεάζουν την ανταλλαγή θερμότητας μέσω μεταφοράς εκτός των θερμοκρασιών του δέρματος, του περιβάλλοντος και της επιφάνειας σώματος (Wenger, 1997).

Ανταλλαγή θερμότητας υγρού τύπου

Εξάτμιση. Όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος αυξάνεται, ο ρυθμός θερμικής απώλειας μέσω των μηχανισμών της αγωγής, της μεταφοράς και της ακτινοβολίας μειώνεται, με αποτέλεσμα ο μηχανισμός της εξάτμισης να αποτελεί τον πιο σημαντικό τρόπο για αποβολή θερμότητας προς το περιβάλλον (Πίνακας 1) (Kenny & Flouris, 2014; Wenger, 2002). Η εξάτμιση τμήματος ενός υγρού απαιτεί την εξαγωγή της απαραίτητης θερμότητας εξάτμισης από το εν λόγω υγρό, προκειμένου να γίνει η αλλαγή φάσης από την υγρή στην αέρια κατάσταση. Επομένως, το υγρό που απομένει πίσω ψύχεται και οδηγεί σε μείωση της θερμοκρασίας των ιστών που επαφίονται σε αυτό και, κατά συνέπεια, και της θερμοκρασίας του σώματος. Για κάθε γραμμάριο νερού που περιέχεται στον ιδρώτα που εξατμίζεται, αποβάλλονται 580 θερμίδες (Wenger, 1997). Η απώλεια θερμότητας μέσω του μηχανισμού της εξάτμισης επιτυγχάνεται τόσο στην επιφάνεια του δέρματος όσο και στις μεμβράνες του αναπνευστικού σωλήνα.

Θερμική απώλεια με εξάτμιση μέσω του δέρματος. Όπως προαναφέρθηκε, η παραγωγή ιδρώτα κατά την εφίδρωση δεν προκαλεί μείωση της θερμοκρασίας του σώματος. Απαιτείται η μετατροπή του νερού που περιέχεται στον ιδρώτα από υγρή σε αέρια μορφή, η οποία εξάγει 580 θερμίδες ανά γραμμάριο. Έτσι, κάθε φορά που εξατμίζεται το νερό του ιδρώτα από την επιφάνεια του σώματος δαπανάται η αντίστοιχη θερμική ενέργεια η οποία μεταφέρεται στον αέρα προκαλώντας έτσι ψύξη του ιδρώτα που παραμένει σε υγρή μορφή και, εν συνεχεία, της επιδερμίδας. Κατά τη διαδικασία της εξάτμισης, σημαντικό ρόλο στο ρυθμό θερμικής απώλειας παίζει η διαφορά της μερικής πίεσης των υδρατμών μεταξύ της επιφάνειας του δέρματος (ιδρώτας) και του ατμοσφαιρικού αέρα (υγρασία). Ακόμη κι αν ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι πλήρως κορεσμένος (100% σχετική υγρασία), υπάρχει μειωμένη εφίδρωση εφόσον υπάρχει απόλυτη διαφορά της υγρασίας ανάμεσα στο δέρμα και τον αέρα (Kenny & Jay, 2013). Επίσης, στη διαδικασία της εξάτμισης σημαντικό ρόλο παίζουν η ταχύτητα με την οποία ο ατμοσφαιρικός αέρας κινείται, ο ρουχισμός, και οι συνθήκες του περιβάλλοντος (Kenny & Flouris, 2014).

Ο άνθρωπος έχει περιορισμένη ικανότητα για αποβολή θερμότητας μέσω εξάτμισης. Κατά την διάρκεια μέγιστης εφίδρωσης κάτω από σταθερές συνθήκες περιβάλλοντος, ο μέγιστος ρυθμός εξάτμισης εξαρτάται από την επιφάνεια σώματος και το ποσοστό αυτής της περιοχής που είναι κορεσμένο με ιδρώτα. Το ποσοστό αυτό της συνολικής επιφάνειας του δέρματος στο ανθρώπινο σώμα που καλύπτεται με ιδρώτα ονομάζεται «υγρασία δέρματος» και παίρνει

διάφορες τιμές (Gagge & Gonzalez, 1996). Έτσι σε συνθήκες ηρεμίας όπου δεν προκαλείται επιδρωση, η υγρασία δέρματος έχει τιμή 0.06 (δηλαδή, 6%) και αντιπροσωπεύει τη φυσική διάχυση του νερού διαμέσου του δέρματος. Όταν όλη η επιφάνεια του δέρματος είναι καλυμμένη με ιδρώτα, η υγρασία δέρματος έχει τιμή 1 (δηλαδή, 100%). Αυτό όμως επιτυγχάνεται μόνο σε άτομα που είναι επαρκώς εγκλιματισμένα στη ζέστη και οι ιδρωτοποιοί τους αδένες έχουν υιοθετήσει τις προσαρμογές που επιτυγχάνονται μετά από επανειλημμένη έκθεση σε θερμό περιβάλλον. Χωρίς εγκλιματισμό στη ζέστη, η υγρασία του δέρματος σε φυσιολογικούς ενήλικες μπορεί να αυξηθεί έως το 0.85 [δηλαδή, 85% (Parsons, 2003)]. Παρόλα αυτά, η συχνή άσκηση παρατεταμένης διάρκειας (η οποία προκαλεί προσαρμογές όμοιες με αυτές του εγκλιματισμού) έχει ως αποτέλεσμα η μέγιστη τιμή της υγρασίας του δέρματος να φθάσει στα ίδια επίπεδα με εκείνα των θερμικά εγκλιματισμένων ατόμων (Mora-Rodriguez, 2012). Η υγρασία του δέρματος επηρεάζει την αποτελεσματικότητα της επιδρωσης του ατόμου, δηλαδή του ποσού του ιδρώτα που εξατμίζεται συνεισφέροντας στην απώλεια θερμότητας σε σχέση με το ποσό του ιδρώτα που παράγεται. Η διαρροή ιδρώτα αρχίζει όταν η τιμή της είναι μεγαλύτερη ή ίση του 0.50 (Candas, Libert, & Vogt, 1979).

Θερμική απώλεια με εξάτμιση μέσω της αναπνοής. Η απώλεια θερμότητας μέσω αναπνοής απορρέει μέσω των μηχανισμών μεταφοράς θερμότητας ξηρού τύπου και εξατμίσεως. Όταν τα εισπνεόμενα αέρια από το περιβάλλον είναι χαμηλότερης θερμοκρασίας από τη θερμοκρασία του πυρήνα κατά τη διάρκεια της εισπνοής, ζεσταίνονται και εξισορροπούνται θερμικά με την θερμοκρασία του πυρήνα. Ο ρυθμός θερμικής απώλειας μέσω της αναπνοής επηρεάζεται από το ρυθμό του πνευμονικού αερισμού και την ειδική θερμική ικανότητα των αναπνεόμενων αερίων. Η απώλεια θερμότητας με εξάτμιση μέσω της αναπνοής εμφανίζεται εξαιτίας του πλήρους κορεσμού των εισπνεόμενων αερίων με νερό, όταν περνούν από τις κοιλότητες του ανώτερου αναπνευστικού κατά τη διάρκεια της εισπνοής. Δεδομένου ότι η ικανότητα των αερίων για διατήρηση της υγρασίας αυξάνεται γραμμικά με την θερμοκρασία, η αύξηση της θερμοκρασίας των εισπνεόμενων αερίων μέσω της αγωγής/μεταφοράς αυξάνει την εξάτμιση (Kennedy & Jay, 2013).

Μηχανισμοί συμπεριφοριστικής θερμορύθμισης

Στους ανθρώπους η διατήρηση της θερμοκρασίας του οργανισμού στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό στη συμπεριφοριστική θερμορύθμιση (Flouris, 2011; Flouris & Schlader, 2015), η οποία έχει αποδειχθεί πως είναι ο κύριος θερμορυθμιστικός μηχανισμός στα περισσότερα τρωκτικά και σε όλους τους εξώθερμους οργανισμούς (Flouris & Piantoni, 2015; Talan, Tatelman, & Engel, 1991). Οι πρώτες ποιοτικές μελέτες για τη συμβολή της συμπεριφοράς στη επίτευξη της θερμικής ισορροπίας αναφέρονται από τον Αριστοτέλη τον 5ο αιώνα π.Χ., ωστόσο η πρώτη ποσοτική έρευνα πραγματοποιήθηκε στις αρχές του 20ου αιώνα από τον Kinder (Kinder, 1927). Από τότε, πλήθος ερευνών έχουν διεξαχθεί προκειμένου να κατανοηθεί η συμβολή των συμπεριφοριστικών προσαρμογών στη διατήρηση και την αποκατάσταση της θερμικής ισορροπίας (Laties & Weiss, 1959, 1960; Weiss, 1957; Weiss & Laties, 1960, 1961). Παραδείγματα συμπεριφοριστικής θερμορύθμισης περιλαμβάνουν οι διάφορες στάσεις του σώματος, η προσθήκη/αφαίρεση ρουχισμού, η κατανάλωση ζεστών ροφημάτων, κ.α. (Flouris & Piantoni, 2015; Van Someren et al., 2002).

Η συμπεριφοριστική θερμορύθμιση συχνά θεωρείται η πρώτη γραμμή άμυνας για τη διατήρηση και την αποκατάσταση της θερμικής ισορροπίας σε συνθήκες ηρεμίας αλλά παίζει ακόμη πιο σημαντικό ρόλο κατά την άσκηση σε θερμό περιβάλλον (Flouris & Schlader, 2015). Η συμπεριφοριστική προσαρμογή που στοχεύει στην προάσπιση της θερμικής ισορροπίας κατά την άσκηση σε θερμό περιβάλλον είναι η εκούσια μείωση του ρυθμού παραγωγής έργου (Flouris, 2011; Flouris & Schlader, 2015). Αυτό συμβαίνει γιατί κατά την διάρκεια μυϊκής δραστηριότητας απελευθερώνεται ενέργεια από τους μοριακούς δεσμούς κατά τη διάσπαση των οργανικών μορίων που συμμετέχουν στις αντιδράσεις του μεταβολισμού. Πράγματι, κατά την εκτέλεση μυϊκής δραστηριότητας απαιτείται ενέργεια, η οποία προέρχεται από την υδρόλυση της τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP). Όταν η ATP υδrolύεται, το μεγαλύτερο μέρος (~60-95%) της ενέργειας που εκλύεται απελευθερώνεται με τη μορφή θερμότητας μέσα στο σώμα,

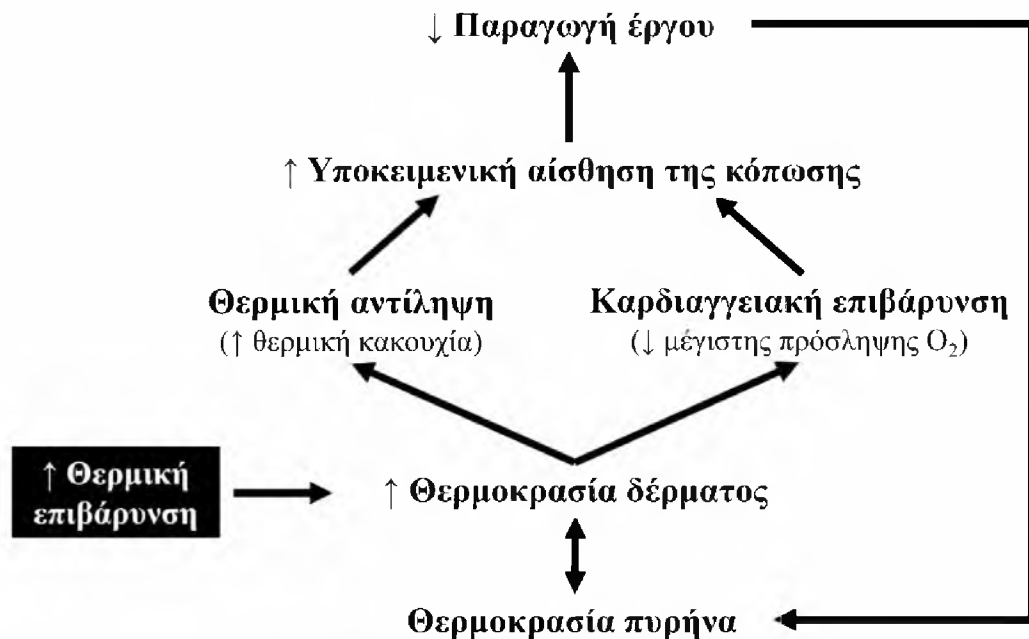
διαταράσσοντας τη θερμική του ισορροπία, και μόνο το υπόλοιπο χρησιμοποιείται για την παραγωγή μηχανικού έργου (Bangsbo, Krstrup, Gonzalez-Alonso, & Saltin, 2001; Edwards, Hill, & Jones, 1975; Gonzalez-Alonso, 2012; Gonzalez-Alonso, Quistorff, Krstrup, Bangsbo, & Saltin, 2000; Kenny & Flouris, 2014; Kenny & Jay, 2013; Krstrup, Ferguson, Kjaer, & Bangsbo, 2003; Krstrup, Gonzalez-Alonso, Quistorff, & Bangsbo, 2001). Η αποτελεσματικότητα της διαδικασίας αυτής, δηλαδή της μετατροπής της χημικής ενέργειας των καύσιμων συστατικών σε μηχανικό έργο και θερμότητα, διαφέρει ανάλογα με το είδος της άσκησης. Στις ισομετρικές ασκήσεις, όπου το μήκος του μυός δεν αλλάζει, το εξωτερικό μηχανικό έργο είναι μηδέν. Ένα μικρό ποσό επίσης από το μηχανικό έργο μετατρέπεται μέσω της τριβής σε θερμότητα (Wenger, 1997). Όσο αυξάνεται η ένταση της άσκησης, τόσο γίνεται πιο αποδοτική η μετατροπή της χημικής ενέργειας των καύσιμων συστατικών σε μηχανικό έργο (Fiala, 1998). Κάτω από τις καλύτερες συνθήκες μόνο το ένα πέμπτο της μεταβολικής ενέργειας που ελευθερώνεται μετατρέπεται σε μηχανικό έργο έξω από το σώμα ενώ τα τέσσερα πέμπτα μετατρέπονται σε θερμότητα μέσα σε αυτό (Astrand & Rodahl, 1977). Τα αποθέματα όμως του σώματος σε ATP είναι πολύ περιορισμένα, αρκετά μόνο για μερικές συσπάσεις, και απαιτείται επανασύνθεσή της προκειμένου να συνεχιστεί η μυϊκή δραστηριότητα. Το παραπάνω επιτυγχάνεται μέσω της φωσφορύωσης της διφωσφορικής αδενοσίνης (ADP). Από τη διαδικασία αυτή, το ~58% της ενέργειας που απελευθερώνεται από τα καύσιμα υλικά μετατρέπεται σε θερμότητα και μόνο το ~42% συγκρατείται στο ATP που σχηματίζεται (Wenger, 1997).

Προκειμένου να κατανοήσουμε τη σημαντικότητα των παραπάνω στην καθημερινή ζωή ενός ατόμου, ας αναλογιστούμε το παρακάτω παράδειγμα. Το στατικό ποδήλατο, το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως σε γυμναστήρια και αθλητικά κέντρα, θεωρείται ως η πιο αποδοτική μορφή άσκησης με συνολική μηχανική απόδοση ~20% (Whipp & Wasserman, 1969). Αυτό σημαίνει ότι, προκειμένου να παράγουμε εξωτερικό μηχανικό έργο ίσο με 120 W (το οποίο θα εφαρμοστεί στο πετάλι), θα πρέπει να απελευθερωθεί ενέργεια από τις αντιδράσεις του μεταβολισμού ίση με 600 W από τα οποία περίπου 480 W θα ελευθερωθούν ως θερμότητα στα κύτταρα του σώματος. Σε περιπτώσεις όπου το σώμα δεν δύνανται να αποβάλει αυτή τη θερμότητα στο περιβάλλον, προκαλείται - μέσω της συμπεριφοριστικής θερμορύθμισης - εν ευνυχρόνιο εκούσια μείωση του ρυθμού έντασης της άσκησης ως θερμορυθμιστική απάντηση προκειμένου να διατηρηθεί η θερμική ισορροπία (Flouris, 2011; Flouris & Schlader, 2015).

Οι συμπεριφοριστικές προσαρμογές της θερμορύθμισης πηγάζουν από κυρίως από τον νησιωτικό φλοιό του εγκεφάλου και ενεργοποιούνται ως επί το πλείστον μέσω των θερμικών υποδοχέων του δέρματος, πριν αντιχνευθούν μεταβολές της θερμοκρασίας του πυρήνα του σώματος (Flouris, 2011; Flouris & Schlader, 2015). Η συμπεριφοριστική θερμορύθμιση ελέγχεται με βάση το πόσο άνετο αισθανόμαστε το περιβάλλον (θερμική άνεση), καθώς και από το πόσο θερμό αισθανόμαστε το σώμα μας (θερμική αίσθηση). Πρόσφατα, προτείναμε ένα μοντέλο συμπεριφοριστικής θερμορύθμισης που αναλύει τους παράγοντες που επηρεάζουν την αυτορυθμιζόμενη παραγωγή έργου σε θερμό περιβάλλον (Εικόνα 1) (Flouris, 2015; Flouris & Schlader, 2015). Με βάση το μοντέλο αυτό:

1. η αυτοεπιλεγμένη μείωση του ρυθμού άσκησης σε θερμό περιβάλλον μειώνει το μεταβολικό ρυθμό M και επομένως συμβάλει στην επίτευξη θερμικής ισορροπίας (εξίσωση 1).
2. Σε περιόδους ηρεμίας η θερμική συμπεριφορά καθορίζεται σχεδόν αποκλειστικά από το πόσο άνετο αισθανόμαστε το περιβάλλον (θερμική άνεση). Κάτι τέτοιο όμως δεν ισχύει κατά τη διάρκεια της άσκησης. Σε αυτές τις συνθήκες η θερμική συμπεριφορά φαίνεται να ελέγχεται κυρίως από την υποκειμενική αίσθηση της κόπωσης.
3. Πριν σημειωθεί αύξηση της θερμοκρασίας του πυρήνα του σώματος (σε περιπτώσεις όπου μόνο η θερμοκρασία του δέρματος είναι αυξημένη) η μείωση του ρυθμού άσκησης σε θερμό περιβάλλον προκαλείται κυρίως από τη θερμική αντίληψη (τη θερμική άνεση και τη θερμική αίσθηση του σώματος), καθώς και από τις επιπτώσεις που έχει αυτή στην υποκειμενική αίσθηση της κόπωσης.
4. Σε περιπτώσεις όπου η θερμοκρασία του πυρήνα και του δέρματος είναι αυξημένη, η υποκειμενική αίσθηση της κόπωσης επηρεάζεται κυρίως από παράγοντες που σχετίζονται με την καρδιαγγειακή επιβάρυνση. Η τελευταία είναι αποτέλεσμα της περιφερικής αγγειοδιαστολής που στοχεύει στην μεγιστοποίηση της αποβολής θερμότητας μέσω ακτινοβολίας, μεταφοράς, και αγωγής (εξίσωση 1). Δυστυχώς, όμως, η περιφερική αυτή

αγγειοδιαστολή έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση παροχής αίματος στους μύες και, επομένως, της πρόσληψης οξυγόνου (Flouris, 2015; Flouris & Schlader, 2015).



Εικόνα 1. Μοντέλο της συμπεριφοριστικής θερμορύθμισης κατά τη διάρκεια της άσκησης σε θερμό περιβάλλον (Flouris, 2015).

Μηχανισμοί αυτόνομης θερμορύθμισης

Η αυτόνομη θερμορύθμιση λειτουργεί μέσω του ελέγχου των μηχανισμών παραγωγής και αποβολής θερμότητας. Σχετικά με την παραγωγή θερμότητας, το ανθρώπινο σώμα έχει δυνατότητα για ορμονική θερμογένεση καθώς και για θερμογένεση με ρίγος. Η ορμονική θερμογένεση ταξινομείται σε: (α) θερμογένεση χωρίς ρίγος, όπου η νορεπινεφρίνη προκαλεί μιτοχονδριακή παραγωγή θερμότητας στο φατό λιπώδη ιστό (Valente, Jamurtas, Koutedakis, & Flouris, 2015) και (β) ορμονική θερμογένεση η οποία προκαλείται από αύξηση της έκκρισης επινεφρίνης, γλυκαγόνης, θυρεοειδικών ορμονών, αυξητικής ορμόνης ή/και αδρενοκορτικοτροπικής ορμόνης (Jansky, 1995). Η θερμογένεση με ρίγος επιτελείται στους σκελετικούς μύες και έχει δυνατότητα για παραγωγή θερμότητας έως και 300 W (Benzinger, 1969). Η υψηλή ποσότητα της παραγόμενης θερμότητας προδίδει ότι η αλλαγή της μυϊκής δραστηριότητας είναι η κύρια παράμετρος θερμογένεσης στο σώμα. Συγκεκριμένα, η έκθεση σε ψυχρό περιβάλλον οδηγεί σε προοδευτική αύξηση της μυϊκής συστολής η οποία προκαλεί μυϊκό ρίγος. Δεδομένου ότι δεν παράγεται καθόλου εξωτερικό έργο κατά το μυϊκό ρίγος, σχεδόν όλη η παραγόμενη ενέργεια διαχέεται ως θερμότητα στα κύτταρα του σώματος.

Οι αυτόνομοι μηχανισμοί αποβολής θερμότητας αφορούν την εφίδρωση και τη μεταβολή της δερματικής αιματικής ροής. Η ενεργοποίηση αυτών των μηχανισμών εξαρτάται από τη θερμοκρασία του πυρήνα και του δέρματος στο ανθρώπινο σώμα. Κάθε θερμορυθμιστική απάντηση του οργανισμού έχει ένα όριο, μια θερμοκρασία όπου η απάντηση αυξάνει και εξαρτάται από τη θερμοκρασία δέρματος και τη θερμοκρασία πυρήνα. Στους ανθρώπους μια αλλαγή στη θερμοκρασία του πυρήνα κατά 1°C προκαλεί εννέα φορές μεγαλύτερη θερμορυθμιστική απάντηση σε σύγκριση με την ίδια αύξηση στη θερμοκρασία του δέρματος (Sawka & Wenger, 1988). Η θερμοκρασία του δέρματος δεν δρα μόνο μέσω αντανακλαστικών μηνυμάτων αλλά έχει τοπική επίδραση που τροποποιεί τα αιμοφόρα αγγεία και τους ιδρωτοποιούς αδένες. Οι αλλαγές της θερμοκρασίας του δέρματος επηρεάζουν τα αιμοφόρα αγγεία του δέρματος με τουλάχιστον δύο τρόπους. Πρώτον, η τοπική ψύξη του δέρματος ενισχύει την συστολή των αιμοφόρων αγγείων σε απάντηση νευρικών ερεθισμάτων και

αγγειοσυσταλτικών ουσιών. Δεύτερον, σε περιοχές του δέρματος που εμφανίζεται αγγειοδιαστολή η τοπική θερμότητα διαστέλλει τα αιμοφόρα αγγεία άμεσα χωρίς τη δραστηριοποίηση των νευρικών ερεθισμάτων. Η επίδραση αυτή είναι ιδιαίτερα χαρακτηριστική όταν η θερμοκρασία του δέρματος είναι πάνω από 35°C και όταν το δέρμα είναι θερμότερο από το αίμα (Wenger, Stephenson, & Durkin, 1986). Η επίδραση της θερμοκρασίας του δέρματος στους ιδρωτοποιούς αδένες είναι παράλληλη με αυτή των αιμοφόρων αγγείων, έτσι ώστε η τοπική θέρμανση του δέρματος ενισχύει την ενεργοποίηση των ιδρωτοποιών αδένων μέσω της ακετυλεχολίνης ή της αντανακλαστικής διέγερσης αυτών ενώ το αντίθετο ισχύει στην τοπική ψύξη του δέρματος (Sawka, Wenger, & Pandolf, 1996).

Παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική ισορροπία

Σωματικά χαρακτηριστικά/Σύνθεση σώματος

Η σωματική μάζα ισοδυναμεί με την ικανότητα του σώματος να αποθηκεύσει θερμότητα. Επομένως, άτομα με μεγαλύτερη σωματική μάζα συνήθως έχουν μικρότερη αύξηση της θερμοκρασίας του πυρήνα τους κατά τη διάρκεια ενός θερμικού ερεθίσματος (Havenith, Coenen, Kistemaker, & Kenney, 1998; Havenith, Luttikholt, & Vrijkotte, 1995). Ωστόσο η συμβολή της μάζας σώματος ως προς την ικανότητα για αποθήκευση θερμότητας δεν ισχύει στα διάφορα μέρη/τμήματα του ανθρώπινου σώματος. Για παράδειγμα ο εγκέφαλος, ενώ αποτελεί μόλις το 2% της συνολικής μάζας σώματος, χρησιμοποιεί περίπου το 16% του οξυγόνου που απαιτείται για τη διάσπαση της γλυκόζης για την παροχή ενέργειας (Raichle, 2001). Συνολικά, σε κατάσταση ηρεμίας ο εγκέφαλος και τα σπλάχνα ευθύνονται για το 70% της εκλούμενης ενέργειας παρότι αποτελούν μόνο το 8% της σωματικής μάζας (ISO., 2004) (Πίνακας 2).

Πίνακας 2. Παραγωγής θερμότητας κατά την ηρεμία και την άσκηση σε διάφορους ιστούς και όργανα του σώματος.

Ιστός	Βάρος%	Παραγωγή Θερμότητας %	
		Ηρεμία	Μέτρια άσκηση (300 W)
Εγκέφαλος	2	16	3
Ζωτικά όργανα	6	56	22
Δέρμα και μύες	52	18	73

Το μέγεθος της επιφάνειας σώματος ορίζει το ρυθμό ανταλλαγής θερμότητας ανάμεσα στο δέρμα και το περιβάλλον (Havenith et al., 1998; Havenith et al., 1995). Αυτό συνεπάγεται ότι η μεγάλη επιφάνεια σώματος συνδέεται με μικρότερες αυξήσεις της θερμοκρασίας του πυρήνα του σώματος κατά την έκθεση σε ένα θερμικό ερέθισμα (Havenith et al., 1998; Havenith et al., 1995). Έτσι ο μεταβολικός ρυθμός είναι περίπου ανάλογος της επιφάνειας σώματος. Για παράδειγμα ο μεταβολικός ρυθμός σε ένα νεαρό άνδρα είναι 81W ή 70kcal/ώρα για 1.8 m² επιφάνειας σώματος.

Η σύνθεση του σώματος έχει επίσης σημαντικό αντίκτυπο στη δυνατότητα αποθήκευσης θερμότητας και ανοχής στη ζέση. Παρά το γεγονός ότι έχουν πραγματοποιηθεί λίγες έρευνες σε παχύσαρκους ενήλικες, τα δεδομένα ως τώρα δείχνουν ότι τα άτομα αυτά έχουν μειωμένη θερμική ευαισθησία σε ένα θερμικό ερέθισμα (Herman et al., 2007). Δεν είναι όμως ξεκάθαρο, αν η μειωμένη θερμική ευαισθησία συνδέεται με μειωμένη ενεργοποίηση των μηχανισμών απώλειας θερμότητας. Τα παχύσαρκα άτομα επίσης, έχουν μειωμένη δερματική αιματική ροή

όταν ο πυρήνας του σώματος παρουσιάζει υψηλή θερμοκρασία (Vroman, Buskirk, & Hodgson, 1983). Η ειδική θερμοχωρητικότητα επίσης του λιπώδους ιστού είναι μικρότερη από εκείνη της άλιπης μάζας (2.97 αντί για 3.64 KJ g⁻¹ C⁻¹) (Kenny & Jay, 2013). Επομένως, για μια δεδομένη ποσότητα συσσωρευμένης θερμότητας ανά μονάδα σωματικής μάζας, μεγαλύτερη αύξηση της μέσης θερμοκρασίας ιστού θα παρατηρηθεί στα άτομα με μεγαλύτερη μάζα λιπώδους ιστού. Οι λόγοι αυτοί πιθανώς εξηγούν το γεγονός ότι τα περιστατικά θανατηφόρας θερμοπληξίας εμφανίζονται 3.5 φορές πιο συχνά σε υπέρβαρους και παχύσαρκους σε σχέση με άτομα φυσιολογικού βάρους (Henshel, 1967). Το ρίσκο αυτό αυξάνεται ακόμη περισσότερο όταν η παχυσαρκία συνοδεύεται με καθιστικό τρόπο ζωής, χαμηλή φυσική κατάσταση και χρόνιες ασθένειες (Henshel, 1967).

Φύλο

Ο βασικός μεταβολικός ρυθμός δεν είναι ίσος και στα δύο φύλα αλλά κατά μέσο όρο 5-10% χαμηλότερος στις γυναίκες όλων των ηλικιών απ' ό,τι στους άνδρες (Wenger, 1997). Η διαφορά αυτή μπορεί να αποδοθεί στο υψηλότερο ποσοστό σωματικού λίπους που υπάρχει στις γυναίκες και το χαμηλότερο ποσοστό μυϊκής μάζας. Οι διαφορές αυτές αμβλύνονται, όταν ο βασικός μεταβολικός ρυθμός εκφράζεται ανά μονάδα άλιπης σωματικής μάζας. Αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι οι γυναίκες έχουν μειωμένη ανοχή στη ζέση λόγω μειωμένου ρυθμού εφίδρωσης σε σύγκριση με τους άνδρες (Morimoto, Slabochova, Naman, & Sargent, 1967; Weinman, Slabochova, Bernauer, Morimoto, & Sargent, 1967; Wyndham, Morrison, & Williams, 1965). Ακόμη και μετά από μια περίοδο εγκλιματισμού, όπου η θερμοκρασία του πυρήνα του σώματος είναι όμοια ανάμεσα στα δύο φύλα, ο ρυθμός εφίδρωσης των γυναικών είναι μειωμένος (Morimoto et al., 1967; Weinman et al., 1967; Wyndham et al., 1965). Ωστόσο σε πολλές από τις μελέτες που έγιναν προκειμένου να διευκρινιστεί η επίδραση του φύλου ως προς τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του σώματος, δεν ελήφθησαν υπόψη στοιχεία όπως τα σωματικά χαρακτηριστικά των ατόμων (Kenney, 1985) και το επίπεδο της φυσικής τους κατάστασης (Drinkwater, Kurprat, Denton, & Horvath, 1977). Πρόσφατη μελέτη καταδεικνύει ότι διαφορές που σχετίζονται με το φύλο στην παραγωγή ιδρώτα σε όλο το σώμα και ως εκ τούτου στην αποθήκευση της θερμότητας σε αυτό, είναι εμφανείς μόνο σε ένα ορισμένο συνδυασμό περιβαλλοντικών συνθηκών και μεταβολικού ρυθμού παραγωγής θερμότητας (Gagnon & Kenny, 2012).

Ηλικία

Ο βασικός μεταβολικός ρυθμός μειώνεται με την αύξηση της ηλικίας, σε αντίθεση με ό,τι συμβαίνει σε άλλους οργανισμούς, όπως στους αρουραίους (Lee & Wang, 1985). Ο Roehlman και οι συνεργάτες του (1993) αναφέρουν μια καμπυλόγραμμη μείωση, με τη σημαντικότερη μείωση να εμφανίζεται μετά την ηλικία των 50 ετών. Η μείωση του βασικού μεταβολικού ρυθμού σχετίζεται στενά με την αύξηση του σωματικού βάρους, με την αύξηση του λιπώδη ιστού και τη μείωση της άλιπης μάζας, τη μείωση των ιστών που παράγουν θερμότητα και την μείωση του επιπέδου φυσικής κατάστασης που παρουσιάζεται κυρίως στους ηλικιωμένους (Roehlman, 1993). Ο μειωμένος βασικός μεταβολικός ρυθμός αποτελεί ένα από τους βασικούς λόγους για τη μειωμένη θερμοκρασία πυρήνα σώματος που αναφέρεται με την αύξηση της ηλικίας (Falk, Bar-Or, Smolander, & Frost, 1994) και κυρίως στους άνδρες (Florez-Duquet & McDonald, 1998).

Κατά την έκθεση σε θερμό περιβάλλον (π.χ. σε περιόδους καύσωνα), τα άτομα μεγαλύτερης ηλικίας εμφανίζουν μειωμένη απόκριση του θερμορυθμιστικού συστήματος σε σχέση με άτομα μικρότερης ηλικίας (Dufour & Candas, 2007). Η μείωση αυτή εμφανίζεται κυρίως στο ρυθμό εφίδρωση (Kenney & Fowler, 1988) και τη δερματική αιματική ροή (Holowatz, Thompson-Torgerson, & Kenney, 2010). Ο μειωμένος ρυθμός εφίδρωσης που σχετίζεται με την ηλικία αποδίδεται κυρίως στην μικρότερη παραγωγή έκκρισης ιδρώτα ανά ιδρωτοποιό αδένια και όχι στη μειωμένη δραστηριοποίηση του αριθμού των ιδρωτοποιών αδένων (Kenney & Fowler, 1988). Η μειωμένη δερματική αιματική ροή που σχετίζεται με την ηλικία συνδέεται με μικρότερη ανακατανομή της αιματικής ροής στα σπλάχνα και τους νεφρούς και μειωμένη καρδιακή παροχή (Minson, Wladkowski, Cardell, Pawelczyk, & Kenney, 1998).

Υπνος

Ο βασικός μεταβολικός ρυθμός ρυθμίζεται από τον ύπνο και τον κερκάρδιο ρυθμό και είναι ελαφρώς υψηλότερος όταν το άτομο είναι ξύπνιο (Krauchi & Wirz-Justice, 1994). Παλιότεροι

ερευνητές δεν αναφέρουν κirkάδιες διαφοροποιήσεις στο βασικό μεταβολικό ρυθμό σε άτομα ζώπνια σε κατάσταση ηρεμίας (Miles, Wong, Rumpfer, & Conway, 1993; Zwiauer, Mueller, & Widhalm, 1992) αλλά νεότεροι ερευνητές αναφέρουν κορύφωση του λίγο πριν το μεσημέρι (Krauchi & Wirz-Justice, 1994). Όπως προαναφέρθηκε, ο μεταβολικός ρυθμός είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με τη θερμική ισορροπία. Επομένως, οι μεταβολές του κατά τη διάρκεια της ημέρας αποτελούν λόγο ενεργοποίησης των μηχανισμών θερμορύθμισης έτσι ώστε να μη διαταραχθεί η θερμική ισορροπία.

Λοίμωξη ή άλλη ασθένεια

Η αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος μπορεί να είναι απόκριση του οργανισμού σε μία λοίμωξη (Wenger, 1997). Ο πυρετός είναι ένα τέτοιο παράδειγμα και - από πλευράς θερμικής ισορροπίας - επιτελείται μέσω περιφερικής αγγειοσυστολής (μείωση της αιματικής ροής στο δέρμα για μείωση της απώλειας θερμότητας ξηρού τύπου), αύξηση της παραγωγής θερμότητας με και χωρίς ρίγος, ενεργοποίηση της συμπεριφοριστικής θερμορύθμισης (π.χ., εντοπισμός θερμού περιβάλλοντος και αύξηση μόνωσης/ρουχισμού), καθώς και απενεργοποίηση του μηχανισμού της εφίδρωσης (για μείωση της απώλειας θερμότητας υγρού τύπου). Από πλευράς ανοσολογικής λειτουργίας, ο πυρετός διεγείρει ένα μεγάλο αριθμό αμυντικών μηχανισμών του οργανισμού όπως την αύξηση της κινητικότητας των λευκοκυττάρων, την ενίσχυση της φαγοκυττάρωσης από τα λευκοκύτταρα, την μείωση των ενδοτοξινών και την αύξηση των Τ-κυττάρων, με σκοπό να καταπολεμήσει τις λοιμώξεις (Lewis, Heitkemper, Dirksen, Bucher, & O'Brien, 2007).

Επίπεδα ορισμένων ορμονών στο αίμα

(α) Οι ορμόνες του θυρεοειδούς παίζουν σημαντικό ρόλο τόσο άμεσα (επιηρεάζοντας τους μηχανισμούς της θερμορύθμισης) όσο και έμμεσα (επιδρώντας στο μεταβολικό ρυθμό) (Dubois, 1936; Silva, 2006). Οι θυρεοειδικές ορμόνες που επιηρεάζουν το μεταβολισμό και, εν συνέπεια, τη θερμική ισορροπία, είναι η τριιωδοθυρονίνη, η θυροξίνη και άλλες ιωδοθυρονίνες (π.χ., rT3 και 3,5-T2) (Goglia, 2005; Hulbert, 2000; Lanni, Moreno, Lombardi, de Lange, & Goglia, 2001). Οι ορμόνες αυτές επίσης διεγείρουν βιολογικές διεργασίες που σχετίζονται με την μεταφορά θερμότητας μέσα στους ιστούς και αυξάνουν την κατανάλωση οξυγόνου και την παραγωγή θερμότητας σε μεταβολικά ενεργούς ιστούς όπως στους σκελετικούς μύες, την καρδιά, τους νεφρούς και το ήπαρ (Goglia, Moreno, & Lanni, 1999; Soboll, 1993). Αυτό οδηγεί σε μιτοχονδριακή βιογένεση, η οποία με τη σειρά της επιηρεάζει τον πολλαπλασιασμό, τη διαφοροποίηση, την ωρίμανση και το θάνατο των κυττάρων (Duchen, 2004), αλλά και την αύξηση της σύνθεσης των μη συζευγμένων πρωτεϊνών της έσω μιτοχονδριακής μεμβράνης (Carrillo & Flouris, 2011; Flouris et al., 2017; Sakellariou et al., 2016; Vander et al., 2001). Οι πρωτεΐνες αυτές μειώνουν την παραγόμενη ποσότητα του ATP και αυξάνουν την ποσότητα της θερμότητας που παράγεται κατά την οξείδωση των ενεργειακών μορίων (Valente et al., 2015). Τα υπέρμετρα επίπεδα των θυρεοειδικών ορμονών για μεγάλο χρονικό διάστημα, όπως σε άτομα με υπερθυρεοειδισμό, προκαλούν πλήθος δευτερογενών θερμοδογόνων επιδράσεων, όπως οι αυξημένες μεταβολικές ανάγκες και η σημαντική αύξηση της πείνας και της πρόσληψης τροφής. Ο υπερθυρεοειδισμός συνήθως προκαλεί αύξηση του μεταβολικού ρυθμού 45% πάνω από το φυσιολογικό, οδηγώντας σε αύξηση της παραγόμενης θερμότητας η οποία έχει σημαντικές επιπτώσεις στη θερμική ισορροπία. Σε υποθυρεοειδικές καταστάσεις ο μεταβολικός ρυθμός είναι συνήθως 25% κάτω από το φυσιολογικό, ενώ σε ολική έλλειψη θυροξίνης η μείωση αυτή μπορεί να φτάσει και το 45%.

(β) Η επινεφρίνη είναι μια ορμόνη με έντονη θερμοδογόνο δράση η οποία οφείλεται στη διέγερση του καταβολισμού των τριγλυκεριδίων και του γλυκογόνου, αφού η διάσπαση της ATP και η απελευθέρωση ενέργειας και θερμότητας συμβαίνει τόσο κατά την αποδόμηση όσο και κατά την επακόλουθη ανασύνθεση αυτών των μορίων. Επομένως, όταν διεγείρεται η έκκριση της επινεφρίνης από τον επινεφριδιακό μυελό, ο μεταβολικός ρυθμός αυξάνει. Έτσι εξηγείται μερικώς η αυξημένη παραγωγή θερμότητας που συνοδεύει την συναισθηματική ένταση. Συμπαθητικομιμητικά μέσα όπως η επινεφρίνη, η καφεΐνη, η θεοφυλλίνη, καθώς και οι κατεχολαμίνες αυξάνουν τον μεταβολικό ρυθμό ηρεμίας στους ανθρώπους με επακόλουθες συνέπειες για τη θερμική ισορροπία (Jansky, 1995).

Λήψη τροφής

Η λήψη τροφής αυξάνει το μεταβολικό ρυθμό ηρεμίας κατά 10-20% για λίγες ώρες μετά το γεύμα. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται τροφική θερμογένεση και το ποσοστό αύξησης ποικίλει ανάλογα με τη σύνθεση του γεύματος και είναι εντονότερο με την κατανάλωση πρωτεϊνών απ' ό,τι με την πρόσληψη λίπους και υδατανθράκων (Miles et al., 1993; Tataranni, Larson, Snitker, & Ravussin, 1995). Συγκεκριμένα η κατανάλωση υδατανθράκων και λίπους προκαλούν αύξηση του μεταβολικού ρυθμού κατά 4-5% που διαρκεί περίπου μια ώρα μετά τη λήψη τους, ενώ η κατανάλωση πρωτεϊνών προκαλεί αύξηση >30% που είναι εμφανής για αρκετές ώρες (Miles et al., 1993; Tataranni et al., 1995). Προκειμένου να αποκλειστούν οι επιδράσεις της τροφικής θερμογένεσης, η αξιολόγηση του βασικού μεταβολισμού ηρεμίας γίνεται αρκετές ώρες μετά τη λήψη τροφής. Η αυξημένη μεταβολική απαίτηση των εθιπτων τροφών συνδέεται με αύξηση της θερμοκρασίας του πυρήνα του σώματος κατά περίπου 0.01°C για κάθε 159 kcal ενέργειας τροφής (Krauchi & Wirz-Justice, 1994) ή 10-18% του ενεργειακού περιεχομένου της τροφής (Miles et al., 1993; Tataranni et al., 1995). Αν είναι αρκετά έντονη, η αύξηση της θερμοκρασίας του πυρήνα του σώματος μπορεί να προκαλέσει με τη σειρά της αύξηση της περιφερικής αιματικής ροής του δέρματος και της θερμοκρασίας του (Hirai, Tanabe, & Shido, 1991). Αντίθετα, η νηστεία μειώνει σημαντικά τη θερμοκρασία του πυρήνα σώματος και του δέρματος (Carrillo & Flouris, 2011; Krauchi & Wirz-Justice, 1994). Το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας που παράγεται κατά την λήψη τροφής είναι δευτερογενούς προέλευσης καθώς προέρχεται από την επεξεργασία της τροφής στο ήπαρ και δεν οφείλεται στην ενέργεια που καταναλώνει το γαστρεντερικό σύστημα για την πέψη και την απορρόφηση του περιεχομένου του (Miles et al., 1993; Tataranni et al., 1995). Κάποιες μελέτες αναφέρουν ότι η θερμική επίδραση των τροφών μειώνεται στους ηλικιωμένους (McDonald & Horwitz, 1999), ενώ άλλες δεν αναφέρουν καμία επίδραση της ηλικίας (Elia, Ritz, & Stubbs, 2000). Τέλος, η θερμική επίδραση της τροφής μειώνεται σε άτομα με υψηλό ποσοστό λίπους, με χαμηλό επίπεδο φυσικής κατάστασης και συνεπώς με χαμηλή φυσική δραστηριότητα (Poehlman, Melby, & Badylak, 1991; Tataranni et al., 1995; Witt, Snook, O'Dorisio, Zivony, & Malarkey, 1993).

Μυϊκή δραστηριότητα

Η μυϊκή δραστηριότητα αυξάνει δραστικά το μεταβολικό ρυθμό, με πολύ έντονες συνέπειες στη θερμική ισορροπία (Flouris & Schlader, 2015; Kenny & Flouris, 2014). Αυτό συμβαίνει γιατί οι μύες είναι η κύρια πηγή παραγωγής θερμότητας ακόμη και κατά τη διάρκεια άσκησης εξαιρετικά χαμηλής έντασης, ενώ κατά τη διάρκεια άσκησης υψηλής έντασης η παραγωγή θερμότητας αυξάνεται κατά 90% (Kenny & Flouris, 2014). Μένοντας κάποιος ξύπνιος σε ύπτια θέση και χωρίς καμία σωματική δραστηριότητα, παρουσιάζει αύξηση της θερμοκρασίας του πυρήνα σώματος από 0.06°C σε 0.31°C (Barrett, Lack, & Morris, 1993). Αλλάζοντας τη στάση σώματος από ύπτια σε όρθια θέση, η θερμοκρασία του πυρήνα σώματος ενός ατόμου αυξάνεται κατά 0.1-0.5°C (Barrett et al., 1993). Ακόμη και μια αλλαγή από ύπτια σε ημι-ύπτια θέση αυξάνει την θερμοκρασία του πυρήνα σώματος (Aizawa & Cabanac, 2002). Ένα υγιές, αλλά με καθιστικό τρόπο ζωής άτομο, μπορεί να αυξήσει το μεταβολικό του ρυθμό σε 800W (σε αντίθεση με τα 80W κατά την ηρεμία) εκτελώντας μέτριας έντασης άσκηση ενώ ένας προπονημένος αθλητής σε $\geq 1400W$ (Wenger, 1997). Λόγω του υψηλού μεταβολικού τους ρυθμού, οι μύες που ασκούνται μπορεί να είναι κατά 1-2°C πιο θερμοί από ότι η θερμοκρασία του πυρήνα σώματος (Bar-Or, 1998). Η αύξηση της θερμοκρασίας του μυός δεν είναι συνάρτηση της απόλυτης έντασης της άσκησης αλλά των απαιτήσεων της σε οξυγόνο δηλαδή ως ποσοστό της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου του ατόμου (Bar-Or, 1998). Οι αλλαγές στη μυϊκή δραστηριότητα ευθύνονται για την τροποποίηση του μεταβολικού ρυθμού στη διάρκεια του ύπνου (μειωμένη μυϊκή συστολή), κατά την έκθεση σε χαμηλή περιβαλλοντική θερμοκρασία (αυξημένη μυϊκή δραστηριότητα και ρίγος) και την έντονη συναισθηματική κατάσταση. Συμπερασματικά η συνολική ενεργειακή δαπάνη ενός ατόμου ποικίλει ανάλογα με τη φυσική του δραστηριότητα και συγκεκριμένα με τις απαιτήσεις αυτής σε οξυγόνο (Van Someren et al., 2002).

Περιβαλλοντική θερμοκρασία

Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες επηρεάζουν σημαντικά το μεταβολικό ρυθμό ηρεμίας. Ο μεταβολισμός των ανθρώπων που ζουν σε τροπικά κλίματα είναι κατά μέσο όρο 5-20%

υψηλότερος από αυτό των κατοίκων πιο εύκρατων περιοχών (McArdle, Katch, & Katch, 2001). Επίσης, η άσκηση που εκτελείται σε θερμό περιβάλλον θέτει ένα επιπλέον μεταβολικό φορτίο λόγω της ανάγκης για περιφερική αγγειοδιαστολή, προκαλώντας μείωση της πρόσληψη οξυγόνου κατά 5-10% συγκρινόμενη με την ίδια άσκηση να γίνεται σε θερμικά ουδέτερο περιβάλλον (Flouris & Schlader, 2015). Κατά την έκθεση σε ψυχρό περιβάλλον, ο μεταβολισμός επηρεάζεται σημαντικά από το περιεχόμενο λίπους στον οργανισμό και τη θερμική ποιότητα των ρούχων (Kenny & Flouris, 2014). Κατά την ακραία έκθεση στο κρύο, ο μεταβολισμός ηρεμίας μπορεί να διπλασιαστεί ή και να τριπλασιαστεί επειδή, όπως προαναφέρθηκε, το μυϊκό ρίγος παράγει σημαντικά ποσά θερμότητας προκειμένου να προασπιστεί η θερμική ισορροπία του σώματος (McArdle et al., 2001).

Συμπερασματικά σχόλια

Το θερμορυθμιστικό σύστημα είναι ένα από τα βασικά συστήματα ομοιοστατικού ελέγχου του ανθρώπινου οργανισμού και στοχεύει στη διατήρηση της θερμικής ισορροπίας του σώματος. Όπως παρουσιάζεται στο παρόν άρθρο, η διατήρηση της θερμικής ισορροπίας είναι σύνθετη και απαιτεί την επιστράτευση τόσο συμπεριφοριστικών όσο και φυσιολογικών μηχανισμών. Η συμπεριφοριστική θερμορύθμιση θεωρείται ως η πρώτη γραμμή άμυνας του οργανισμού για την διατήρηση της θερμικής ισορροπίας και ρυθμίζεται από τη θερμική αίσθηση και άνεση. Εν συνεχεία, οι φυσιολογικοί μηχανισμοί του θερμορυθμιστικού συστήματος προσαρμόζονται προκειμένου να εξισορροπηθεί ο ρυθμός παραγωγής θερμότητας τους σώματος με το ρυθμό αποβολή αυτής προς το περιβάλλον. Οι αισθητηριακές πληροφορίες για τη θερμοκρασία του σώματος αποτελούν ουσιώδες μέρος τόσο της συμπεριφοριστικής όσο και της φυσιολογικής θερμορύθμισης. Η αλλαγή της θερμοκρασίας των διαφόρων μερών του σώματος ανιχνεύεται από αισθητήρες/υποδοχείς που είναι καταναμημένοι σε όλο το σώμα και παράγουν ηλεκτρικά σήματα στους αντίστοιχους νευρώνες που άγονται στην προοιπτική χώρα και τον πρόσθιο υποθάλαμο (που αποτελούν το κέντρο ολοκλήρωσης της αυτόνομης θερμορύθμισης) καθώς και στον νησιωτικό φλοιό (που αποτελεί την κύρια πηγή συμπεριφοριστικών αποκρίσεων σχετικές με τη θερμορύθμιση). Η πλειονότητα των αποκρίσεων για τη διατήρηση της θερμικής ισορροπίας ενεργοποιούνται ως επί το πλείστον μέσω των θερμικών υποδοχέων του δέρματος, πριν ανιχνευθούν μεταβολές της θερμοκρασίας του πυρήνα του σώματος.

Το ανθρώπινο σώμα ανταλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον μέσω της αγωγής, της μεταφοράς, της ακτινοβολίας και της εξάτμισης του νερού από τα διάφορα μέρη του σώματος. Η θερμική ισορροπία του σώματος επιτυγχάνεται όταν ο ρυθμός παραγωγής θερμότητας είναι ίσος με το ρυθμό αποβολής αυτής προς το περιβάλλον. Η παραγωγή θερμότητας προέρχεται κυρίως από τον καταβολισμό των θρεπτικών συστατικών στα κύτταρα του σώματος. Κατά τη διαδικασία αυτή απελευθερώνεται ενέργεια, η πλειονότητα της οποίας μετατρέπεται σε θερμότητα μέσα στο σώμα. Η παραγωγή θερμότητας επηρεάζεται από ένα σύνολο παραγόντων όπως το φύλο, η ηλικία, η σωματική σύνθεση, η μυϊκή δραστηριότητα, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, η λήψη τροφής και οι διάφορες ασθένειες. Σε περιπτώσεις όπου υπάρχει περίσσεια θερμότητα στο σώμα, ενεργοποιούνται οι μηχανισμοί αποβολής θερμότητας προκειμένου αυτή να αποβληθεί στο περιβάλλον. Κατά τη διαδικασία αυτή, ανταλλαγή θερμότητας ξηρού τύπου (κυρίως η ακτινοβολία) παίζει βασικό ρόλο σε συνθήκες ηρεμίας, ενώ η ανταλλαγή θερμότητας υγρού τύπου αποτελεί την κύρια οδό αποβολής θερμότητας κατά την άσκηση σε θερμό περιβάλλον.

Σημασία για την Ποιότητα Ζωής

Η γνώση του τρόπου διατήρησης της θερμικής ισορροπίας του οργανισμού, όπως αυτή αναλύεται στην παρούσα βιβλιογραφική ανασκόπηση, είναι ιδιαίτερης σπουδαιότητας για τους ανθρώπους που γυμνάζονται ή εργάζονται σε περιβάλλοντα όπου έχουν να αντιμετωπίσουν την υψηλή παραγωγή θερμότητας λόγω σωματικής δραστηριότητας σε συνδυασμό με ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες και τη πιθανή χρήση προστατευτικού ρουχισμού.

Η σημασία της παραπάνω βιβλιογραφικής ανασκόπησης για την ποιότητα ζωής γενικότερα έγκειται στη σημαντικότητα της θερμικής ισορροπίας του σώματος, η οποία έχει θεμελιώδη ρόλο στη διαδικασία της γήρανσης αλλά και σε σειρά παθολογικών καταστάσεων σχετικών με την υπερθερμία.

Ευχαριστίες

Ευχαριστούμε τον Καθηγητή κ. Γιάννη Κουτεντάκη για τη συνεισφορά και τα σχόλιά του κατά τη διάρκεια συγγραφής του τελικού κειμένου.

Βιβλιογραφία

- Aizawa, S., & Cabanac, M. (2002). The influence of temporary semi-supine and supine postures on temperature regulation in humans. *J Therm Biol*(27), 109-114.
- Astrand, P.-O., & Rodahl, K. (1977). *Energy Balance and Temperature Regulation* (2nd ed.). New York: McGraw-Hill.
- Bangsbo, J., Krstrup, P., Gonzalez-Alonso, J., & Saltin, B. (2001). ATP production and efficiency of human skeletal muscle during intense exercise: effect of previous exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 280(6), E956-964.
- Bar-Or, O. (1998). Effects of age and gender on sweating pattern during exercise. *Int J Sports Med*, 19 Suppl 2, S106-107. doi:10.1055/s-2007-971970
- Barrett, J., Lack, L., & Morris, M. (1993). The sleep-evoked decrease of body temperature. *Sleep*, 16(2), 93-99.
- Benzinger, T. H. (1969). Heat regulation: homeostasis of central temperature in man. *Physiol Rev*, 49(4), 671-759.
- Bernard, C. (1865). *Introduction a l'etude de la medicine experimentale*.
- Bernard, C. (1878). *Lecons sur les phenomenes de la vie communs aux animaux et aux vegetaux*.
- Candas, V., Libert, J. P., & Vogt, J. J. (1979). Influence of air velocity and heat acclimation on human skin wettedness and sweating efficiency. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 47(6), 1194-1200.
- Cannon, W. B. (1929). Pharmacological Injections and Physiological Inferences. *Science*, 70(1821), 500-501. doi:10.1126/science.70.1821.500-a
- Carrillo, A. E., & Flouris, A. D. (2011). Caloric restriction and longevity: effects of reduced body temperature. *Ageing Res Rev*, 10(1), 153-162. doi:10.1016/j.arr.2010.10.001
- Drinkwater, B. L., Kupprat, I. C., Denton, J. E., & Horvath, S. M. (1977). Heat tolerance of female distance runners. *Ann N Y Acad Sci*, 301, 777-792.
- Dubois, E. F. (1936). *Basal metabolism in health and disease* (3rd ed.). Philadelphia: Lea and Febiger.
- Duchen, M. R. (2004). Mitochondria in health and disease: perspectives on a new mitochondrial biology. *Mol Aspects Med*, 25(4), 365-451. doi:10.1016/j.mam.2004.03.001
- Dufour, A., & Candas, V. (2007). Ageing and thermal responses during passive heat exposure: sweating and sensory aspects. *Eur J Appl Physiol*, 100(1), 19-26. doi:10.1007/s00421-007-0396-9
- Edwards, R. H., Hill, D. K., & Jones, D. A. (1975). Heat production and chemical changes during isometric contractions of the human quadriceps muscle. *J Physiol*, 251(2), 303-315.

- Elia, M., Ritz, P., & Stubbs, R. J. (2000). Total energy expenditure in the elderly. *Eur J Clin Nutr*, 54 Suppl 3, S92-103.
- Falk, B., Bar-Or, O., Smolander, J., & Frost, G. (1994). Response to rest and exercise in the cold: effects of age and aerobic fitness. *J Appl Physiol* (1985), 76(1), 72-78.
- Fiala, D. (1998). *Dynamic simulation of human heat transfer and thermal comfort*. University Leicester, UK.
- Florez-Duquet, M., & McDonald, R. B. (1998). Cold-induced thermoregulation and biological aging. *Physiol Rev*, 78(2), 339-358.
- Flouris, A. D. (2011). Functional architecture of behavioural thermoregulation. *Eur J Appl Physiol*, 111(1), 1-8. doi:10.1007/s00421-010-1602-8
- Flouris, A. D. (2015). Playing football in a hot environment: effects on performance and recommendations for coaches. *Inquiries in Sport & Physical Education*, 13(1), 17-25.
- Flouris, A. D., Dinas, P. C., Valente, A., Andrade, C. M., Kawashita, N. H., & Sakellariou, P. (2017). Exercise-induced effects on UCP1 expression in classical brown adipose tissue: a systematic review. *Horm Mol Biol Clin Investig*. doi:10.1515/hmbci-2016-0048
- Flouris, A. D., & Piantoni, C. (2015). Links between thermoregulation and aging in endotherms and ectotherms. *Temperature (Austin)*, 2(1), 73-85. doi:10.4161/23328940.2014.989793
- Flouris, A. D., & Schlader, Z. J. (2015). Human behavioral thermoregulation during exercise in the heat. *Scand J Med Sci Sports*, 25 Suppl 1, 52-64. doi:10.1111/sms.12349
- Flouris, A. D., Spiropoulos, Y., Sakellariou, G. J., & Koutedakis, Y. (2009). Effect of seasonal programming on fetal development and longevity: links with environmental temperature. *Am J Hum Biol*, 21(2), 214-216. doi:10.1002/ajhb.20818
- Gagge, A., & Gonzalez, R. (1996). *Mechanisms of heat exchange* (Vol. 1).
- Gagnon, D., & Kenny, G. P. (2012). Sex differences in thermoeffector responses during exercise at fixed requirements for heat loss. *J Appl Physiol* (1985), 113(5), 746-757. doi:10.1152/jappphysiol.00637.2012
- Goglia, F. (2005). Biological effects of 3,5-diiodothyronine (T(2)). *Biochemistry (Mosc)*, 70(2), 164-172.
- Goglia, F., Moreno, M., & Lanni, A. (1999). Action of thyroid hormones at the cellular level: the mitochondrial target. *FEBS Lett*, 452(3), 115-120.
- Gonzalez-Alonso, J. (2012). Human thermoregulation and the cardiovascular system. *Exp Physiol*, 97(3), 340-346. doi:10.1113/expphysiol.2011.058701
- Gonzalez-Alonso, J., Quistorff, B., Krstrup, P., Bangsbo, J., & Saltin, B. (2000). Heat production in human skeletal muscle at the onset of intense dynamic exercise. *J Physiol*, 524 Pt 2, 603-615.
- Havenith, G., Coenen, J. M., Kistemaker, L., & Kenney, W. L. (1998). Relevance of individual characteristics for human heat stress response is dependent on exercise intensity and climate type. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 77(3), 231-241.
- Havenith, G., Luttikholt, V. G., & Vrijlkotte, T. G. (1995). The relative influence of body characteristics on humid heat stress response. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 70(3), 270-279.
- Henshel, A. (1967). Obesity as an occupational hazard. *Can J Public Health*(58), 491.
- Herman, R. M., Brower, J. B., Stoddard, D. G., Casano, A. R., Targovnik, J. H., Herman, J. H., & Tearse, P. (2007). Prevalence of somatic small fiber neuropathy in obesity. *Int J Obes (Lond)*, 31(2), 226-235. doi:10.1038/sj.ijo.0803418
- Hirai, A., Tanabe, M., & Shido, O. (1991). Enhancement of finger blood flow response of postprandial human subjects to the increase in body temperature during exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 62(3), 221-227.
- Holowatz, L. A., Thompson-Torgerson, C., & Kenney, W. L. (2010). Aging and the control of human skin blood flow. *Front Biosci (Landmark Ed)*, 15, 718-739.
- Hulbert, A. J. (2000). Thyroid hormones and their effects: a new perspective. *Biol Rev Camb Philos Soc*, 75(4), 519-631.
- ISO. (2004). *Ergonomics of the thermal environment. Determination of metabolic heat production*. Geneva.
- Jansky, L. (1995). Humoral thermogenesis and its role in maintaining energy balance. *Physiol Rev*, 75(2), 237-259.

- Kenney, W. L. (1985). A review of comparative responses of men and women to heat stress. *Environ Res*, 37(1), 1-11.
- Kenney, W. L., & Fowler, S. R. (1988). Methylcholine-activated eccrine sweat gland density and output as a function of age. *J Appl Physiol* (1985), 65(3), 1082-1086.
- Kenny, G. P., & Flouris, A. D. (2014). *The human thermoregulatory system and its response to thermal stress*.
- Kenny, G. P., & Jay, O. (2013). Thermometry, calorimetry, and mean body temperature during heat stress. *Compr Physiol*, 3(4), 1689-1719. doi:10.1002/cphy.c130011
- Kinder, E. (1927). A study of the nest-building activity of the albino rat. *J Exp Zool* (47), 117-161.
- Krauchi, K., & Wirz-Justice, A. (1994). Circadian rhythm of heat production, heart rate, and skin and core temperature under unmasking conditions in men. *Am J Physiol*, 267(3 Pt 2), R819-829.
- Krustrup, P., Ferguson, R. A., Kjaer, M., & Bangsbo, J. (2003). ATP and heat production in human skeletal muscle during dynamic exercise: higher efficiency of anaerobic than aerobic ATP resynthesis. *J Physiol*, 549(Pt 1), 255-269. doi:10.1113/jphysiol.2002.035089
- Krustrup, P., Gonzalez-Alonso, J., Quistorff, B., & Bangsbo, J. (2001). Muscle heat production and anaerobic energy turnover during repeated intense dynamic exercise in humans. *J Physiol*, 536(Pt 3), 947-956.
- Lanni, A., Moreno, M., Lombardi, A., de Lange, P., & Goglia, F. (2001). Control of energy metabolism by iodothyronines. *J Endocrinol Invest*, 24(11), 897-913. doi:10.1007/BF03343949
- Lanza, D., & Vegetti, M. (1996). *Opere Biologiche di Aristotele* (2nd ed.). Torino: UTET.
- Laties, V. G., & Weiss, B. (1959). Thyroid state and working for heat in the cold. *Am J Physiol*, 197, 1028-1034.
- Laties, V. G., & Weiss, B. (1960). Behavior in the cold after acclimatization. *Science*, 131(3417), 1891-1892.
- Lee, T. F., & Wang, L. C. (1985). Improving cold tolerance in elderly rats by aminophylline. *Life Sci*, 36(21), 2025-2032.
- Lewis, S., Heitkemper, M. M., Dirksen, S. R., Bucher, L., & O'Brien, P. G. (2007). *Medical-surgical nursing* (7th ed.).
- McArdle, W., Katch, F., & Katch, V. (2001). *Φυσιολογία της Άσκησης - Τόμος I*
- McDonald, R. B., & Horwitz, B. A. (1999). Brown adipose tissue thermogenesis during aging and senescence. *J Bioenerg Biomembr*, 31(5), 507-516.
- Miles, C. W., Wong, N. P., Rumpler, W. V., & Conway, J. (1993). Effect of circadian variation in energy expenditure, within-subject variation and weight reduction on thermic effect of food. *Eur J Clin Nutr*, 47(4), 274-284.
- Minson, C. T., Wladkowski, S. L., Cardell, A. F., Pawelczyk, J. A., & Kenney, W. L. (1998). Age alters the cardiovascular response to direct passive heating. *J Appl Physiol* (1985), 84(4), 1323-1332.
- Mora-Rodriguez, R. (2012). Influence of aerobic fitness on thermoregulation during exercise in the heat. *Exerc Sport Sci Rev*, 40(2), 79-87. doi:10.1097/JES.0b013e318246ee56
- Morimoto, T., Slabochova, Z., Naman, R. K., & Sargent, F., 2nd. (1967). Sex differences in physiological reactions to thermal stress. *J Appl Physiol*, 22(3), 526-532.
- Nagashima, K. (2006). Central mechanisms for thermoregulation in a hot environment. *Ind Health*, 44(3), 359-367.
- Parsons, K. C. (2003). *Human Thermal Environments: The Effects of Hot, Moderate, and Cold Environments on Human Health, Comfort, and Performance* (I. T. Francis Ed. 2nd ed.). London.
- Poehlman, E. T. (1993). Regulation of energy expenditure in aging humans. *J Am Geriatr Soc*, 41(5), 552-559.
- Poehlman, E. T., Melby, C. L., & Badylak, S. F. (1991). Relation of age and physical exercise status on metabolic rate in younger and older healthy men. *J Gerontol*, 46(2), B54-58.
- Raichle, M. E. (2001). Cognitive neuroscience. Bold insights. *Nature*, 412(6843), 128-130. doi:10.1038/35084300
- Riggs, A. J., Millecchia, R. J., & Riggs, J. E. (2004). The contributions of Lavoisier, Carnot, and Mayer to understanding heat illness. *Aviat Space Environ Med*, 75(10), 916-917.

- Sakellariou, P., Valente, A., Carrillo, A. E., Metsios, G. S., Nadolnik, L., Jamurtas, A. Z., . . . Flouris, A. D. (2016). Chronic l-menthol-induced browning of white adipose tissue hypothesis: A putative therapeutic regime for combating obesity and improving metabolic health. *Med Hypotheses*, 93, 21-26. doi:10.1016/j.mehy.2016.05.006
- Sawka, M. N., & Wenger, C. B. (1988). *Physiological responses to acute exercise-heat stress*.
- Sawka, M. N., Wenger, C. B., & Pandolf, K. B. (1996). Thermoregulatory responses to acute exercise-heat stress and heat acclimation. In M. Fregly & C. Blatteis (Eds.), *Handbook of Physiology : Environmental Physiology*. New York, NY: Oxford University Press.
- Silva, J. E. (2006). Thermogenic mechanisms and their hormonal regulation. *Physiol Rev*, 86(2), 435-464. doi:10.1152/physrev.00009.2005
- Soboll, S. (1993). Thyroid hormone action on mitochondrial energy transfer. *Biochim Biophys Acta*, 1144(1), 1-16.
- Talan, M. I., Tatelman, H. M., & Engel, B. T. (1991). Cold tolerance and metabolic heat production in male C57BL/6J mice at different times of day. *Physiol Behav*, 50(3), 613-616.
- Tataranni, P. A., Larson, D. E., Snitker, S., & Ravussin, E. (1995). Thermic effect of food in humans: methods and results from use of a respiratory chamber. *Am J Clin Nutr*, 61(5), 1013-1019.
- Valente, A., Jamurtas, A. Z., Koutedakis, Y., & Flouris, A. D. (2015). Molecular pathways linking non-shivering thermogenesis and obesity: focusing on brown adipose tissue development. *Biol Rev Camb Philos Soc*, 90(1), 77-88. doi:10.1111/brv.12099
- Van Someren, E. J., Raymann, R. J., Scherder, E. J., Daanen, H. A., & Swaab, D. F. (2002). Circadian and age-related modulation of thermoreception and temperature regulation: mechanisms and functional implications. *Ageing Res Rev*, 1(4), 721-778.
- Vander, J. A., Sherman, J., & Luciano, D. (2001). *HUMAN PHYSIOLOGY - THE MECANISMS OF BODY FUNCTION* (8th ed.): McGraw-Hill.
- Vroman, N. B., Buskirk, E. R., & Hodgson, J. L. (1983). Cardiac output and skin blood flow in lean and obese individuals during exercise in the heat. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 55(1 Pt 1), 69-74.
- Weinman, K. P., Slabochova, Z., Bernauer, E. M., Morimoto, T., & Sargent, F., 2nd. (1967). Reactions of men and women to repeated exposure to humid heat. *J Appl Physiol*, 22(3), 533-538.
- Weiss, B. (1957). Thermal behavior of the sub-nourished and pantothenic-acid-deprived rat. *J Comp Physiol Psychol*, 50(5), 481-485.
- Weiss, B., & Laties, V. G. (1960). Magnitude of reinforcement as a variable in thermoregulatory behavior. *J Comp Physiol Psychol*, 53, 603-608.
- Weiss, B., & Laties, V. G. (1961). Behavioral thermoregulation. *Science*, 133(3461), 1338-1344.
- Wenger, C. B. (1997). *Human adaptation to hot environments*.
- Wenger, C. B. (2002). Human adaptation to hot environments. In C. B. Wenger (Ed.), *Medical aspects of harsh environments* (Vol. 1, pp. 51-86).
- Wenger, C. B., Stephenson, L. A., & Durkin, M. A. (1986). Effect of nerve block on response of forearm blood flow to local temperature. *J Appl Physiol* (1985), 61(1), 227-232.
- Whipp, B. J., & Wasserman, K. (1969). Efficiency of muscular work. *J Appl Physiol*, 26(5), 644-648.
- Witt, K. A., Snook, J. T., O'Dorisio, T. M., Zivony, D., & Malarkey, W. B. (1993). Exercise training and dietary carbohydrate: effects on selected hormones and the thermic effect of feeding. *Int J Sport Nutr*, 3(3), 272-289.
- Wyndham, C. H., Morrison, J. F., & Williams, C. G. (1965). Heat reactions of male and female Caucasians. *J Appl Physiol*, 20(3), 357-364.
- Zwiauer, K. F., Mueller, T., & Widhalm, K. (1992). Effect of daytime on resting energy expenditure and thermic effect of food in obese adolescents. *J Am Coll Nutr*, 11(3), 267-271.
- Русанов, В. И. (1981). *Комплексные метеорологические показатели и методы оценки климата для медицинских целей: Учебное пособие.*

Environmental and Psychophysical Heat Stress in Adolescent Tennis Athletes

Maria Misailidi, Konstantinos Mantzios, Christos Papakostadinou, Leonidas G. Ioannou, and Andreas D. Flouris

Purpose: We investigated the environmental conditions in which all outdoor International Tennis Federation Junior tournaments (athlete ages: <18 y) were held during 2010-2019. Thereafter, we performed a crossover trial (ClinicalTrials.gov: NCT04197375) assessing the efficacy of head-neck precooling for mitigating the heat-induced psychophysical and performance impacts on junior athletes during tennis match play. **Methods:** International Tennis Federation Junior tournaments information was collected. We identified meteorological data from nearby (13.6 [20.3] km) weather stations for 3056 (76%) tournaments. **Results:** Overall, 30.1% of tournaments were held in hot (25°C-30°C wet bulb globe temperature [WBGT]; 25.9%), very hot (30°C-35°C WBGT; 4.1%), or extremely hot (>35°C WBGT; 0.1%) conditions. Thereafter, 8 acclimatized male junior tennis athletes (age = 16.0 [0.9] y; height = 1.82 [0.04] m; weight = 71.3 [11.1] kg) were evaluated during 2 matches: one with head-neck precooling (27.7°C [2.2°C] WBGT) and one without (27.9°C [1.8°C] WBGT). Head-neck precooling reduced athletes' core temperature from 36.9°C (0.2°C) to 36.4°C (0.2°C) ($P = .001$; $d = 2.4$), an effect reduced by warm-up. Head-neck precooling reduced skin temperature (by 0.3°C [1.3°C]) for the majority of the match and led to improved ($P < .05$) perceived exertion (by 13%), thermal comfort (by 14%), and thermal sensation (by 15%). Muscle temperature, heart rate, body weight, and urine specific gravity remained unaffected ($P \geq .05$; $d < 0.2$). Small or moderate improvements were observed in most performance parameters assessed ($d = 0.20$ -0.79). **Conclusions:** Thirty percent of the last decade's International Tennis Federation Junior tournaments were held in hot, very hot, or extremely hot conditions (25°C-36°C WBGT). In such conditions, head-neck precooling may somewhat lessen the physiological and perceptual heat strain and lead to small-to-moderate improvements in the match-play performance of adolescent athletes.

Keywords: precooling, junior tennis, core temperature, WBGT, International Tennis Federation

Precooling strategies aim to reduce body temperature before the initiation of exercise, thereby increasing the time to reach a hyperthermic state. Several precooling methods have been proposed, aiming for either systemic or local effects. Whole-body systemic and muscle precooling may be achieved through cold-water immersion, upper body systemic precooling via a modified suit/vest, local cooling via ice packs, or other recently developed techniques such as head and neck cooling.^{1,2} Although precooling strategies did not change core body temperature or heart rate in some studies,³⁻⁵ recent systematic reviews and meta-analyses have clearly shown the benefits of precooling in laboratory settings for improving exercise safety, reducing perceived thermal stress, and ultimately, improving sports performance.^{2,6} These analyses provide support for the adoption of precooling modalities in field (competition) settings, but actual evidence on the effectiveness of practical precooling strategies in such settings remains scarce due to practical and logistical challenges.^{1,2}

The limited knowledge on precooling strategies is an important knowledge gap, especially for sports such as tennis that are often played in warm or hot conditions. Heat illness occurs in 2.8 men and 1.4 women per 1000 adult tennis matches.⁷ Although such statistics are unavailable for junior (<18 y) tennis players, heat-related concerns are higher for these adolescent athletes as some,⁸

but not all,⁵ studies suggest that their thermoregulatory system may not be fully mature. However, the environmental conditions in which tournaments are held have not been evaluated, and strategies to support junior athletes for playing tennis in hot conditions remain unexplored. We investigated the environmental conditions in which all International Tennis Federation (ITF) Junior tournaments were held during the last decade (2010-2019). Thereafter, we performed a crossover trial (ClinicalTrials.gov: NCT04197375) assessing the efficacy of head-neck precooling for mitigating heat-induced psychophysical and performance impacts on junior athletes during tennis match play in the heat.

Methods

Tournament and Meteorological Information

The dates and locations of all outdoor ITF Junior tournaments were collected from the official website. Meteorological data (air temperature, relative humidity, wind speed, and cloud cover) from the closest weather station to each tournament were collected from the National Oceanic and Atmospheric Administration database for the calculation of wet bulb globe temperature (WBGT) and are made freely available.¹⁰

Participants

The study was approved by the University of Thessaly, School of Exercise Science Ethics Review Board [protocol no. 735] in accordance with the Declaration of Helsinki. The minimum

Misailidi, Mantzios, Ioannou, and Flouris are with the FAME Laboratory, Dept of Exercise Science, University of Thessaly, Trikala, Greece. Papakostadinou is with the Peloponnese Association of Tennis Clubs, Patras, Greece. Flouris (andreasflouris@gmail.com) is corresponding author.

required sample size was determined using G*Power (version 3.1.9.2)¹¹ based on the previously reported¹² change in rectal temperature observed at the end of the second set during match-play activity in a hot/humid environment. In that study, the change in rectal temperature during a control match was 2.0°C (0.3°C). The same parameter was 1.6°C (0.2°C) during a match wherein an ice-filled damp towel around the neck and a cold damp towel on the head and thighs were applied during breaks. Using these data, an effect size (d) of 1.45 for the differences was expected. Based on the study protocol and assuming a significance level of .05 and .95 power, 7 participants were required to detect between- or within-trial differences of a similar magnitude. To confidently detect a reasonable departure from the null hypothesis, we recruited a total of 8 healthy (nonsmoking, free of any known cardiovascular, respiratory, or metabolic diseases) male junior tennis athletes following written informed consent from adolescents and their parents. The participants who volunteered for the study (age = 16.0 [0.9] y; height = 1.82 [0.04] m; weight = 71.3 [11.1] kg; 1.9 [0.1] m²) were acclimatized to the local environment (local players continuously living in the area for the last 6 mo at minimum), trained ≥ 5 times per week, and had ≥ 3 years of experience in national-/international-level tournaments.

Experimental Design

Prior to each measurement, participants were asked to refrain from exercise or caffeine and nonsteroidal anti-inflammatory drugs for >24 hours and were instructed to consume approximately 200 to 500 mL of water approximately 2 hours before their arrival. All participants were familiarized with the experimental procedures during a familiarization session. In this session, each participant was familiarized with the precooling method as well as with the data recording systems and all other procedures used in the study. Upon arrival for each experimental trial, participants provided a urine sample to confirm euhydration (urine specific gravity = ≤ 1.02). Thereafter, participants donned a t-shirt, shorts, socks, and sports shoes. Baseline data (heart rate and core, muscle, and skin temperatures) were recorded for 10 minutes in a room with a thermoneutral temperature of approximately 23°C.

Participants were divided into 4 pairs matched for skill and experience. Each athlete played 2 tennis matches against their pair in a randomized counterbalanced order: one with head-neck precooling and one without. All matches were played on an outdoor hard court surface between 9:00 AM and 6:00 PM during September in the city of Patras, Greece (population = 315,000). To ensure recovery and eliminate the effects of circadian rhythm, matches for each athlete were separated by 2 to 4 days and started at the same time of the day. Matches were played in winning 2 sets and according to ITF rules, including 15 minutes of warm-up and free fluid consumption. Three new tennis balls were used for each set with the players retrieving balls between points.

Head-neck precooling included wearing a cooling cap (Welk-insined, Downers Grove, IL) before warm-up until core temperature dropped by 0.5°C from its baseline value. With the system set at "maximum cool" and a frozen ice pack (4°C) placed into the unit, participants had to wear the cooling cap for 45 minutes to reach the desired 0.5°C change.

Measurements

Environmental conditions were assessed with a WBGT meter (Kestrel 5400FW; Nielsen-Kellerman, Inc, Boothwyn, PA). An

RS800CX monitor (Polar Electro, Kempele, Finland) was used to assess heart rate. Core temperature was recorded using telemetric capsules (BodyCAP, Hérouville-Saint-Clair, France) ingested 3 hours before the start of each match. Heart rate and core temperature measurements were used to calculate the physiological strain index.¹³ Quadriceps muscle¹⁴ and mean skin (0.3 [chest] + 0.3 [arm] + 0.2 [thigh] + 0.2 [calf]) temperatures were measured using wireless iButton thermistors (DS1921H, Maxim/Dallas Semiconductor Corp, Dallas, TX). Thermal comfort and sensation¹⁵ as well as the rating of perceived exertion¹⁶ were recorded at baseline and after each set using standardized questionnaires. A refractometer was used to assess urine specific gravity (ATAGO, Tokyo, Japan).

Matches were filmed for retrospective notational analysis to derive the number of games won, the points won per set, the unforced errors, the aces, the double faults, and the percentage of first and second serve accuracy. The same data were used to assess the players' activity profile by assessing the rally duration, the resting time, and the effective playing time.

Statistical Analysis

Spearman correlation coefficient and a Wilcoxon signed-rank test were used to evaluate whether the WBGT values from the closest weather station reflected the WBGT values recorded on the court-side during the matches. Data were compared between trials using Cohen effect sizes (d) and paired t tests. Effect sizes <0.2 were considered trivial, 0.2 to 0.49 as small, 0.5 to 0.79 as medium, and >0.8 as large effect. Paired t tests were performed using SPSS (version 20; IBM Corp, Armonk, NY) with a level of significance set at $P < .05$. All data are expressed as mean (SD).

Results

The 2010-2019 ITF Juniors calendar included 4008 outdoor tournaments across 147 countries. We identified meteorological data¹⁰ from nearby (13.6 [20.3] km) weather stations for 3056 (76%) of these tournaments (Figure 1). Overall, 30.1% of tournaments were held in hot (25°C-30°C WBGT; 25.9%), very hot (30°C-35°C WBGT; 4.1%), or extremely hot (>35°C WBGT; 0.1%) conditions (Figure 1).

To mimic the conditions in which nearly one-third of all ITF Juniors tournaments were held (Figure 1), our crossover study was conducted in hot conditions (control trial = 27.9°C [1.8°C] WBGT; precooling trial = 27.7°C [2.2°C] WBGT; $P = .606$; $d = 0.1$). The closest weather station to the tennis courts was situated 33.1 km away, in Araxos (longitude = 21.42; latitude = 38.15; altitude = 11 m). This distance was larger than in 93% (2842 out of the 3056) of the ITF tournaments analyzed as described earlier. The WBGT data from the weather station (26.0°C [3.4°C]) were associated ($\rho = .55$; $P < .001$) with the WBGT values recorded on the court-side during the matches (27.2°C [2.5°C]). A statistically significant mean difference ($z = -3.36$; $P = .001$) in the 2 WBGT sets of data was observed, which was accompanied by a small effect size ($d = 0.42$).

Our crossover study showed that head-neck precooling reduced athletes' core temperature from 36.9°C (0.2°C) to 36.4°C (0.2°C) ($P = .001$; $d = 2.4$). This effect was reduced by warm-up so that the difference in core temperature was not as pronounced at the start of the first set and until the end of the game (Table 1). Head-neck precooling reduced skin temperature for the majority of the match and led to improved perceived exertion, thermal comfort, and thermal sensation (Table 1). Quadriceps

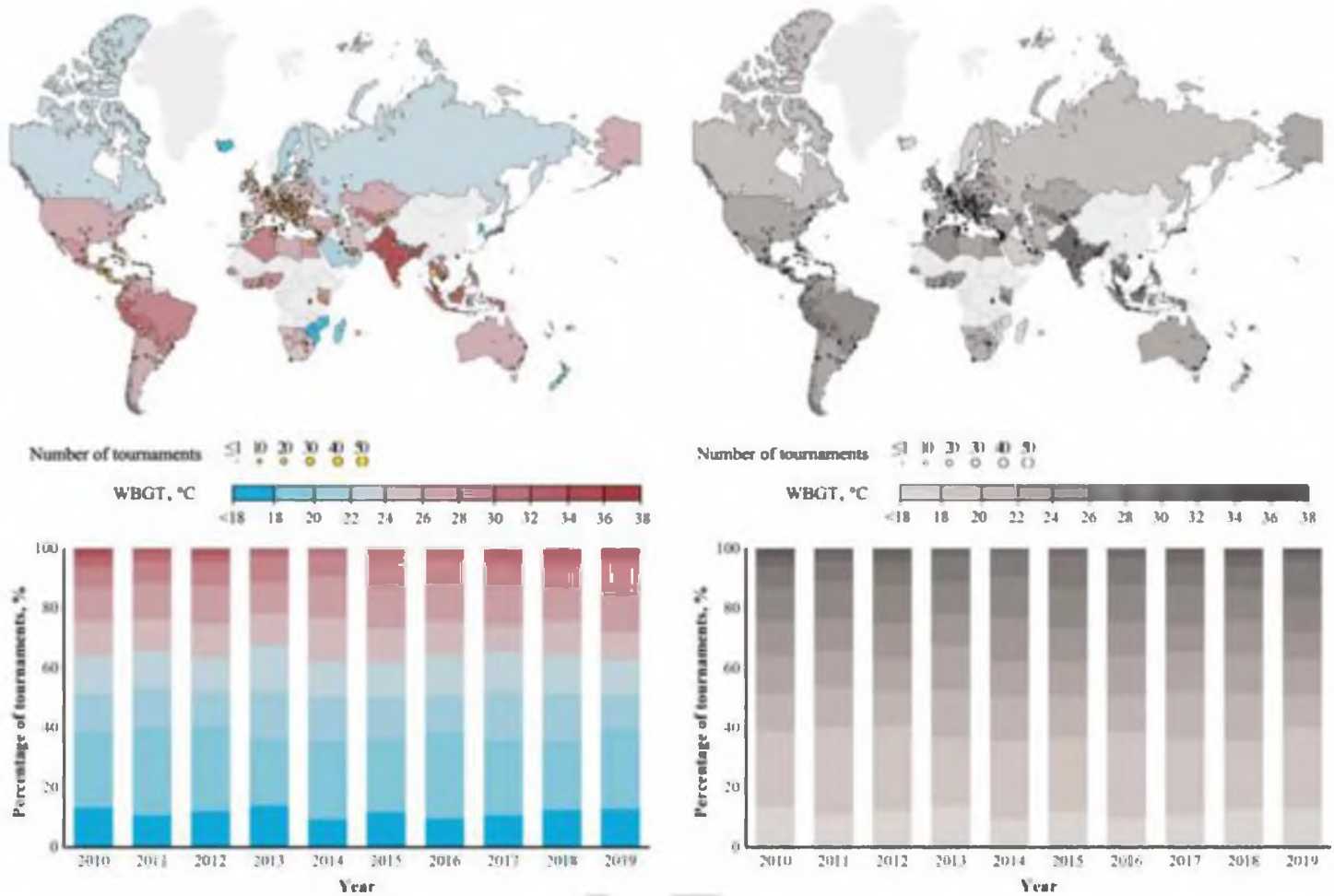


Figure 1 — Information on the 3056 International Tennis Federation tournaments analyzed in this study.¹⁰ Circles in the map illustrate the number of tournaments organized at different locations, and country colors indicate WBGT during the hottest tournament in each country. The stacked bar chart illustrates the frequency of tournaments held at different levels of WBGT during each year. WBGT indicates wet bulb globe temperature.

muscle temperature (difference = 0.35°C [1.39°C]), heart rate (difference = 3.69 [28.2] beats/min), the physiological strain index, body weight, and urine specific gravity remained unaffected ($P > .05$; $d < 0.2$). Small or moderate improvements were observed in most performance parameters assessed ($d = 0.20$ - 0.79 ; Table 1). This small-to-moderate improvement in match-play performance by head-neck precooling was not accompanied by changes in the players' activity profile (rally duration, resting time, and effective playing time; $P > .05$, $d < 0.2$).

Discussion

We found that one in three of the last decade's outdoor ITF Junior tournaments was held in hot, very hot, or extremely hot conditions (25°C-36°C WBGT). The American College of Sports Medicine recommends canceling competitions at WBGT $\geq 27.9^\circ\text{C}$ (13.5% of tournaments in our data set) due to a high risk for exertional heat illness.¹⁷ Junior athletes in our crossover study experienced increased hyperthermia (sustained core temperature $>38^\circ\text{C}$) during match play in hot conditions at levels previously reported for adult athletes.⁸ As adult tennis players may develop extreme hyperthermia during real-life tennis in the heat,⁸ our results suggest that this

is also likely for junior athletes, especially given the increased levels of heat often occurring in ITF Junior tournaments.

The present crossover study is the first one to test the efficacy of precooling in adolescent athletes during match play. We found that the head-neck precooling strategy tested reduced to some extent the physiological heat strain and improved thermal comfort, thermal sensation, and perceived exercise as well as led to small-to-moderate improvements in match-play performance. Interestingly, this performance improvement was not accompanied by changes in the players' activity profile. Based on recently published data,¹⁸ this suggests that precooling influenced players to attempt to dominate the game by an active play strategy characterized by powerful shots across the full court aiming to win points or force the opponent to errors.

The beneficial effects of precooling on thermal comfort, thermal sensation, and perceived exertion have been previously reported in adult tennis athletes^{3,19} and may provide athletes an advantage to perform at a higher intensity as well as tolerate a higher thermal load. Nevertheless, it is important to note that our crossover study is limited by a relatively small sample size, the inclusion of only males, and the inability to control for a placebo effect. Previous results on the effectiveness of precooling were controversial.^{4,19} In tennis, a former study reported no effect of precooling on performance and

Table 1 Physiological, Perceptual, and Performance Results (Mean [SD]) of Junior Athletes at Different Time Points of the Tennis Match During Each Trial

Parameter	Trial	Set 1		Set 2	
		Start	End	Start	End
Core temperature, °C	Control	37.7 (0.2)	38.3 (0.5)	38.1 (0.5)	38.2 (0.5)
	Precool	37.4 (0.4) ^c	38.4 (0.7)	37.8 (0.9) ^a	38.5 (0.6) ^a
Skin temperature, °C	Control	34.3 (0.4)	34.1 (0.6)	34.5 (0.4)	34.4 (0.5)
	Precool	34.4 (0.4) ^a	34.1 (0.5)	33.9 (0.5) ^c	33.6 (0.6) ^c
Thermal comfort	Control	1.9 (1.1)	3.4 (0.9)	-	3.7 (1.2)
	Precool	1.6 (0.7) ^a	2.4 (1.2) ^{*c}	-	2.9 (1.2) ^{*b}
Thermal sensation	Control	7.1 (1.0)	7.4 (1.1)	-	7.6 (0.9)
	Precool	5.7 (1.3) ^{*c}	6.4 (1.1) ^{*c}	-	6.6 (1.2) ^{*c}
Perceived exertion	Control	8.6 (2.5)	13.0 (2.3)	-	16.3 (1.4)
	Precool	8.0 (2.0) ^a	12.8 (1.7)	-	15.4 (1.8) ^b
Games won	Control		3.7 (2.3)		3.5 (2.5)
	Precool		3.7 (2.4)		4.0 (2.6)
Points won per set	Control		28.2 (12.9)		23.1 (12.1)
	Precool		30.8 (9.1) ^a		27.2 (16.5) ^a
Unforced errors	Control		8.7 (6.3)		7.1 (5.1)
	Precool		8.0 (3.1)		6.7 (4.9)
Aces	Control		0.5 (0.7)		0.3 (0.5)
	Precool		1.0 (1.1) ^b		0.5 (0.9) ^a
Double faults	Control		1.0 (2.1)		0.9 (1.8)
	Precool		1.1 (1.8)		0.3 (0.4) ^a
First serve accuracy, %	Control		53.3 (12.9)		57.8 (11.8)
	Precool		56.2 (9.4) ^a		53.3 (9.2) ^a
Second serve accuracy, %	Control		73.9 (9.7)		67.5 (22.5)
	Precool		79.1 (5.4) ^b		75.3 (11.6) ^a

Note: Thermal comfort was assessed using a validated scale with 1 rated as "comfortable" and 5 rated as "extremely uncomfortable." Thermal sensation was assessed using a validated scale with 1 rated as "extremely cold" and 10 rated as "extremely hot." Perceived exertion was assessed using a validated scale with 6 rated as "no exertion at all" and 20 rated as "maximal exertion."

Effect size of the difference against "control": ^asmall (0.20-0.49), ^bmedium (0.50-0.79), ^clarge (≥ 0.8).

^{*}Significantly different from "control" at $P < .05$.

core temperature during four simulated matches (2 h 40 min) against a ball machine on an indoor hard court in thermoneutral conditions.⁴ This was supported by a subsequent study⁷ reporting no significant effect of precooling on performance and physiological and perceptual load during on-court tennis training in the heat.

It is important to note that the environmental data for the ITF Junior tournaments of the last decade were not measured in court. Therefore, the true conditions during the tournaments may have been different. Our cross-validity study showed that the WBGT values from the closest weather station generally reflected the WBGT values recorded on the courtside during the matches. However, the weather station WBGT values were 1.2°C lower. Although this difference is unlikely to have a strong physiological impact, it may suggest that a larger percentage of tennis tournaments took place in hot environments. Although the differences observed in our study may reflect the very large distance between the weather station and the tested courts in this particular case, it is logical to anticipate some degree of variability in all cases. This is because weather stations are located in areas so as to be as unaffected by microclimate and the natural surroundings as possible.²⁰ A recent study in Brazil using weather station data to calculate WBGT using methods similar to those followed in our study showed no significant deviation for distances as large as

80 km.²¹ On the whole, given the large number of tournaments covered across the world as well as the limited distance between the weather station and the courts in most cases, this suggests that our approach is robust and that the findings reflect the true conditions.

Practical Applications

The high frequency of increased heat levels observed during ITF Junior tournaments confirms previous suggestions that athletes, coaches, organizers, and officials must be very aware of the health and performance implications of exercising at maximal intensities in a hot environment, particularly for adolescent athletes. Junior tennis tournaments must be organized in a way that mitigates risks to the health and performance of young athletes, and athletes, coaches, and officials must be educated about these risks. Interventions such as the precooling strategy tested in the present study can contribute to mitigating the decline in performance and the associated risks for hyperthermia for these athletes. Combined with recent analyses of tennis match play, our results show that precooling helps adolescent players to adopt a more active/dominant play strategy instead of trying to reduce errors by a passive play from the baseline.

About one in three of the last decade's outdoor ITF Junior tournaments was held in hot, very hot, or extremely hot conditions (25°C-36°C WBGT). In such conditions, junior athletes experience increased hyperthermia during match play, and a head-neck precooling strategy may somewhat lessen the physiological and perceptual heat strain that they experience and may lead to small-to-moderate improvements in performance.

Acknowledgments

No external funding was received for this study. The authors have indicated they have no financial relationships relevant to this article to disclose. The authors have indicated they have no potential conflicts of interest to disclose. All meteorological data (ClinicalTrials.gov: NCT04197375) used for this analysis have been uploaded on an online repository and are freely available; deidentified individual participant data will not be made available. Concept and design: A.D.F., M.M., L.G.I., and K.M. Acquisition, analysis, or interpretation of data: All authors. Drafting of the manuscript: A.D.F. and M.M. Critical revision of the manuscript for important intellectual content: All authors. Statistical analysis: A.D.F., M.M., L.G.I., and K.M. Administrative, technical, or material support: A.D.F. and M.M. Supervision: A.D.F.

References

1. Quod MJ, Martin DT, Laursen PB. Cooling athletes before competition in the heat: comparison of techniques and practical considerations. *Rev Sports Med.* 2006;36(8):671-682. PubMed ID: [16869709](#) doi:[10.2165/00007256-200636080-00004](#)
2. Ross M, Abbiss C, Laursen P, Martin D, Burke L. Precooling methods and their effects on athletic performance: a systematic review and practical applications. *Sports Med.* 2013;43(3):207-225. PubMed ID: [23329610](#) doi:[10.1007/s40279-012-0014-9](#)
3. Duffield R, Bird SP, Ballard RJ. Field-based pre-cooling for on-court tennis conditioning training in the heat. *J Sports Sci Med.* 2011; 10(2):376-384. PubMed ID: [24149886](#)
4. Hornery DJ, Farrow D, Mujika I, Young WB. Caffeine, carbohydrate, and cooling use during prolonged simulated tennis. *Comparative Study Research Support, Non-U.S. Gov't. Int J Sports Physiol Perform.* 2007;2(4):423-438. PubMed ID: [19171960](#) doi:[10.1123/ijssp.2.4.423](#)
5. Wiewelhove T, Conrads F, Rawlins S, et al. Effects of in-play cooling during simulated tennis match play in the heat on performance, physiological, and perceptual measures [published online ahead of print July 20, 2020]. *J Sports Med Phys Fitness.* PubMed ID: [32693563](#) doi:[10.23736/S0022-4707.20.11243-X](#)
6. Alhadad SB, Tan PMS, Lee JKW. Efficacy of heat mitigation strategies on core temperature and endurance exercise: a meta-analysis. *Front Physiol.* 2019;10:71. PubMed ID: [30842739](#) doi:[10.3389/fphys.2019.00071](#)
7. Sell K, Hainline B, Yorio M, Kovacs M. Illness data from the US Open Tennis Championships from 1994 to 2009. *Clin J Sport Med.* 2013;23(1):25-32. PubMed ID: [23011554](#) doi:[10.1097/JSM.0b013e31826b7e52](#)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Εγκρίσεις Ηθικής



Εσωτερική Επιτροπή
Δεοντολογίας

Τρίκαλα:2/5/2012
Αριθμ.Πρω555

Αίτηση Εξέτασης της πρότασης για διεξαγωγή Έρευνας με τίτλο:

Διερεύνηση της σχέσης ανάμεσα στο επίπεδο φυσικής κατάστασης και το βαθμό εφίδρωσης κατά την άσκηση στις διάφορες ηλικιακές κατηγορίες.

Επιστημονικώς υπεύθυνος – επιβλέπων: Δρ. Ανδρέας Φλουρής

Ιδιότητα: Ερευνητής

Ίδρυμα: ΚΕΤΕΑΘ

Τμήμα: ΙΣΑΑ

Επιστημονικώς υπεύθυνος – επιβλέπων: Κουτεντάκης Ιωάννης

Ιδιότητα: Καθηγητής

Ίδρυμα: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τμήμα: ΤΕΦΑΑ

Κύριος φοιτητής-τρια: Μισαηλίδη Μαρία

Πρόγραμμα Σπουδών: Διδακτορικός κύκλος σπουδών «Άσκηση και Υγεία»

Ίδρυμα: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τμήμα: ΤΕΦΑΑ

Η προτεινόμενη έρευνα θα είναι:

Ερευνητικό πρόγραμμα Διπλωματική εργασία Μεταπτυχιακή έρευνα Διδακτορική Έρευνα **X**
Ανεξάρτητη έρευνα

Τηλ. επικοινωνίας: 6974638972

Email επικοινωνίας: mariamisailidi@hotmail.com

Η Εσωτερική Επιτροπή Δεοντολογίας του Τ.Ε.Φ.Α.Α., Πανεπιστημίου Θεσσαλίας μετά την υπ. Αριθμ. 3-2 /25-4-2012 συνεδρίασή της εγκρίνει τη διεξαγωγή της προτεινόμενης έρευνας.

Ο Πρόεδρος της
Εσωτερικής Επιτροπής
Δεοντολογίας – ΤΕΦΑΑ

Τσιόκανος Αθανάσιος
Αναπληρωτής Καθηγητής



Εσωτερική Επιτροπή Δεοντολογίας

Τρίκαλα: 6/4/2016
Αριθμ. Πρωτ:1096

Βεβαίωση έγκρισης της πρότασης για διεξαγωγή Έρευνας με τίτλο:

Επίδραση σωματικού λίπους και επιφάνειας σώματος στις θερμορυθμιστικές και αντιληπτικές ανταποκρίσεις εφήβων κατά την έκθεση σε θερμικό φορτίο.

Επιστημονικώς υπεύθυνος – επιβλέπων: Δρ. Ανδρέας Φλουρής

Ιδιότητα: Ερευνητής

Ίδρυμα: ΚΕΤΕΑΘ

Τμήμα: ΙΣΑΑ

Επιστημονικώς υπεύθυνος – επιβλέπων: Κουτεντάκης Ιωάννης

Ιδιότητα: Καθηγητής

Ίδρυμα: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τμήμα: ΤΕΦΑΑ

Κύριος φοιτητής-τρια: Μισαηλίδη Μαρία

Πρόγραμμα Σπουδών: Διδακτορικός κύκλος σπουδών «Άσκηση και Υγεία»

Ίδρυμα: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τμήμα: ΤΕΦΑΑ

Η προτεινόμενη έρευνα θα είναι:

Ερευνητικό πρόγραμμα Διπλωματική εργασία Μεταπτυχιακή έρευνα Διδακτορική Έρευνα **X**
Ανεξάρτητη έρευνα

Τηλ. επικοινωνίας: 6974638972

Email επικοινωνίας: mariamisailidi@hotmail.com

Η Εσωτερική Επιτροπή Δεοντολογίας του Τ.Ε.Φ.Α.Α., Πανεπιστημίου Θεσσαλίας μετά την υπ. Αριθμ. 3-1/6-4-2016 συνεδρίασή της εγκρίνει τη διεξαγωγή της προτεινόμενης έρευνας.

Ο Πρόεδρος της
Εσωτερικής Επιτροπής
Δεοντολογίας - ΤΕΦΑΑ

Τσιόκανος Αθανάσιος
Αναπληρωτής Καθηγητής



University of Thessaly
Department of Physical Education and Sport Science



Internal Ethics Committee

Trikala: 4/6/2013
Protocol Number.:735

Application for approval of research entitled: Effect of precooling on tennis performance under hot and humid conditions in adolescent competitive athletes

Scientist responsible – supervisor: Dr. Andreas D. Flouris and Prof. Yiannis Koutedakis

Main researcher – student: Maria Misailidi

Institution & Department: FAME Laboratory, Centre for Research and Technology Hellas, Department of Physical Education and Sport Science, University of Thessaly.

The proposed research relates to a:

Research grant Postgraduate thesis Undergraduate thesis Independent research

Contact phone: +30 2431 063 190

Contact email: aflouris@cereteth.gr

The Internal Ethics Committee (IEC) of the Department of PE and Sport Science (DPESS), University of Thessaly, examined the proposal in its 1-2/10-4-2013 meeting and approves the implementation of the proposed research.

The Chair of the IEC – DPESS

Athanasios Tsiokanos, PhD