



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ

ΤΟΜΕΑΣ ΑΘΛΗΤΙΚΟΙ ΔΡΟΜΟΙ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ (ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΛΗΨΗΣ ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΟΣ
ΚΑΦΕΙΝΗΣ ΣΤΗ ΔΟΚΙΜΑΣΙΑ ΟΡΙΣΜΕΝΟΥ ΧΡΟΝΟΥ**

Γραφάκος Ηρακλής

Επιβλέπων Καθηγητής: Βασίλης Πασχάλης

ΙΟΥΝΙΟΣ 2020

© Copyright

Όνοματεπώνυμο συγγραφέα

Σχολή Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού

Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Εθνικής Αντιστάσεως 41, 172 37, Δάφνη, Αθήνα

1.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΛΗΨΗΣ ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΟΣ ΚΑΦΕΪΝΗΣ ΣΤΗ ΔΟΚΙΜΑΣΙΑ ΟΡΙΣΜΕΝΟΥ ΧΡΟΝΟΥ

Περίληψη

Εισαγωγή: Είναι γνωστό ότι η καφεΐνη προκαλεί αύξηση της απελευθέρωσης κατεχολαμινών αυξάνοντας τη συμπαθητική δραστηριότητα του οργανισμού (Belletal. 1969). Είναι επίσης γνωστό ότι η καφεΐνη προκαλεί θερμογένεση και προάγει την οξειδωση των λιπιδίων (Hurseletal. 2013). Ωστόσο, οι επιδράσεις της καφεΐνης είναι παροδικές, με μέσο όρο 3-4 ώρες σε υγιείς ενήλικες (GonzalezdeMejiaandRamirez-Mares 2014). Οι πιθανές εργογόνες δράσεις της καφεΐνης έχουν τραβήξει το ενδιαφέρον τόσο των αθλητών όσο και του γενικού πληθυσμού. Σκοπός της έρευνας ήταν να μελετήσουμε την επίδραση της λήψης καφεΐνης στην απόδοση κατά τη διάρκεια δοκιμασία ποδηλάτησης ορισμένου χρόνου (timetrial).

Μέθοδος: Τέσσερις δοκιμαζόμενοι (ηλικία $23,5 \pm 3,0$ μάζα 75 ± 9 kg, ύψος 173 ± 5 cm, δείκτης μάζας σώματος $24,9 \pm 1,7$) πραγματοποίησαν δοκιμασία ποδηλάτησης (Monark, 894E, Vansbro) 10 λεπτών, με και χωρίς τη λήψη καφεΐνης με διπλά τυφλή λήψη του συμπληρώματος. Η λήψη καφεΐνης ήταν $0,003 \text{gr/kg}$ σωματικής μάζας. Κατά της δοκιμασίας ορισμένου χρόνου οι δοκιμαζόμενοι έπρεπε να παράγουν όσο το δυνατόν περισσότερο έργο, και να φτάσουν στην εξάντληση στο τέλος της δοκιμασίας.

Αποτελέσματα: Η απόδοση στην δοκιμασία ορισμένου χρόνου δεν επηρεάστηκε σημαντικά από τη λήψη συμπληρώματος καφεΐνης. Συγκεκριμένα οι δοκιμαζόμενοι κατά τη διάρκεια των 10 λεπτών ποδηλασίας μετά τη λήψη της καφεΐνης κάλυψαν απόσταση $7.025 \pm 1 \text{km}$ με μέσο όρο παραγωγής έργου 222 ± 18 W ενώ μετά τη λήψη εικονικού σκευάσματος οι δοκιμαζόμενοι κάλυψαν απόσταση $6,085 \pm 1,5 \text{km}$ με μέσο όρο παραγωγής έργου 215 ± 23 W.

Συζήτηση/Συμπεράσματα: Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι δεν υπάρχει επίδραση της καφεΐνης τόσο στην απόσταση που διανύθηκε όσο και στην παραγωγή έργου κατά τη διάρκεια δοκιμασίας ορισμένου χρόνου. Μεγαλύτερος αριθμός συμμετεχόντων καθώς και αξιολόγηση επιπλέον παραμέτρων της φυσικής απόδοσης θα μπορούσαν να δώσουν μια καλύτερη επίδραση της λήψης καφεΐνης ως συμπλήρωμα διατροφής στην απόδοση ορισμένου χρόνου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη	I
Πίνακας Περιεχομένων.....	ii
Κατάλογος Σχημάτων	iii
Κατάλογος Συμβόλων και Συντομογραφιών	iv
I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	σελ.6
1.1. Ορισμός και διατύπωση του προβλήματος	σελ.7
1.2. Σημασία της έρευνας	σελ.7
1.3. Οριοθετήσεις και περιορισμοί της έρευνας	σελ.7
II. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	σελ.7
2.1. Ιδιότητες της καφεΐνης	σελ.7
2.2 Τρόποι χορήγησης της καφεΐνης.....	σελ.8
2.3 Επίδραση της καφεΐνης στον οργανισμό.....	σελ.9
2.4 2.4Επίδραση της καφεΐνης στο κεντρικό νευρικό σύστημα.....	σελ.10
2.5 Δοκιμασία ποδηλασίας ορισμένου χρόνου (time trial).....	σελ.11
2.6 Καφεΐνη και δοκιμασία ορισμένου χρόνου.....	σελ.12
2.7 Προτεινόμενες εφαρμογές από τα αποτελέσματα της ανασκόπησης.....	σελ.24
III. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	σελ.25
IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	σελ.26
4.1.Σχήμα 1.....	σελ.27
4.2 Σχήμα 2.....	σελ.27

V. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	σελ.28
VI. ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ, ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	σελ.29
VII. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	σελ.30

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η καφεΐνη είναι μια χημική ουσία που βρίσκεται φυσικά στον καφέ, το τσάι και το κακάο και επίσης προστίθεται συνήθως σε μια ποικιλία προϊόντων που διατίθενται στο εμπόριο για βελτιωμένες αθλητικές επιδόσεις. Η καφεΐνη έχει χαρακτηριστεί για την εργογόνο δράση της για περισσότερο από έναν αιώνα και σήμερα χρησιμοποιείται πάνω από το 80% των αθλητών αντοχής (Shen et al., 2019). Επιτρέπεται στον ανταγωνισμό σε οποιαδήποτε δόση, εκτός από τους περιορισμούς από την NCAA, όπου οι χρήστες καφεΐνης πρέπει γενικά να ασκούν μέτρια κατανάλωση 3-6 mg / kg, το οποίο γενικά ισοδυναμεί με περίπου 2-3 κούπες καφέ πριν από την εκτέλεση της άσκησης. Οι αθλητές εξαιρετικής αντοχής, όπως οι υπέρ-μαραθωνοδρόμοι και οι τριαθλητές IRONMAN, τείνουν επίσης να καταναλώνουν καφεΐνη κατά τη διάρκεια της άσκησής τους, συνήθως με τη μορφή πηκτωμάτων με βάση υδατάνθρακες, σόδα και αθλητικά ποτά. Η καφεΐνη απορροφάται εύκολα από την γαστρεντερική οδό κατά τα πρώτα 30-60 λεπτά και έχει μακρύ χρόνο ημιζωής 4-6 h. Η επιθυμία των αθλητών να κερδίσουν μια διάκριση οδηγεί στο να χρησιμοποιούν διάφορες μεθόδους προπόνησης και συμπληρώματα ώστε να κερδίσουν ένα πλεονέκτημα έναντι των αντιπάλων τους. Στους Ολυμπιακούς αγώνες του 2012 και του 2016, σε πολλά αθλήματα, οι αλλαγές στην απόδοση κατά μόνο 1% ήταν αρκετές για να οδηγήσουν στη απαραίτητη διαφορά μεταξύ της απόκτησης χρυσού ή αργυρού μεταλλίου (Southward, Rutherford-Markwick, & Ali, 2018). Επομένως, εάν ένα συγκεκριμένο συμπλήρωμα ή μέθοδος προπόνησης μπορεί να οδηγήσει σε μικρές αλλά σαφείς βελτιώσεις, θα μπορούσε να σημαίνει τη διαφορά μεταξύ της πρώτης ή της δεύτερης θέσης, ιδιαίτερα σε ειδικά προγράμματα υψηλού επιπέδου. Μια σειρά βιβλιογραφικών ανασκοπήσεων που αναλύουν μελέτες που έχουν ολοκληρωθεί, αξιολογούν εργαστηριακές μετρήσεις (όπως αερόβια ικανότητα - VO_2max , το όριο γαλακτικού οξέος, την ισχύ που παράγει ο αθλητής, το χρόνο εξάντλησης κα., Aagaard & Andersen, 2010; Rønnestad & Mujika, 2014). Για παράδειγμα, η βελτίωση της VO_2max ενός ατόμου δεν είναι απαραίτητα ενδεικτική της βελτίωσης της απόδοσης της δοκιμασίας ορισμένου χρόνου. Δεν υπάρχει η έννοια του διαγωνισμού στον οποίο η κατάκτηση της πρώτης θέσης ανταμείβεται για το τρέξιμο για τη μεγαλύτερη διάρκεια ή την παραγωγή της υψηλότερης μέσης ισχύος που παράγεται.

Δεδομένης της σημασίας της μέτρησης των πραγματικών δοκιμών απόδοσης, αρκετές αναθεωρήσεις προσπάθησαν να αξιολογήσουν τα αποτελέσματα της απόδοσης της

δοκιμασίας ορισμένου χρόνου σε απόκριση στην άσκηση με αντίσταση (Bazyler, Abbott, Bellon, Taber, & Stone, 2015). Ωστόσο, υπάρχουν περιορισμοί σε αυτές τις ανασκοπήσεις επειδή αξιολογήθηκαν μελέτες στις οποίες δεν συμπεριλήφθηκαν ομάδες ελέγχου που συνεχίζουν να εκτελούν ασκήσεις (π.χ. δρομείς που συνεχίζουν να τρέχουν).

1.1 Ορισμός και διατύπωση του προβλήματος

Σκοπός αυτής της μελέτης είναι να αναλύσει κριτικά την επίδραση της απόδοσης της καφεΐνης σε δοκιμασίες ορισμένου χρόνου και συγκεκριμένα να μελετηθεί η επίδραση της λήψης

1.2 Σημασία της έρευνας

Η έρευνα στόχο είχε να μελετήσει την επίδραση της καφεΐνης στην ποδηλασία ορισμένου χρόνου. Πολλές έρευνες, σύμφωνα με την βιβλιογραφία, έχουν δείξει πως υπάρξει σημαντική επίδραση της καφεΐνης στην απόδοση ανάλογα με την δόση της καφεΐνης την ένταση και τη διάρκεια της άσκησης.

1.3 Οριοθετήσεις και περιορισμοί της έρευνας

Γνωρίζοντας ήδη ότι η καφεΐνη κατατάσσεται στις εργογόνες ουσίες που επιφέρουν σημαντικά αποτελέσματα στις αερόβιες δοκιμασίες,, έτσι λοιπόν και στη συγκεκριμένη εργασία ποδηλάτησης 10 λεπτών υποθέτουμε πως η χορήγηση της καφεΐνης θα βελτιώσει την απόδοση και πιο συγκεκριμένα την απόσταση που θα διανύσουν οι δοκιμαζόμενοι. Αυτή η υπόθεση στηρίζεται στο ότι η δοκιμασία ποδηλάτησης 10 λεπτών με σκοπό τη κάλυψη όσο το δυνατόν μεγαλύτερη απόσταση κατατάσσεται στα αγωνίσματα που ο οργανισμός λειτουργεί κατά βάση στον αερόβιο μηχανισμό.

II. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1 Ιδιότητες της καφεΐνης

Η καφεΐνη λαμβάνεται συνήθως από αθλητές λόγω των αναφερόμενων εργογόνων επιδράσεών της. Η καφεΐνη έχει προταθεί για τη βελτίωση της σωματικής

απόδοσης ενεργώντας ανεξάρτητα, ή μέσω 3 διαφορετικών μηχανισμών: 1) αυξημένη κινητοποίηση του ενδοκυτταρικού ασβεστίου, 2) αύξηση της οξειδωσης των ελεύθερων λιπαρών οξέων και 3) χρησιμότητα ως ανταγωνιστής υποδοχέα αδενοσίνης στο κεντρικό νευρικό σύστημα (M. Ganio, Klau, Casa, Armstrong, & Maresh, 2009). Μία έρευνα πρότεινε ότι το κρεουργικό αποτέλεσμα της καφεΐνης με αερόβια άσκηση σχετίζεται με την αύξηση της οξειδωσης των λιπαρών οξέων και την επακόλουθη φθορά του μυϊκού γλυκογόνου. Ωστόσο, πρόσφατες έρευνες και ανασκοπήσεις καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η καφεΐνη επηρεάζει την απόδοση επίδοσης αντοχής σε μεγάλο βαθμό μέσω του ανταγωνιστικού της αποτελέσματος στους υποδοχείς αδενοσίνης στον εγκέφαλο (Kalmar & Mand Cafarelli, 2004). Η καφεΐνη, μέσω αυτού του μηχανισμού, μπορεί να τροποποιήσει την αίσθηση της κεντρικής κόπωσης και να επηρεάσει την εκτίμηση της αντίληψης της εφίδρωσης, του αισθήματος πόνου και των επιπέδων έντασης, που μπορεί να οδηγήσουν σε βελτιώσεις στην απόδοση (Shen, Brooks, Cincotta, & Manjourides, 2019).

Μια πρόσφατη ανάλυση από τους Doherty & Smith (2004) έχει ποσοτικοποιήσει την επίδραση του χρόνου αντοχής της καφεΐνη στην εξάντληση και σε βραχυπρόθεσμα πρωτόκολλα άσκησης υψηλής έντασης. Η καφεΐνη βρέθηκε ότι βελτιώνει το χρόνο αντοχής στην εξάντληση (μέγεθος αποτελέσματος $ES= 0,63$) σε μεγαλύτερο βαθμό από τη βραχυπρόθεσμα απόδοση ($ES= 0,16$). Η άσκηση γενικά ταξινομείται ως δραστηριότητα αντοχής (έναντι βραχυπρόθεσμης) όταν η πλειοψηφία της ενέργειας παράγεται μέσω αερόβιων (έναντι αναερόβιων) μονοπατιών. Ένα υψηλότερο ποσοστό συνολικής ενέργειας παράγεται αερόβια μετά από περίπου 3 λεπτά άσκησης και αυτό είναι ανεξάρτητο από τον τρόπο άσκησης. Παρόλο που οι Doherty & Smith (2004) κατηγοριοποιούν τα διαφορετικά πρωτόκολλα που εξετάζονται, δεν καθορίζουν τα κριτήρια για την ταξινόμηση ενός πρωτοκόλλου ως «αντοχή» ή «βραχυπρόθεσμα». Προσδιορίζουν αρκετά πρωτόκολλα διάρκειας >5 λεπτών ως «βραχυπρόθεσμα, υψηλή ένταση».

2.2 Τρόποι χορήγησης της καφεΐνης

Για την απομόνωση της επίδρασης της απόδοσης της CAF, οι κάψουλες CAF χρησιμοποιούνται συνήθως ως τρόπος χορήγησης, αλλά άλλες μορφές χορήγησης περιλαμβάνουν τη χρήση κόμεος, διαλυμάτων υδατανθράκων (CE), και τον καφέ (M. Ganio et al., 2009). Υπάρχει η πιθανότητα ότι αυτές οι ουσίες (π.χ. υδατάνθρακες) μπορεί να συμβάλλουν στις άμεσες κρεουργικές δράσεις της CAF. Παρά την απομόνωση της επίδρασης

της CAF (π.χ. διεξαγωγή δοκιμής με υδατάνθρακα μόνο και άλλη με υδατάνθρακες και CAF), πολλές μελέτες που παρέχουν CAF με διαφορετικούς τρόπους από τις κάψουλες δεν έχουν συμπεριληφθεί σε ανασκοπήσεις και μετά-αναλύσεις. Ωστόσο, είναι σημαντικό να αξιολογηθούν τα ευρήματα από αυτές τις μελέτες, επειδή η CAF που χρησιμοποιείται στον αθλητισμό καταναλώνεται συνήθως σε διαφορετικούς τρόπους από τις κάψουλες. Για παράδειγμα, σε πρόσφατη έρευνα σε αθλητές του Ironman Triathlon World Championship το 2005, το 78% των ερωτηθέντων σχεδίαζε να χρησιμοποιήσει καφέ μέσω αναψυκτικών τύπου κόλα και το 42% σχεδίαζε να χρησιμοποιήσει πηκτώματα με καφεΐνη (B Desbrow & Leveritt, 2006).

Η εργογόνος επίδραση της CAF παρατηρείται με μεγαλύτερη συνέπεια όταν η απόδοση μετράται με ένα πρωτόκολλο 'δοκιμής προς εξάντληση' ('test-to-exhaustion') (δηλαδή, η απόδοση μετριέται ως χρόνος προς την εκούσια εξάντληση ενώ ασκείται σε σταθερή ένταση %VO₂max). Δυστυχώς, αυτός ο τύπος πρωτοκόλλου μπορεί να μην είναι ιδανικός, διότι μια μικρή αλλαγή στην ικανότητα ενός ατόμου να αυξήσει την ισχύ έχει ως αποτέλεσμα μια μεγάλη μεταβολή του χρόνου εξάντλησης και ένα υψηλό συντελεστή μεταβολής (Hopkins, Schabort, & Hawley, 2001). Πρόσφατη μελέτη από τους Laursen, Francis, Abbiss, Newton, & Nosaka (2007) δείχνει ότι υπάρχει μεγαλύτερος συντελεστής μεταβολής όταν τα άτομα εκτελούν μια δοκιμασία εξάντλησης έναντι μιας δοκιμασίας ορισμένου χρόνου. Περαιτέρω, μια δοκιμή εξάντλησης δεν διασαφηνίζει την πραγματική επίδραση επίδοσης της CAF, διότι δεν γνωρίζουμε κανένα άθλημα αντοχής στο οποίο τα άτομα κερδίζουν με μεγαλύτερη απόσταση ή για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από τους ανταγωνιστές τους. Ο αγωνιστικός / αερόβιος αθλητισμός απαιτεί από τους ανταγωνιστές να ολοκληρώσουν μια καθορισμένη απόσταση το συντομότερο δυνατό (δοκιμασία ορισμένου χρόνου) ή μια μέγιστη απόσταση σε ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα. Συνεπώς, μελέτες που εξετάζουν την εργογόνο επίδραση της CAF χρησιμοποιώντας μια δοκιμασία ορισμένου χρόνου ισχύουν περισσότερο για τους αθλητές.

2.3 Επίδραση της καφεΐνης στον οργανισμό

Οι ενεργοί μεταβολίτες της καφεΐνης παραξανθίνη, θεοβρωμίνη και θεοφυλλίνη έχουν μεγαλύτερη ημιζωή έως 12 ώρες, παρατείνοντας πολλές από τις επιδράσεις της καφεΐνης και καθιστώντας την καφεΐνη δυνητικά χρήσιμο βοήθημα για αθλητικές δραστηριότητες (Cappelletti, Piacentino, Sani, & et al., 2015). Οι διάφοροι μηχανισμοί δράσης της καφεΐνης

ως εργογόνος παράγοντας έχουν πρωταρχική επίδραση στην διέγερση του κεντρικού νευρικού συστήματος μέσω της ανταγωνιστικής επίδρασης στους υποδοχείς αδενοσίνης. Η αδενοσίνη είναι ένας νευροδιαβιβαστής που σηματοδοτεί μια σειρά από επιδράσεις, μία από τις σημαντικότερες είναι η προώθηση της υπνηλίας. Αυτή η κόπωση αναστρέφεται από την καφεΐνη. Η αδενοσίνη αναστέλλει την απελευθέρωση της ντοπαμίνης μειώνοντας έτσι την ανθρώπινη εγρήγορση και την κινητικότητα που είναι σημαντικά σε αθλητικούς αγώνες (Doherty & Smith, 2004). Ο ανταγωνισμός της αδενοσίνης με την καφεΐνη παρεμποδίζει αυτές τις δράσεις ενισχύοντας τη διαθεσιμότητα της ντοπαμίνης. Επομένως η καφεΐνη θεωρείται ως μία ισχυρή άμυνα κατά των επιδράσεων της αδενοσίνης στην παρεμπόδιση της επίδοσης κατά τη διάρκεια των ασκήσεων αντοχής όπου η κόπωση είναι ένας σημαντικός παράγοντας πρόβλεψης της επιτυχίας.

Δεν λειτουργεί η καφεΐνη μόνο ως έμμεσο διεγερτικό ανταγωνίζοντας την αδενοσίνη, αλλά επίσης προωθεί την απελευθέρωση της επινεφρίνης από τα επινεφρίδια, τα οποία επιταχύνουν τη συστολή των μυών, αυξάνουν τον καρδιακό ρυθμό και αυξάνουν την απελευθέρωση των ελεύθερων λιπαρών οξέων για παραγωγή ενέργειας. Επιπλέον, οι μεταβολίτες της καφεΐνης δείχνουν εργογόνο δυναμικό ως προς τον νευροδιαβιβαστή -αμινοβουτυρικό οξύ (GABA) και προάγουν την ενδοκυτταρική απελευθέρωση ασβεστίου σε κένωση (Shen et al., 2019).

2.4 Επίδραση της καφεΐνης στο κεντρικό νευρικό σύστημα

Η καφεΐνη έχει μια σειρά πιθανών οφελών, η εργογόνος της ικανότητα μπορεί να περιορίζεται από τις πιθανές δυσμενείς επιπτώσεις της. Η υπερβολική κατανάλωση καφεΐνης μπορεί να προκαλέσει άγχος και τρόμο. Η διέγερση του νευρικού συστήματος μπορεί να προκαλέσει γαστρεντερική δυσανεξία. Επιπλέον, η συνήθης χρήση καφεΐνης προάγει τον αντισταθμιστικό μηχανισμό του κεντρικού νευρικού συστήματος στο οποίο δημιουργούνται περισσότεροι υποδοχείς αδενοσίνης προκαλώντας μια επίδραση ανοχής με την οποία καθίσταται απαραίτητη η αύξηση της ποσότητας καφεΐνης για να ληφθούν τα επιθυμητά αποτελέσματά της. Ομοίως, με τους επιπρόσθετους υποδοχείς αδενοσίνης, εμφανίζεται πιο βαθύς λήθαργος όταν η καφεΐνη αφαιρείται μετά από συνήθη χρήση. Η κεφαλαλγία και η ευερεθιστότητα είναι άλλα συμπτώματα που σηματοδοτούν την διακοπή της λήψης της καφεΐνης (Pallarés, Fernández-Elías, Ortega, &etal., 2013).

Παρά τους δυνητικούς περιορισμούς της καφεΐνης ως εργογόνο βοήθημα, η έρευνα έχει τεκμηριώσει καλά τα οφέλη της αθλητικής απόδοσής της, τόσο σε αναερόβια άσκηση υψηλής

έντασης όσο και πιο έντονη άσκηση όπου η παρεμπόδιση της κόπωσης είναι ένα ιδιαίτερο όφελος. Σήμερα υπάρχουν δύο συστηματικές αναθεωρήσεις σχετικά με τα οφέλη που αποκομίζονται από τα γεγονότα αύξησης της αντοχής. Σε μία μετά-ανάλυση, οι Doherty&Smith (2004) επανεξέτασαν 40 άρθρα και 76 μεγέθη επιδράσεων και εμφάνισαν μέση βελτίωση 12,3% με τυπική απόκλιση 13,8% σε σύγκριση με το εικονικό φάρμακο (placebo) με δόσεις 3-13 mg / kg. Ωστόσο, οι ερευνητές δεν περιγράφουν πώς διαφοροποίησαν τις ασκήσεις υψηλής αντοχής από αυτές μικρότερης έντασης. Διαπίστωσαν μόνο ότι οι ασκήσεις υψηλής αντοχής αποδίδουν περισσότερο με την καφεΐνη από αυτές μικρότερης έντασης. Με βάση αυτή την ανασκόπηση, οι Ganioetal. (2009) δημοσίευσαν μια συστηματική ανασκόπηση που συμπεριέλαβε μόνο τις επιδόσεις υψηλής αντοχής, οι οποίες ορίστηκαν ως 5 λεπτά και περισσότερο. Οι επιστήμονες διαπίστωσαν μάλλον ήπια οφέλη από την καφεΐνη ($3,2 \pm 4,3\%$) στην ανασκόπηση 21 άρθρων.

2.5 Δοκιμασία ποδηλασίας ορισμένου χρόνου (timetrial)

Στη παρούσα έρευνα θα ασχοληθούμε με τη δοκιμασία ορισμένου χρόνου ποδηλασίας γνωστή ως timetrial. Το timetrial, είναι μια δοκιμή χρόνου ενός αναβάτη ή μιας ομάδας αναβατών έναντι σε άλλους, έχοντας ως σκοπό την επίτευξη της μεγαλύτερης απόστασης σε έναν καθορισμένο χρόνο η το αντίθετο. Θεωρείται μοναχικό άθλημα και θεωρείται ότι ο μοναδικός αντίπαλος του αναβάτη είναι ο χρόνος. Από την άλλη αρκετά δημοφιλές φαίνεται να είναι και η ομαδική ποδηλασία σε ορισμένο χρόνο γνωστό ως TEAMTIMETRIAL (TTT). Οι ομάδες ξεκινούν τον αγώνα ανά ίσα χρονικά διαστήματα των 3, 4, 5 λεπτών. Οι αποστάσεις των αγώνων όπου συναγωνίζονται οι ομάδες είναι 4 χιλιόμετρα σε πίστα ενώ στο δρόμο οι αποστάσεις ποικίλουν. Το TTT αποτελείται από 2, 4, 8 ή ακόμα και 9 αναβάτες όπου έχουν ως στόχο τη διατήρηση της μέσης μέγιστης παραγόμενης ισχύς από την αφετηρία μέχρι και το τερματισμό. Από αυτούς πρέπει να τερματίσουν οι 2, 3, 4, 5 αντίστοιχα και ο συνολικός χρόνος της ομάδας καθορίζεται από τον τελευταίο αυτής. Για την επίτευξη αυτή γίνεται η εξής διαδικασία: Συγκεκριμένα ο αναβάτης που προηγείται της ομάδας έχει το ρόλο του οδηγού όπου θα δώσει ρυθμό ανάλογα με τις δυνατότητες του για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα έως ότου να πάρει τη θέση του ένας άλλος αναβάτης από την ομάδα. Κάθε χρόνο διοργανώνονται αρκετοί αγώνες ορισμένου χρόνου ποδηλασίας όπου μεταξύ τους διαφέρουν αρκετά. Συγκεκριμένα συνηθίζεται να λαμβάνουν μέρος σε επίπεδο η κυλιόμενο έδαφος, παρ

όλα αυτά διοργανώνονται αρκετοί αγώνες σε ορεινό δρόμο. Τα πιο διαδεδομένα timetrial είναι αυτά που φτάνουν τις 12 και 24 ώρες. Γνωστοί επίσης είναι και οι αγώνες οι οποίοι έχουν προκαθορισμένες αποστάσεις, όπως 10, 25, 50, 100 μίλια. Το αγώνισμα αυτό κατατάσσεται εξολοκλήρου στα αερόβια αγωνίσματα γεγονός που προσελκύει πολλούς τριαθλητές να το δοκιμάσουν άλλα και άλλους αθλητές αντοχής ποδηλάτου. Κάποιοι από τους πιο γνωστούς αγώνες είναι το λεγόμενο tourdeFrance και άλλοι.

2.6 Καφεΐνη και δοκιμασία ορισμένου χρόνου

Η βιβλιογραφική αναζήτηση των βάσεων δεδομένων εμφάνισε συνολικά 1392 δυνητικά επιλέξιμες μελέτες. Τα αποτελέσματα από τις αναζητήσεις κάθε βάσης δεδομένων συγκεντρώθηκαν και αφαιρέθηκαν 732 άρθρα αφήνοντας 660 υπόλοιπα αρχεία. Οι τίτλοι και οι περιλήψεις των μελετών ελέγχθηκαν στη συνέχεια με χρήση λέξεις-κλειδιών όπως: η επίδραση της καφεΐνης, τα μέτρα απόδοσης επίδοσης αντοχής και ένα αποδεκτό πρωτόκολλο άσκησης που περιείχε μία δοκιμασία ορισμένου χρόνου (TT). Μετά την εξέταση, 61 μελέτες παρέμειναν και εξετάστηκαν πλήρως για να εξασφαλίσουν ότι οι μελέτες πληρούσαν τα κριτήρια ένταξης και αποκλεισμού. Από τις μελέτες που διαβάστηκαν πλήρως δύο απομακρύνθηκαν καθώς ήταν πρόσθετες δημοσιεύσεις από προηγούμενες μελέτες, έξι μελέτες δεν παρείχαν επαρκή δεδομένα για να συμπεριληφθούν στην μετά-ανάλυση. Δύο μελέτες αποκλείστηκαν καθώς οι περίοδοι άσκησης ήταν λιγότερο από 5 λεπτά. Επιπλέον, τέσσερις μελέτες αφαιρέθηκαν για τη χορήγηση καφεΐνης κατά τη διάρκεια του πρωτοκόλλου άσκησης. Επομένως, μια περίληψη των μελετών που ανέφεραν την επίδραση της καφεΐνης στη δοκιμασία ορισμένου χρόνου παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.

Συνολικά, 57 δοκιμασίες ορισμένου χρόνου από 44 μελέτες προσδιορίστηκαν και συμπεριλήφθηκαν στην τελική ανάλυση. Από τους συνολικούς συμμετέχοντες (1001 αθλητές) σε όλες τις δοκιμασίες, 82 άτομα ήταν γυναίκες και μία μελέτη δεν διευκρίνισε το φύλο των συμμετεχόντων και έτσι έγινε η υπόθεση ότι ήταν άνδρες (O'Rourke, O'Brien, Knez, & Paton, 2008). Η μέση ηλικία των συμμετεχόντων και η $VO_2\max$ τους ήταν $27,7 \pm 5,1$ έτη και $58,3 \pm 8,0 \text{ ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$, αντίστοιχα σε όλες τις μελέτες.

Από τα διαφορετικά πρωτόκολλα που χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση της απόδοσης της δοκιμασίας ορισμένου χρόνου, 23 μελέτες χρησιμοποίησαν χρόνο για να ολοκληρώσουν μια καθορισμένη απόσταση (Cohen et al., 1996, Skinner, Jenkins, Coombes, Taaffe, & Leveritt,

2010; Bortolotti, Altimari, Vitor-Costa, & Cyrino, 2014; T. Astorino, Cottrell, Lozano, Aburto-Pratt, & Duhon, 2011; H. K. Stadheim, Nossum, Olsen, Spencer, & Jensen, 2015; Potgieter, Wright, & Smith, 2017; Church et al., 2015; Carr, Gore, & Dawson, 2011; Acker-Hewitt, Shafer, Saunders, Goh, & Luden, 2012; O'Rourke et al., 2008; MacIntosh & Wright, 1995; Kilding, Overton, & Gleave, 2012; Dean, Braakhuis, & Paton, 2009; Guest, Corey, Vescovi, & El-Sohemy, 2018; Bell, McLellan, & Sabiston, 2001; T. A. Astorino, Cottrell, Lozano, Aburto-Pratt, & Duhon, 2012; T. L. Skinner, Jenkins, Taaffe, Leveritt, & Coombes, 2013; Saunders et al., 2009; Hans K. Stadheim et al., 2013; Felipe et al., 2018; Graham-Paulson, Perret, & Goosey-Tolfrey, 2016), 13 μελέτες χρησιμοποίησαν χρόνο για να ολοκληρώσουν μια συγκεκριμένη άσκηση (Jacobson, Febbraio, Arkinstall, & Hawley, 2000; Roelands et al., 2011; Ben Desbrow et al., 2012; Ben Desbrow, Barrett, Minahan, Grant, & Leveritt, 2009) και 9 μελέτες χρησιμοποίησαν συγκεκριμένη άσκηση που πραγματοποιήθηκε σε καθορισμένο χρονικό διάστημα (Collomp et al., 2002; Jenkins, Trilk, Singhal, O'Connor, & Cureton, 2008; M. S. Ganiou et al., 2011). Σαράντα μία δοκιμασίες έλαβαν καφεΐνη 60 λεπτά πριν από την άσκηση με τις υπόλοιπες μελέτες να χορηγούν καφεΐνη στα 30 λεπτά (Carr et al., 2011), 45 λεπτά (Hans K. Stadheim et al., 2013), 55 λεπτά (Graham-Paulson et al., 2016), 75 λεπτά (Guest et al., 2018) και 120-150 λεπτά (T. L. Skinner et al., 2013) πριν την άσκηση.

Η μέση χορηγούμενη δόση καφεΐνης ήταν $5,0 \pm 1,3 \text{ mg/kg}^{-1}$, με 20 μελέτες να χρησιμοποιούν 6 mg/kg^{-1} , 9 μελέτες να χρησιμοποιούν 5 mg/kg^{-1} , 4 μελέτες να χορηγούν 4 mg/kg^{-1} , 11 μελέτες να χορηγούν 3 mg/kg^{-1} , ενώ από μία μελέτη χορήγησε 4,5 (H. K. Stadheim et al., 2015), 200mg (Spence, Sim, Landers, & Peeling, 2013), 25mg (Collomp et al., 2002) και 9 mg kg^{-1} (Cohen et al., 1996).

Ηποδηλασία ήταν η πιο κοινή μορφή άσκησης που χρησιμοποιήθηκε σε 33 από τις 44 μελέτες, ενώ 4 μελέτες χρησιμοποίησαν το τρέξιμο και 2 μελέτες χρησιμοποίησαν εξοπλισμό σκι, 3 μελέτες χρησιμοποίησαν κωπηλασία, 1 μελέτη που χρησιμοποίησε το τρίαθλο και μία μελέτη που χρησιμοποίησε κολύμβηση ως δοκιμασίες άσκησης. Είκοσι μελέτες χρησιμοποίησαν ένα πρωτόκολλο άσκησης προετοιμασίας το οποίο απαιτεί την ολοκλήρωση μίας καθορισμένης διάρκειας άσκησης αμέσως πριν από τη δοκιμασία ορισμένου χρόνου. Η μέση συνολική διάρκεια άσκησης ήταν $56,0 \pm 43,3$ λεπτά, με μέση διάρκεια προετοιμασίας $55,8 \pm 40,6$ λεπτά και μέση διάρκεια δοκιμασίας ορισμένου χρόνου $34,7 \pm 27,3$ λεπτά. Συνολικά, οι δοκιμασίες ορισμένου χρόνου με χρήση καφεΐνης ήταν ταχύτερες σε σύγκριση με το εικονικό φάρμακο (placebo) κατά $2,26 \pm 2,60\%$.

Ομοίως, η ισχύς που παρήγαγαν οι αθλητές σε δοκιμασίες ορισμένου χρόνου με χορήγηση καφεΐνης είχε μεγαλύτερες τιμές σε σύγκριση με τις δοκιμές με εικονικό φάρμακο (placebo) κατά $2,92 \pm 2,18\%$. Ωστόσο, 3 μελέτες (T. Astorino et al., 2011); (Bortolotti et al., 2014)(T. L. Skinner et al., 2013) είχαν χαμηλότερες τιμές παραγόμενης ισχύος κατά τη διάρκεια των δοκιμασιών ορισμένου χρόνου με χρήση καφεΐνη σε σύγκριση με το εικονικό φάρμακο (placebo).

Πίνακας 1 Περίληψη των μελετών που μετρούν την επίδραση της πρόσληψης καφεΐνης σε δοκιμασίες ορισμένου χρόνου ως μέτρο της απόδοσης επίδοσης αντοχής

Μελέτη	Ηλικία	VO ₂ max	Δόση καφεΐνης; χρόνος	Τρόπος άσκησης	Πρωτόκολλο	Διάρκεια άσκησης (min)	Βελτίωση ορισμένου χρόνου έναντι του placebo
(Roelands et al., 2011)	23 ± 5		6 mg·kg ⁻¹ ; 60	Ποδηλασία	60 min 55% Wmax; 0.75*Wmax*1800	36,6	-3,0
(Cohen et al., 1996)	33.3 ± 9.2		9 mg·kg ⁻¹ ; 60	Τρέξιμο	21 Km TT	86,5	-0,1
(Jacobson et al., 2000)	21.2 ± 3.7	65.2 ± 3.2	6 mg·kg ⁻¹ ; 60	Ποδηλασία	120 min 63% Wmax; 7KJ·Kg ⁻¹ TT	153	0,7
(T. Skinner et al., 2010)	20.6 ± 1.4	58.2 ± 6.8	6 mg·kg ⁻¹ ; 60	Κωπηλασία	2 Km TT	6,73	0,3
(Bortolotti et al., 2014)	26 ± 10		6 mg·kg ⁻¹ ; 60	Ποδηλασία	20 Km TT	37	0,5
(T. Astorino et al., 2011)	26.7 ± 5.9	46.5 ± 6.3	5 mg·kg ⁻¹ ; 60	Ποδηλασία	10 Km TT	19	0,3
(Potgieter et al., 2017)	37.8 ± 10.8		6 mg·kg ⁻¹ ; 60	Τρίαθλο	1.5 Kmswim; 40 Km cycle; 10 Kmrn	151	1,3
(H. K.	21.9 ±	72.6 ± 5.7	4.5 mg·kg ⁻¹ ;	Σκι	26 min 40–70%	59	0,9

Stadheimetal., 2015)	2.7		45		VO2peak; 8 KmTT		
(T. Skinner et al., 2010)	20.6 ± 1.4	58.2 ± 6.8	4 mg·kg ⁻¹ ; 60	Κωπηλασία	2 Km TT	6,73	0,6
(Cohen et al., 1996)	33.3 ± 9.2		5 mg·kg ⁻¹ ; 60	Τρέξιμο	21 Km TT	86,5	0,8
(Acker-Hewittetal., 2012)	28 ± 9	66 ± 9	6 mg·kg ⁻¹ ; 60	Ποδηλασία	20 min 60% VO2max; 20 KmTT (last 5 Kmgraded)	64,2	1,4
(Carr et al., 2011)			6 mg·kg ⁻¹ ; 30	Κωπηλασία	2 Km TT	6,7	0,7
(Church et al., 2015)	24.1 ± 2.9	45 ± 3.7	3 mg·kg ⁻¹ ; 60	Τρέξιμο	5 Km TT	29	1,9
(O'Rourke et al., 2008)	32.2 ± 8.8		5 mg·kg ⁻¹ ; 60	Τρέξιμο	5 Km TT	18	1,0
(O'Rourke et al., 2008)	29 ± 5.7		5 mg·kg ⁻¹ ; 60	Τρέξιμο	5 Km TT	22	1,1
(Ben Desbrow et al., 2009)	29.4 ± 4.5	61.7 ± 4.8	3 mg·kg ⁻¹ ; 60	Ποδηλασία	120 min 65% Wmax;7 KJ·Kg ⁻¹ TT	150	1,9
(MacIntosh & Wright, 1995)	22.4 ± 0.9		6 mg·kg ⁻¹ ; 150	Κολύμπι	20 min self-paced warm up; 10 min rest; 1.5 km TT	41,35	1,8

(Kildingetal., 2012)	24.2± 5.4		3 mg·kg ⁻¹ ; 60	Ποδηλασία	20 min 60–65% MPO; 5 min high intensity efforts; 3 Km TT	29	0,8
(Jacobsonetal., 2000)	21.2±3.7	65.2 ± 3.2	6 mg·kg ⁻¹ ; 60	Ποδηλασία	120 min 63% Wmax; 7 KJ/Kg TT	150	4,1
(Deanetal., 2009)	36.4±6.1	52.5 ± 6.1	6 mg·kg ⁻¹ ; 60	Ποδηλασία	60 min 60% VO ₂ max; 40 Km TT	120	1,4
(Guest et al., 2018)	25±4	47.7 ± 11	4 mg·kg ⁻¹ ; 75	Ποδηλασία	Κάθετοάλμα; 10 km TT	18,1	2,8
(Bell et al., 2001)	33±8	57.5 ± 3.4	4 mg·kg ⁻¹ ; 90	Τρέξιμο	10 Km TT	46,8	1,7
(T. Astorino et al., 2011)	26.7±5.9	46.5 ± 6.3	5 mg·kg ⁻¹ ; 60	Ποδηλασία	10 Km TT	19	1,0
(T. A. Astorinoetal., 2012)	27.4±5.9	57.5 ± 3.9	5 mg·kg ⁻¹ ; 60	Ποδηλασία	10 Km TT	17	1,6
(T. Astorino et al., 2011)	28±6	56.9 ± 3.8	5 mg·kg ⁻¹ ; 60	Ποδηλασία	10 Km TT	17	1,6
(T. L. Skinneretal., 2013)	31±5.2	69.5 ± 6.1	6 mg·kg ⁻¹ ; 135	Ποδηλασία	40 Km TT	59	1,1
(Saunders et al.,	26.1±7.8	59.6 ±	6 mg·kg ⁻¹ ;	Ποδηλασία	40 Km TT	72	1,8

2009)		10.3	60				
(HansK. Stadheimetal., 2013)	220±3.1 6	69.3 ± 7.27	6 mg·kg ⁻¹ ; 45	Σκι	26 min 40–70% VO ₂ max; 8 KmTT	60	4,1
(T. Astorino et al., 2011)	28±6	56.9 ± 3.8	5 mg·kg ⁻¹ ; 60	Ποδηλασία	10 Km TT	17	2,0
(T. A. Astorinoetal., 2012)	27.4±5.9	57.5 ± 3.9	5 mg·kg ⁻¹ ; 60	Ποδηλασία	10 KmTT	17	1,9
(BenDesbrowetal., 2012)	32.6±8.3	60.4 ± 4.1	6 mg·kg ⁻¹ ; 90	Ποδηλασία	0.75*Wmax*3600 KJTT	65	2,8
(Gonçalves et al., 2017)	36±8	50.7 ± 7.5	6 mg·kg ⁻¹ ; 60	Ποδηλασία	0.85*Wmax*1800 KJ TT	31	2,9
(Irwin et al., 2011)	28.3±5.8	63.7 ± 7.4	3 mg·kg ⁻¹ ; 60	Ποδηλασία	0.75* Wmax *3600 KJ TT	60	3,0
(Felippe et al., 2018)	34±13	55 ± 13	5 mg·kg ⁻¹ ; 60	Ποδηλασία	4 Km TT	6,7	1,8
(Graham-Paulsonetal., 2016)	24±4	42.9 ± 7.3	4 mg·kg ⁻¹ ; 55	Ποδηλασία	30 min 65% VO ₂ max; 10 KmTT	47	2,1
(Coxetal., 2002)	27.1±4.5	66.4 ± 4.5	6 mg·kg ⁻¹ ;	Ποδηλασία	120 min 70% VO ₂ max;	29,3	3,4

			60		$7 \text{ KJ} \cdot \text{Kg}^{-1} \text{TT}$		
(Quinlivan et al., 2015)	31.6±6.1	60.7 ± 8.1	3 mg·kg ⁻¹ ; 90	Ποδηλασία	0.75*Wmax*3600 KJ TT	64,6	3,1
(Bae et al., 2014)	31±7	52.3 ± 4.9	5 mg·kg ⁻¹ ; 60	Ποδηλασία	20 Km TT	35	2,1
(Ben Desbrow et al., 2012)	32.6±8.3	60.4 ± 4.1	3 mg·kg ⁻¹ ; 90	Ποδηλασία	0.75* Wmax*3600 KJ TT	65	4,2
(Conway, Orr, & Stannard, 2003)	25.5±14. 1	72 ± 11	6 mg·kg ⁻¹ ; 60	Ποδηλασία	90 min 70% VO ₂ max; 0.8*Wmax*1800	118	15,9
(Walkeretal., 2008)	23±3	71.2 ± 6.8	6 mg·kg ⁻¹ ; 60	Ποδηλασία	90 min 70% VO ₂ max; 0.7*Wmax*1800 TT	118	3,9
(T. L. Skinneretal., 2013)	21±5.2	69.5 ± 6.1	6 mg·kg ⁻¹ ; 60	Ποδηλασία	40 KmTT	59	2,0
(Saundersetal., 2009)	24±6.9	59 ± 9.3	6 mg·kg ⁻¹ ; 60	Ποδηλασία	40 Km TT	74	4,9
(Pitchford, Fell, Leveritt, Desbrow, & Shing, 2014)	22±4.2	64.4 ± 6.8	3 mg·kg ⁻¹ ; 90	Ποδηλασία	0.75*Wmax*2880 KJTT	64	6,8
(de Santosetal.,	32.6±5.4	57.5 ± 5.8	5 mg·kg ⁻¹ ;	Ποδηλασία	4 km TT	7	2,9

2013)			60				
(Hodgson, Randell, & Jeukendrup, 2013)	41±7	58 ± 3	5 mg·kg ⁻¹ ; 60	Ποδηλασία	30 min 55% VO ₂ max; 0.7*W _{max} *2700 KJ TT	70	4,3

TT: δοκιμασία ορισμένου χρόνου, W_{max}: ρυθμός παραγόμενου έργου, VO₂max: αερόβια ικανότητα (mL/kg/min), MPO: ισχύς που παράγεται από τον αθλητή

Το κύριο εύρημα της ανασκόπησης σχετικά με την επίδραση της χορήγησης καφεΐνης στην επίδοση της δοκιμασίας ορισμένου χρόνου ήταν ότι η λήψη καφεΐνης έχει μικρή αλλά σημαντική επίδραση στην απόδοση επίδοσης αντοχής, αύξηση στην παραγόμενη ισχύ από τους αθλητές ($2,92 \pm 2,18\%$) και ταχύτερες δοκιμασίες ορισμένου χρόνου ($2,26 \pm 2,60\%$) σε σύγκριση με τις δοκιμασίες με εικονικό φάρμακο. Η παρόμοια βελτίωση της παραγόμενης ισχύος και του ορισμένου χρόνου (TT) υποστηρίζει τη δήλωση των Hopkins et al. (2001) ότι μια μεταβολή 1% στην απόδοση επίδοσης αντοχής είναι ισοδύναμη με μια αλλαγή 1% στην ταχύτητα ή στο χρόνο της δοκιμασίας. Αυτά τα ευρήματα είναι παρόμοια με τους Ganio et al. (2011) που ανέφεραν μια μέση βελτίωση στις επιδόσεις αντοχής μετά τη χορήγηση καφεΐνης κατά $3,2 \pm 4,3\%$ σε όλες τις μορφές άσκησης που δοκιμάστηκαν. Ωστόσο, σε μια προηγούμενη ανάλυση από τους Doherty & Smith (2004) αναφέρονται πολύ μεγαλύτερες μέσες βελτιώσεις στην επίδοση της αντοχής μετά τη λήψη καφεΐνης. Διαπιστώθηκε αύξηση των επιδόσεων αντοχής κατά τη διάρκεια δοκιμασιών ποδηλασίας και τρέξιμο που αντιστοιχούσε σε $22,3 \pm 13,3\%$ και $19,0 \pm 13,6\%$, αντίστοιχα. Ωστόσο, η ανάλυση από τους Doherty & Smith (2004) περιλάμβανε δοκιμασίες που χρησιμοποίησαν χρόνους μέχρι την εξάντληση των πρωτοκόλλων που μπορεί να έχουν επηρεάσει τα αποτελέσματα. Οι Hopkins et al. (2001) ανέφεραν ότι μια αλλαγή 1% στην ισχύ μπορεί να οδηγήσει σε 15% αλλαγή στο χρόνο μέχρι την εξάντληση, γεγονός που μπορεί να εξηγήσει τη μεγάλη αύξηση στις επιδόσεις αντοχής.

Από τα αποτελέσματα της ανασκόπησης, δε βρέθηκε καμία συσχέτιση μεταξύ της δόσης καφεΐνης, της VO₂, της διάρκειας άσκησης, του τρόπου άσκησης και της μέσης βελτίωσης της απόδοσης μεταξύ της καφεΐνης και του εικονικού φαρμάκου. Αυτό υποδηλώνει ότι οι δόσεις καφεΐνης μεταξύ 3-6 mg kg⁻¹ έχουν παρόμοια εργογόνο επίδραση στην επίδοση της αντοχής. Επομένως, τα άτομα που μπορεί να αισθάνονται πιο ευαίσθητα στην καφεΐνη ή που θέλουν να ελαχιστοποιήσουν τις πιθανές αρνητικές παρενέργειες, μπορούν να χρησιμοποιήσουν χαμηλή δόση καφεΐνης (3 mg kg⁻¹) και να έχουν παρόμοια εργογόνο επίδραση με αυτή της μέτριας δόσης (6 mg Kg⁻¹).

Ορισμένοι παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν το μεταβολισμό της καφεΐνης και κατά επέκταση την επίδοση αντοχής, συμπεριλαμβανομένου του καπνίσματος, της ηλικίας και του φύλου. Το κάπνισμα αυξάνει τη δραστηριότητα του ενζύμου που

προκαλεί την ταχύτερη μεταβολή της καφεΐνης. Ομοίως, το μεγαλύτερο σε ηλικία άτομο έχει πιο αργό ρυθμό μεταβολισμού της καφεΐνης στο σώμα. Το φύλο μπορεί επίσης να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στο ρυθμό μεταβολισμού της καφεΐνης, όπως για παράδειγμα οι γυναίκες μεταβολίζουν την καφεΐνη με διαφορετικούς ρυθμούς που εξαρτάται από το στάδιο του εμμηνορροϊκού κύκλου, καθώς και τη χρήση αντισυλληπτικών, τα οποία μπορούν να παρατείνουν τον χρόνο ημιζωής της καφεΐνης στο σώμα (Le&Calleja-gonz, 2019). Έτσι, όταν πραγματοποιούνται μελέτες χορήγησης συμπληρώματος καφεΐνης, παράγοντες όπως το φύλο, η ηλικία και το κάπνισμα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό της μελέτης και τις συγκρίσεις που θα γίνουν.

Η γενετική έχει επίσης αποδειχθεί ότι συμβάλλει στη μεταβλητότητα των αποκρίσεων στη χορήγηση καφεΐνης. Συγκεκριμένα τα γονίδια CYP1A2 και ADORA2A έχουν ταυτοποιηθεί ως καθοριστικοί παράγοντες που συμβάλλουν στο μεταβολισμό της καφεΐνης και στην ευαισθησία στην καφεΐνη, αντίστοιχα. Το CYP1A2 είναι μέρος της οικογένειας ενζύμων του κυτοχρώματος P450, το οποίο είναι υπεύθυνο για το 75% περίπου του μεταβολισμού των φαρμάκων και είναι υπεύθυνο για το μεταβολισμό της καφεΐνης σε παραξανθίνη, θεοβρωμίνη και θεοφυλλίνη. Ένας πολυμορφισμός A → C του CYP1A2 έχει συσχετιστεί με μεταβολές στον ρυθμό μεταβολισμού της καφεΐνης. Οι ασθενείς με το ομόζυγο αλληλίο A/A έχουν βρεθεί ότι μεταβολίζουν την καφεΐνη ταχύτερα από τους φορείς αλληλόμορφων C (A / C και C / C). Τα ομόζυγα αλληλίου C/C παρουσιάζουν το βραδύτερο μεταβολισμό της καφεΐνης. Ένας βραδύτερος μεταβολισμός καφεΐνης όπως αυτός που απαντάται στους φορείς αλληλόμορφων A/C και C/C μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερο χρόνο ημιζωής, παρατείνοντας έτσι το εργογόνο αποτέλεσμα της καφεΐνης, ενώ ο ταχύτερος μεταβολισμός θα οδηγούσε σε ταχύτερη διάσπαση της καφεΐνης, μειώνοντας τον χρόνο ημιζωής της καφεΐνης στο σώμα. Η καφεΐνη έχει συνήθως χρόνο ημιζωής 3-5 h σε υγιείς ενήλικες, επομένως εκείνοι με ταχύτερο μεταβολισμό μπορεί να μην βιώσουν την εργογόνο επίδραση της καφεΐνης για τη διάρκεια ενός συμβάντος εάν μεταβολιστούν πριν από το τέλος της άσκησης σε δραστηριότητες μακράς διαρκείας, όπως μαραθώνιος, τρίαθλο και εκδηλώσεις εξαιρετικής αντοχής. Μόνο μία μελέτη που περιλαμβάνεται στην παρούσα ανασκόπηση διεξήγαγε γενετική ανάλυση σχετικά με τον μεταβολισμό της καφεΐνης. Οι Saunders et al. (2009) εξέτασαν τον γονότυπο CYP1A2 των συμμετεχόντων και ανέφεραν ότι οι γρήγοροι μεταβολίτες της καφεΐνης (A/A) είχαν

καλύτερη απόδοση σε μια δοκιμασία ποδηλασίας 40 km ορισμένου χρόνου μετά από την χορήγηση καφεΐνης σε σύγκριση με τους αργούς μεταβολίτες της καφεΐνης (A/C και C/C). Ωστόσο, απαιτούνται περισσότερες έρευνες για τον προσδιορισμό των επιδράσεων του γονότυπου του CYP1A2 της καφεΐνης, καθώς και για τον έλεγχο άλλων μεταβλητών, όπως άλλοι γενετικοί παράγοντες (ADORA2A) και οι επιγενετικοί παράγοντες όπως η ηλικία, το κάπνισμα, το φύλο και η εθνικότητα. Το γονίδιο ADORA2A κωδικοποιεί για ορισμένους υποδοχείς αδενοσίνης που βρίσκονται κυρίως στον εγκέφαλο. Καθώς η καφεΐνη είναι ένας ανταγωνιστής υποδοχέα αδενοσίνης, είναι πιθανό ότι οι μεταβολές στο γονίδιο ADORA2A θα επηρεάσουν τις δράσεις της καφεΐνης στον υποδοχέα αδενοσίνης. Υπάρχουν ελάχιστες έρευνες σχετικά με το ADORA2A και τις επιπτώσεις που θα μπορούσε να έχει στην καφεΐνη και την άσκηση. Ωστόσο, έχει αναφερθεί ότι τα άτομα με το αλληλόμορφο T/T παρουσίασαν αυξημένη επίδοση αντοχής μετά από τη χορήγηση καφεΐνης, η οποία μπορεί να υποδηλώνει υψηλότερη ευαισθησία στην καφεΐνη σε σύγκριση με τα αλληλόμορφα C/T και C/C (Southward et al., 2018).

Σύμφωνα με την ανασκόπηση, μόνο μία μελέτη έχει διερευνήσει τις πιθανές επιδράσεις του γονότυπου ADORA2A της καφεΐνης κατά τη διάρκεια άσκησης επίδοσης αντοχής. Οι Loy, Connor, Lindheimer, Covert, & Al (2015) ομαδοποίησαν συμμετέχοντες με βάση τον γονότυπο ADORA2A τους και ανέφεραν τις υψηλότερες και τις χαμηλότερες μεταβολές στις επιδόσεις αντοχής μετά τη χορήγηση καφεΐνης σε σύγκριση με το εικονικό φάρμακο. Ομόζυγοι φορείς του αλληλόμορφου C εμφάνισαν μειωμένη επίδοση αντοχής (-4,08%) μετά τη λήψη καφεΐνης σε σύγκριση με το εικονικό φάρμακο, ενώ οι ομόζυγοι φορείς αλληλόμορφων T έδειξαν αυξημένη επίδοση αντοχής σε σύγκριση με το εικονικό φάρμακο (13,4%). Ωστόσο, κάθε ομάδα απαρτιζόταν μόνο από 6 συμμετέχοντες περιορίζοντας την αξιοπιστία του ευρήματος, αλλά εξακολουθεί να φαίνεται ότι ο γονότυπος ADORA2A μπορεί να έχει μεγάλη επίδραση στην αποτελεσματικότητα της λήψης συμπληρώματος καφεΐνης για άσκηση επίδοσης αντοχής. Πρέπει να διεξαχθούν περισσότερες μελέτες για να προσδιοριστεί ο ρόλος που μπορεί να διαδραματίσει η γενετική της καφεΐνης, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η επίδρασή της.

2.7 Προτεινόμενες εφαρμογές από τα αποτελέσματα της ανασκόπησης

Τα ενθαρρυντικά αποτελέσματα της χρήσης καφεΐνης πριν και κατά τη διάρκεια των ασκήσεων επίδοσης αντοχής μπορεί να παρέχουν στους αθλητές ουσιαστικό πλεονέκτημα έναντι των ανταγωνιστών τους. Ο ταχύτερος επίσημος χρόνος του ημιμαραθωνίου είναι 58 λεπτά και 23 δευτερόλεπτα. Με τη μέση αύξηση των επιδόσεων που διαπιστώθηκε σε όλες τις μελέτες που παρουσιάστηκαν παραπάνω κατά 2,52%, σε μία δοκιμασία χρόνου 58 min, αυτό ισοδυναμεί με βελτίωση 1,46 min, που αποτελεί τη διαφορά μεταξύ της 1ης (58:23) και της 97ης θέσης (59:45) στον κατάλογο των μέχρι πρότινος ταχύτερων αθλητών του ημιμαραθωνίου. Επομένως, εάν ένας αθλητής καταναλώνει καφεΐνη πριν ή κατά τη διάρκεια μίας δοκιμασίας επίδοσης αντοχής μπορεί να έχει μεγάλο αντίκτυπο στο συνολικό αποτέλεσμα. Ωστόσο, πολλές από τις μελέτες που συμπεριελήφθησαν στην παραπάνω βιβλιογραφική ανασκόπηση διεξήχθησαν σε εκπαιδευόμενους αθλητές και όχι επιπέδου elite, επομένως είναι πιθανό ότι η προτεινόμενη επίδραση της καφεΐνης δεν γενικεύεται στους αθλητές υψηλού επιπέδου (Southward et al., 2018). Οι αθλητές μπορεί επίσης να θέλουν να εξοικειωθούν με την κατανάλωση καφεΐνης κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης και να βρουν το πρωτόκολλο κατανάλωσης που προσφέρει τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα για τις δικές τους ατομικές ανάγκες. Μέχρι σήμερα δεν υπάρχει επαρκής έρευνα για εξατομικευμένες συστάσεις, οπότε εξαρτάται από τον αθλητή και το εκπαιδευτικό προσωπικό να καθορίσει τον καλύτερο χρόνο, τη δοσολογία και τη μέθοδο κατανάλωσης καφεΐνης για την εκπαίδευση των αθλητών και τις ανάγκες του ανταγωνισμού.

III. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

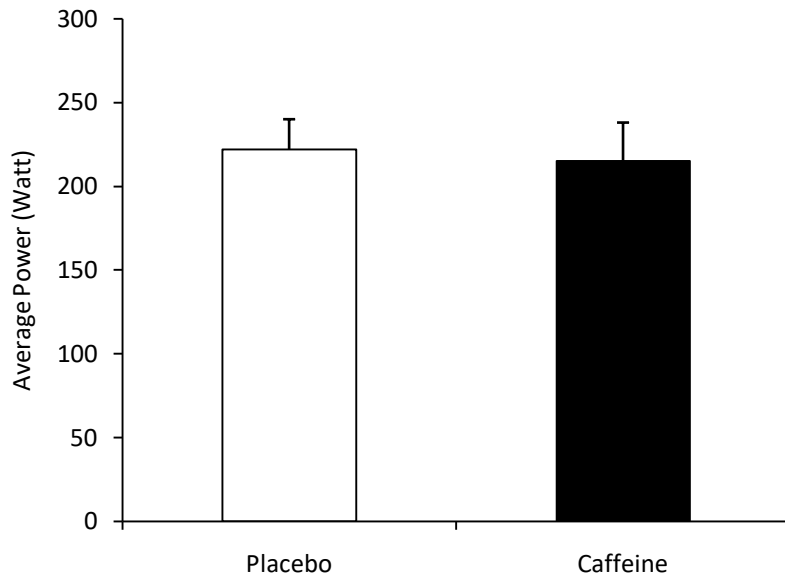
Για τη συλλογή δεδομένων αυτής της έρευνας συμμετείχαν 4 δοκιμαζόμενοι φοιτητές της σχολής επιστήμης και φυσικής αγωγής και αθλητισμού ηλικίας $24 \pm 2,5$ και με σωματικό βάρος $75,75 \pm 7,27$ kg και ύψους $1,73 \pm 5$. Κάποιοι από αυτούς ήταν ενεργοί αθλητές η τουλάχιστον επαρκώς προπονημένοι. Οι μετρήσεις έλαβαν μέρος σε κλειστό χώρο και πιο συγκεκριμένα στο εργαστήριο εργοφυσιολογίας. Οι δοκιμαζόμενοι πραγματοποίησαν δοκιμασία ποδηλάτησης 10 λεπτών αφού πρώτα τους είχαν δοθεί οι απαραίτητες ενημερώσεις για τη διαδικασία της έρευνας. Το ποδήλατο όπου πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμασίες ήταν της εταιρείας monark. Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν 2 διπλά τυφλές δοκιμασίες από τους δοκιμαζόμενους. Πριν την έναρξη της δοκιμασίας πραγματοποιήθηκε ζέσταμα ενός λεπτού και σταθερού ρυθμού (50 στροφές/sec) με επιβάρυνση ενός κιλού. Επίσης πραγματοποιήθηκαν δυναμικές διατάσεις και 4 sprint στο ποδήλατο διάρκειας 8 δευτερολέπτων. Κατά τη διαδικασία της δοκιμασίας και ανάλογα με το επίπεδο των δοκιμαζόμενων τους είχε δοθεί καθοδήγηση σχετικά με το ρυθμό, ενώ απαραίτητη προϋπόθεση ήταν στα τελευταία 3 λεπτά να ανεβάσουν όσο το δυνατό περισσότερο το ρυθμό τους με σκοπό να φτάσουν σε εξάντληση. Σε κάθε λεπτό της δοκιμασίας πραγματοποιούταν μέτρηση της καρδιακής συχνότητας, του ρυθμού σε watt και η αίσθηση της κόπωσης. Στη πρώτη συνάντηση δόθηκε χορήγηση καφεΐνης ενώ η δεύτερη ήταν σκόνη placebo. Η ποσότητα χορήγησης της καφεΐνης ήταν 3 mlg/kg σωματικού βάρους. Στη πρώτη συνάντηση με τους δοκιμαζόμενους πραγματοποιήθηκαν ανθρωπομετρικές μετρήσεις όπως δυναμομέτρηση των κάτω άκρων (Take Kiki Kogyo Japan). Στη συνέχεια καταγράφηκαν και άλλες μετρήσεις όπως βάρος και ύψος.

Επίσης η μία δοκιμασία έπρεπε να απέχει από την άλλη τουλάχιστον 7 μέρες και πριν από κάθε δοκιμασία απαγορευόταν η χρήση αλκοόλ ή καφεΐνης για 24 ώρες. Η συμμετοχή των δοκιμαζόμενων στην έρευνα ήταν εθελοντική.

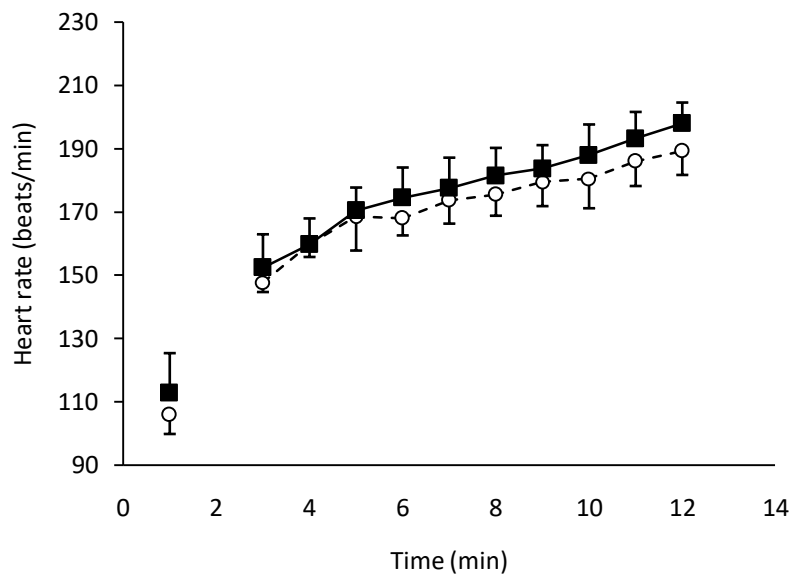
IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η απόδοση στην δοκιμασία ορισμένου χρόνου δεν επηρεάστηκε σημαντικά από τη λήψη συμπληρώματος καφεΐνης. Συγκεκριμένα οι δοκιμαζόμενοι κατά τη διάρκεια των 10 λεπτών ποδηλασίας μετά τη λήψη της καφεΐνης κάλυψαν απόσταση $7.025 \pm 1 \text{ km}$ με μέσο όρο παραγωγής έργου $222 \pm 18 \text{ W}$ ενώ μετά τη λήψη εικονικού σκευάσματος οι δοκιμαζόμενοι κάλυψαν απόσταση $6,085 \pm 1,5 \text{ km}$ με μέσο όρο παραγωγής έργου $215 \pm 23 \text{ W}$.

Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι δεν υπάρχει επίδραση της καφεΐνης τόσο στην απόσταση που διανύθηκε όσο και στην παραγωγή έργου κατά τη διάρκεια δοκιμασίας ορισμένου χρόνου. Μεγαλύτερος αριθμός συμμετεχόντων καθώς και αξιολόγηση επιπλέον παραμέτρων της φυσικής απόδοσης θα μπορούσαν να δώσουν μια καλύτερη επίδραση της λήψης καφεΐνης συμπλήρωμα διατροφής στην απόδοση ορισμένου χρόνου.



Σχήμα 1. Μέση παραγόμενη ισχύς στο timetrial.



Σχήμα 2. Επίδραση της καρδιακής συχνότητας στο timetrial.

V.ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η καφεΐνη είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα αποδεκτά φάρμακα που καταναλώνονται σε όλο τον κόσμο. Καταναλώνεται όχι μόνο για πρόληψη της ενέργειας στην καθημερινότητα αλλά συνηθίζεται να καταναλώνεται από αθλητές τη βελτίωση της απόδοσής τους. Η πρόσληψή της λαμβάνεται πολύ συχνά από τα ενεργειακά ποτά που διαφημίζονται σε αθλητικούς αγώνες αλλά και από άλλους τρόπους που έχουν προαναφερθεί.

Συμφωνά και με τη προϋπάρχουσα βιβλιογραφία είναι γνωστό ότι η καφεΐνη θεωρείται εργογόνος ουσία και προτιμάται από αθλητές αντοχής. Συγκεκριμένα το κομβικό σημείο σε αυτές τις αερόβιες δοκιμασίες είναι πως με τη χορήγηση της καφεΐνης οξειδώνονται τα ελεύθερα λιπαρά οξέα που έχουν ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της απόδοσης. Η προτεινόμενη ποσότητα πρόσληψης της καφεΐνης ώστε να έχει θετικά αποτελέσματα στην αθλητική απόδοση είναι 4-6mg/kgΣΒ. Το 50% αυτής της ποσότητας αποβάλλεται από το αίμα τις 3-6 πρώτες ώρες ενώ το υπόλοιπο μεταβολίζεται στο συκώτι. Πολύ μικρό φαίνεται να είναι το ποσοστό της καφεΐνης που αποβάλλεται με τα ούρα. Στα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας σχετικά με την επίδραση της καφεΐνης σε ορισμένο χρόνο ποδηλασίας 10 λεπτών δεν σημειώθηκαν σημαντικές διαφορές. Ένας σημαντικός παράγοντας για τον οποίο δε σημειώθηκαν σημαντικές διαφορές είναι ο μικρός αριθμός των δοκιμαζόμενων και η απειρία ως προς τη συγκεκριμένη δοκιμασία. Πιθανόν εάν είχαν συμμετάσχει περισσότεροι και πιο έμπειροι δοκιμαζόμενοι, τα αποτελέσματα θα ήταν διαφορετικά. Ενώ στην έρευνα δε φαίνεται βελτίωση στην απόδοση δεν μπορούμε να πούμε ότι αυτό ισχύει και στις υπόλοιπες έρευνες. Όπως ήδη αναφέραμε το κύριο εύρημα της ανασκόπησης σχετικά με την επίδραση της χορήγησης καφεΐνης στην επίδοση της δοκιμασίας ορισμένου χρόνου ήταν ότι η λήψη καφεΐνης έχει μικρή αλλά σημαντική επίδραση στην απόδοση αντοχής.

Επομένως η καφεΐνη θεωρείται ως μία ισχυρή άμυνα κατά των επιδράσεων της αδενοσίνης στην παρεμπόδιση της επίδοσης κατά τη διάρκεια των ασκήσεων αντοχής όπου η κόπωση είναι ένας σημαντικός παράγοντας πρόβλεψης της επιτυχίας. Συνοψίζοντας αυτό επιτυγχάνεται με την ευκολότερη μεταβίβαση των νευρικών ώσεων και με την αύξηση της μεταφοράς ιόντων μέσα στα κύτταρα.

VI.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όσον αφορά την αλληλεπίδραση της καφεΐνης στη δοκιμασία ορισμένου χρόνου 10 λεπτών τα αποτελέσματα έδειξαν ότι δεν υπήρξε κάποια βελτίωση στην απόδοση. Παρ' όλα αυτά ξεκάθαρες είναι οι επιδράσεις της καφεΐνης στον οργανισμό με την αύξηση της απελευθέρωσης κατεχολαμινών αυξάνοντας τη συμπαθητική δραστηριότητα του οργανισμού. Επίσης η καφεΐνη μειώνει την αίσθηση της κούρασης και ενισχύει τη διάθεση. Είναι ευρέως γνωστό ότι αποτελεί διεγερτικό του κεντρικού νευρικού συστήματος και ότι αυξάνει τη καρδιακή συχνότητα κατά τη διάρκεια της άσκησης και ο μέσος όρος ζωής της κυμαίνεται σε 3-4 ώρες. Τέλος σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι η μέση χορηγούμενη δόση καφεΐνης που συνιστάται ώστε να επιφέρει βελτίωση στην απόδοση στον αερόβιο μηχανισμό κυμαίνεται στα $5,0 \pm 1,3$ mg/kg σωματικού βάρους.

VII. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aagaard, P., & Andersen, J. L. (2010). Effects of strength training on endurance capacity in top-level endurance athletes. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(2), 39–47.
- Acker-Hewitt, T. L., Shafer, B. M., Saunders, M. J., Goh, Q., & Luden, N. D. (2012). Independent and combined effects of carbohydrate and caffeine ingestion on aerobic cycling performance in the fed state tiffany l. acker-hewitt. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 37(2), 276–283. <https://doi.org/10.1139/H11-160>
- Astorino, T. A., Cottrell, T., Lozano, A. T., Aburto-Pratt, K., & Duhon, J. (2012). Increases in cycling performance in response to caffeine ingestion are repeatable. *Nutrition Research*, 32(2), 78–84. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2011.12.001>
- Astorino, T., Cottrell, T., Lozano, A., Aburto-Pratt, K., & Duhon, J. (2011). Ergogenic Effects of Caffeine on Simulated Time-Trial Performance Are Independent of Fitness Level. *Journal of Caffeine Research*, 1(3), 179–185. <https://doi.org/10.1089/jcr.2011.0022>
- Bae, Y. J., Son, Y., Hyung, W. J., Kim, H.-I., Cho, I., Hwang, B. Y., & Lee, D. T. (2014). Effects of a Strength Training Program on the Quality of Life among Korean Gastric Cancer Survivors. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 46, 130. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000493563.08581.a3>
- Bazyler, C. D., Abbott, H. A., Bellon, C. R., Taber, C. B., & Stone, M. H. (2015). Strength training for endurance athletes: Theory to practice. *Strength and Conditioning Journal*, 37(2), 1–12.
- Bell, D. G., Mcllellan, T. O. M. M., & Sabiston, C. M. (2001). 10-Km Run Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 344–349.
- Bortolotti, H., Altimari, L., Vitor-Costa, M., & Cyrino, E. (2014). Performance during a 20-km cycling time-trial after caffeine ingestion. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 11(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/s12970-014-0045-8>
- Cappelletti, S., Piacentino, D., Sani, G., & et al. (2015). Caffeine: cognitive and

- physical performance enhancer or psychoactive drug? *Current Neuropharmacology*, *13*, 71–88.
- Carr, A. J., Gore, C. J., & Dawson, B. (2011). Induced alkalosis and caffeine supplementation: Effects on 2,000-m rowing performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, *21*(5), 357–364. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.21.5.357>
- Church, D. D., Hoffman, J. R., LaMonica, M. B., Riffe, J. J., Hoffman, M. W., Baker, K. M., ... Stout, J. R. (2015). The effect of an acute ingestion of Turkish coffee on reaction time and time trial performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *12*(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s12970-015-0098-3>
- Cohen, B., Nelson, A., Prevost, M., Thompson, G., Marx, B., & Morris, G. (1996). Effects of caffeine ingestion on endurance racing in heat and humidity. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, *73*, 358–363.
- Collomp, K., Candau, R., Millet, G., Mucci, P., Borrani, F., Préfaut, C., & De Ceaurriz, J. (2002). Effects of salbutamol and caffeine ingestion on exercise metabolism and performance. *International Journal of Sports Medicine*, *23*(8), 549–554. <https://doi.org/10.1055/s-2002-35530>
- Conway, K. J., Orr, R., & Stannard, S. R. (2003). Effect of a divided caffeine dose on endurance cycling performance, postexercise urinary caffeine concentration, and plasma paraxanthine. *Journal of Applied Physiology*, *94*(4), 1557–1562. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00911.2002>
- Cox, G. R., Desbrow, B., Montgomery, P. G., Anderson, M. E., Bruce, C. R., Macrides, T. A., ... Burke, L. M. (2002). Effect of different protocols of caffeine intake on metabolism and endurance performance. *Journal of Applied Physiology*, *93*(3), 990–999. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00249.2002>
- Dankel, S., Mattocks, K., Mouser, J. G., Buckner, S., Jessee, M., & Loenneke, J. (2018). A critical review of the current evidence examining whether resistance training improves time trial performance. *Journal of Sports Sciences*, *36*(13), 1485–1491. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1398884>
- de Santos, R. A., Da Kiss, M. A. P. M., Da Silva-Cavalcante, M., Correia-Oliveira, C.

- R., Bertuzzi, R., Bishop, D. J., & Lima-Silva, A. E. (2013). Caffeine Alters Anaerobic Distribution and Pacing during a 4000-m Cycling Time Trial. *PLoS ONE*, 8(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0075399>
- Dean, S., Braakhuis, A., & Paton, C. (2009). The effects of EGCG on fat oxidation and endurance performance in male cyclists. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 19(6), 624–644. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.19.6.624>
- Desbrow, B., Barrett, C. M., Minahan, C. L., Grant, G. D., & Leveritt, M. D. (2009). Caffeine, cycling performance, and exogenous CHO oxidation: A dose-response study. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(9), 1744–1751. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181a16cf7>
- Desbrow, B., Biddulph, C., Devlin, B., Grant, G. D., Anoopkumar-Dukie, S., & Leveritt, M. D. (2012). The effects of different doses of caffeine on endurance cycling time trial performance. *Journal of Sports Sciences*, 30(2), 115–120. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.632431>
- Desbrow, B., & Leveritt, M. (2006). Awareness and use of caffeine by athletes competing at the 2005 Ironman Triathlon World Championships. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 16, 545–558.
- Doherty, M., & Smith, P. (2004). Effects of caffeine ingestion on exercise testing: a meta-analysis. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 14, 626–646.
- Felippe, L. C., Ferreira, G. A., Learsi, S. K., Boari, D., Bertuzzi, R., & Lima-Silva, A. E. (2018). Caffeine increases both total work performed above critical power and peripheral fatigue during a 4-km cycling time trial. *Journal of Applied Physiology*, 124(6), 1491–1501. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00930.2017>
- Ganio, M., Klau, J., Casa, D., Armstrong, L., & Maresh, C. (2009). Effect of caffeine on sport-specific endurance performance: A systematic review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(1), 315–324. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31818b979a>
- Ganio, M. S., Johnson, E. C., Lopez, R. M., Stearns, R. L., Emmanuel, H., Anderson,

- J. M., ... Armstrong, L. E. (2011). Caffeine lowers muscle pain during exercise in hot but not cool environments. *Physiology and Behavior*, *102*(3-4), 429–435. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2010.12.005>
- Gonçalves, L. de S., Painelli, V. de S., Yamaguchi, G., Oliveira, L. F. de, Saunders, B., da Silva, R. P., ... Gualano, B. (2017). Dispelling the myth that habitual caffeine consumption influences the performance response to acute caffeine supplementation. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, *123*(1), 213–220. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00260.2017>
- Graham-Paulson, T., Perret, C., & Goosey-Tolfrey, V. (2016). Improvements in cycling but not handcycling 10 km time trial performance in habitual caffeine users. *Nutrients*, *8*(7), 1–11. <https://doi.org/10.3390/nu8070393>
- Guest, N., Corey, P., Vescovi, J., & El-Sohemy, A. (2018). *Caffeine, CYP1A2 genotype, and endurance performance in athletes. Medicine and Science in Sports and Exercise* (Vol. 50). <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001596>
- Hodgson, A. B., Randell, R. K., & Jeukendrup, A. E. (2013). The Metabolic and Performance Effects of Caffeine Compared to Coffee during Endurance Exercise. *PLoS ONE*, *8*(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0059561>
- Hopkins, W., Schabert, E., & Hawley, J. (2001). Reliability of power in physical performance tests. *Sports Medicine*, *31*, 211–234.
- Irwin, C., Desbrow, B., Ellis, A., O’Keeffe, B., Grant, G., & Leveritt, M. (2011). Caffeine withdrawal and high-intensity endurance cycling performance. *Journal of Sports Sciences*, *29*(5), 509–515. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.541480>
- Jacobson, T. L., Febbraio, M. A., Arkinstall, M. J., & Hawley, J. A. (2000). Jacobson et al (2000) Effect of caffeine co-ingested with carbohydrate or fat on metabolism and performance in endurance-trained men.
- Jenkins, N. T., Trilk, J. L., Singhal, A., O’Connor, P. J., & Cureton, K. J. (2008). Ergogenic effects of low doses of caffeine on cycling performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, *18*(3), 328–342. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.18.3.328>

- Kalmar, J., & Mand Cafarelli, E. (2004). Caffeine: a valuable tool to study central fatigue in humans? *Exercise and Sport Sciences Reviews*, *32*, 143–147.
- Kilding, A. E., Overton, C., & Gleave, J. (2012). Effects of caffeine, sodium bicarbonate, and their combined ingestion on high-intensity cycling performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, *22*(3), 175–183. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.22.3.175>
- Laursen, P., Francis, G., Abbiss, C., Newton, M., & Nosaka, K. (2007). Reliability of time-to-exhaustion versus time-trial running tests in runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *39*, 1374–1379.
- Le, P., & Calleja-gonz, J. (2019). Effect of Caffeine Supplementation on Sports Performance Based on Differences Between Sexes: A Systematic Review. *Nutrients*, *11*, 1–17.
- Loy, B. D., O'Connor, P. J., Lindheimer, J. B., & Covert, S. F. (2015). Caffeine Is Ergogenic for Adenosine A_{2A} Receptor Gene (ADORA2A) T Allele Homozygotes: A Pilot Study. *Journal of Caffeine Research*, *5*(2), 73–81. <https://doi.org/10.1089/jcr.2014.0035>
- MacIntosh, B. R., & Wright, B. M. (1995). Caffeine ingestion and performance of a 1,500-metre swim. *Canadian Journal of Applied Physiology = Revue Canadienne de Physiologie Appliquée*, *20*(2), 168–177. <https://doi.org/10.1139/h95-012>
- O'Rourke, M., O'Brien, B., Knez, W., & Paton, C. (2008). Caffeine has a small effect on 5-km running performance of well-trained and recreational runners. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *11*, 231–233.
- Pallarés, J., Fernández-Elías, V., Ortega, J., & et al. (2013). Neuro-muscular responses to incremental caffeine doses: performance and side effects. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *45*, 2184–2192.
- Pitchford, N. W., Fell, J. W., Leveritt, M. D., Desbrow, B., & Shing, C. M. (2014). Effect of caffeine on cycling time-trial performance in the heat. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *17*(4), 445–449. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.07.004>

- Potgieter, S., Wright, H., & Smith, C. (2017). Caffeine Improves Triathlon Performance: A Field Study in Males and Females. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*.
- Quinlivan, A., Irwin, C., Grant, G. D., Anoopkumar-Dukie, S., Skinner, T., Leveritt, M., & Desbrow, B. (2015). The effects of red bull energy drink compared with caffeine on cycling time-trial performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *10*(7), 897–901. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0481>
- Roelands, B., Buysse, L., Pauwels, F., Delbeke, F., Deventer, K., & Meeusen, R. (2011). No effect of caffeine on exercise performance in high ambient temperature. *European Journal of Applied Physiology*, *111*(12), 3089–3095. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-1945-9>
- Rønnestad, B. R., & Mujika, I. (2014). Optimizing strength training for running and cycling endurance performance: A review. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *24*(4), 603–612.
- Saunders, M. J., Womack, C. J., Bolton, D. J., Bechtel, M. K., Holroyd, B. A., Garvey, M. D., ... Mattox, L. B. (2009). Influence Of A CYP1A2 Polymorphism On The Ergogenic Effects Of Caffeine During Sprint Cycling. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *41*, 168. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000355068.14828.89>
- Shen, J., Brooks, M., Cincotta, J., & Manjourides, J. (2019). Establishing a relationship between the effect of caffeine and duration of endurance athletic time trial events: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *22*(2), 232–238. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.07.022>
- Skinner, T., Jenkins, D., Coombes, J., Taaffe, D., & Leveritt, M. (2010). Dose response of caffeine on 2000-m rowing performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *42*(3), 571–576. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181b6668b>
- Skinner, T. L., Jenkins, D. G., Taaffe, D. R., Leveritt, M. D., & Coombes, J. S. (2013). Coinciding exercise with peak serum caffeine does not improve cycling performance. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *16*(1), 54–59.

<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.04.004>

Southward, K., Rutherford-Markwick, K., & Ali, A. (2018). Correction to: The Effect of Acute Caffeine Ingestion on Endurance Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 48(10), 2425–2441. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0967-4>

Spence, A. L., Sim, M., Landers, G., & Peeling, P. (2013). A comparison of caffeine versus pseudoephedrine on cycling time-trial performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 23(5), 507–512. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.23.5.507>

Stadheim, H. K., Kvamme, B., Olsen, R., Drevon, C. A., Ivy, J. L., & Jensen, Jø. (2013). Caffeine increases performance in cross-country double-poling time trial exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(11), 2175–2183. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182967948>

Stadheim, H. K., Nossum, E. M., Olsen, R., Spencer, M., & Jensen, J. (2015). Caffeine improves performance in double poling during acute exposure to 2,000-m altitude. *Journal of Applied Physiology*, 119(12), 1501–1509. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00509.2015>

Suchomel, T. J., Nimphius, S., & Stone, M. H. (2016). The importance of muscular strength in athletic performance. *Sports Medicine*, 46(10), 1419–1449.

Walker, G. J., Dziubak, A., Houghton, L., Prendergast, C., Lim, L., & Bishop, N. C. (2008). The effect of caffeine ingestion on human neutrophil oxidative burst responses following time-trial cycling. *Journal of Sports Sciences*, 26(6), 611–619. <https://doi.org/10.1080/02640410701654306>

Yamamoto, L. M., Klau, J. F., Casa, D. J., Kraemer, W. J., Armstrong, L. E., & Maresh, C. M. (2010). The effects of resistance training on road cycling performance among highly trained cyclists: A systematic review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(2), 560–566.