



## Οξειδοαναγωγική Κατάσταση του Αίματος Επίλεκτων Αθλητριών μετά από Άσκηση Επιτραπέζιας Αντισφαίρισης

Αθανάσιος Καμπασακάλης & Βασίλης Μούγιος  
ΤΕΦΑΑ, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

### Περίληψη

Η επιτραπέζια αντισφαίριση είναι ένα δημοφιλές άθλημα και μια πολύ ευχάριστη μορφή άσκησης. Η άσκηση επηρεάζει την οξειδοαναγωγική κατάσταση του οργανισμού. Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να μελετήσει την επίδραση άσκησης επιτραπέζιας αντισφαίρισης σε δείκτες της οξειδοαναγωγικής κατάστασης του αίματος αθλητριών. Στη μελέτη συμμετείχαν δέκα επίλεκτες αθλήτριες επιτραπέζιας αντισφαίρισης, ηλικίας  $16,1 \pm 1,9$  ετών, οι οποίες ασκήθηκαν σε ζεύγη επί 20 min. Η άσκηση περιλάμβανε εκτέλεση, με τη μέγιστη δυνατή ένταση, επιθετικής κίνησης (forehand spin) από τη μια αθλήτρια και μπλοκ (forehand) από την άλλη, με εναλλαγή των ρόλων ανά τρεις πόντους. Πριν την άσκηση, αμέσως μετά και μία ώρα μετά την άσκηση, οι αθλήτριες έδωσαν δείγματα φλεβικού αίματος προκειμένου να γίνει γενική ανάλυση αίματος και προσδιορισμός γαλακτικού οξέος, κρεατινικής κινάσης, καθώς και των δεικτών της οξειδοαναγωγικής κατάστασης γλουταθειόνης, ουρικού οξέος, χολερυθρίνης, 8-υδροξυ-2'-δεοξυγουανοσίνης, μηλονικής διαλδεΐδης και πρωτεϊνικών καρβονυλίων. Η άσκηση προκάλεσε αιμοσυμπύκνωση, λευκοκυττάρωση και αύξηση του γαλακτικού οξέος. Η ανηγμένη γλουταθειόνη δε μεταβλήθηκε σημαντικά, ενώ τόσο το ουρικό οξύ όσο και η χολερυθρίνη μεταβλήθηκαν σημαντικά, με αύξηση αμέσως μετά την άσκηση και μείωση μία ώρα μετά. Αν και δε βρέθηκε σημαντική μεταβολή στην 8-υδροξυ-2'-δεοξυγουανοσίνη και στα πρωτεϊνικά καρβονύλια, η μηλονική διαλδεΐδη μεταβλήθηκε σημαντικά, με αύξηση αμέσως μετά την άσκηση και μείωση μία ώρα μετά. Συμπεραίνουμε ότι η συγκεκριμένη άσκηση επιτραπέζιας αντισφαίρισης, αν και προκάλεσε ασκησιογενές στρες, δεν επέφερε παρατεταμένες μεταβολές στους δείκτες της οξειδοαναγωγικής κατάστασης του αίματος επίλεκτων αθλητριών.

Λέξεις κλειδιά: *οξειδωτικό στρες, αντιοξειδωτική ικανότητα, επιτραπέζια αντισφαίριση*

### Blood Redox Status of Elite Female Athletes after Table Tennis Exercise

Athanasios Kabasakalis & Vassilis Mougios

Department of Physical Education and Sports Sciences, Aristoteles University of Thessaloniki, Hellas

### Abstract

Table tennis is a popular sport and a pleasant type of exercise. Exercise affects the redox status of the body. The aim of the present study was to investigate the effect of table tennis exercise on blood redox status markers in female athletes. Ten elite female athletes, aged  $16.1 \pm 1.9$  years, exercised in couples for 20 min. Exercise included the execution, at maximal possible intensity, of offensive movement (forehand spin) by one athlete and block (forehand) by the other, with roles alternating every three points. Before exercise, immediately post-exercise and one hour post-exercise, the athletes provided venous blood samples for full blood count and determination of lactate, creatine kinase, as well as the markers of redox status, glutathione, urate, bilirubin, 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine, malondialdehyde, and protein carbonyls. Exercise induced hemoconcentration, leukocytosis, and increase of lactate. Reduced glutathione did not change significantly, while urate and bilirubin changed significantly, with an increase immediately post-exercise and a decrease one hour post-exercise. Although no significant change was found in 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine or protein carbonyls, malondialdehyde changed significantly, with an increase immediately post-exercise and a decrease one hour post-exercise. We conclude that, although the particular type of table tennis exercise caused exercise-induced stress, it did not induce prolonged changes on blood redox status markers of elite female athletes.

Key words: *oxidative stress, antioxidant capacity, table tennis*

## Εισαγωγή

Ως οξειδοαναγωγική κατάσταση ενός συστήματος ορίζεται η αναλογία μεταξύ ανηγμένων και οξειδωμένων μορίων που είναι ευαίσθητα στην οξειδοαναγωγή (Longo, Olivia, Denaro, & Maffulli, 2008). Η ανισορροπία μεταξύ οξειδωτικών και αντιοξειδωτικών υπέρ των πρώτων ορίζεται ως οξειδωτικό στρες (Azzi, Davies, & Kelly, 2004) και συνδέεται με αρκετές παθοφυσιολογικές καταστάσεις (Dröge, 2002). Είναι πλέον καλά τεκμηριωμένο ότι η άσκηση μπορεί να επηρεάσει την οξειδοαναγωγική κατάσταση και ότι ιδιαίτερα εκείνη με μεγάλη επιβάρυνση μπορεί να αυξήσει το οξειδωτικό στρες (Bloomer, 2008). Από την άποψη που επικράτησε στα πρώτα στάδια διερεύνησης της σχέσης άσκησης και οξειδωτικού στρες, ότι δηλαδή όλα τα οξειδωτικά είναι δυνητικά επιβλαβή και ότι η πρόληψη των επιδράσεών τους θα ήταν σίγουρα ευεργετική, η επιστημονική κοινότητα περνάει πλέον στην κατανόηση ότι αυτές οι ουσίες παίζουν σημαντικό ρόλο και στο μεταβολισμό (Jackson, 2008). Επίσης, γίνεται διαρκώς εμφανέστερο από τα ερευνητικά δεδομένα, ότι οι ελεύθερες ρίζες, πέρα από τις παθολογικές καταστάσεις στις οποίες εμπλέκονται (Dröge, 2002) ή τη διαταραχή της μυϊκής λειτουργίας που προκαλούν σε υψηλά επίπεδα (Powers & Jackson, 2008), συμμετέχουν και σε μηχανισμούς προσαρμογών (Gomez-Cabrera, Domenech, & Viña, 2008; Radák, Chung, & Goto, 2008).

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω, η εκτίμηση της οξειδοαναγωγικής κατάστασης μετά από άσκηση είναι σημαντική για την αξιολόγηση των πιθανών θετικών και αρνητικών επιδράσεών της. Το ερευνητικό ενδιαφέρον έχει συγκεντρώσει η μελέτη διάφορων τύπων άσκησης, ενώ τα αποτελέσματα των σχετικών ερευνών έχουν συνοψιστεί σε αρκετές ανασκοπήσεις (π.χ. Finaud, Lac, & Filaire, 2006; Fisher-Wellman & Bloomer, 2009). Το κυριότερο συμπέρασμα των μελετών αυτών είναι ότι οι μορφές άσκησης με υψηλό φορτίο επιβάρυνσης ή, διαφορετικά, οι μορφές άσκησης που η επιβάρυνσή τους είναι υψηλή για τα άτομα που τις εκτελούν, μπορούν να προκαλέσουν αύξηση του οξειδωτικού στρες (Finaud et al., 2006; Fisher-Wellman & Bloomer, 2009). Το ζητούμενο όμως που παρουσιάζει μεγαλύτερο ενδιαφέρον πλέον και για το οποίο δεν υπάρχουν επαρκή δεδομένα στη βιβλιογραφία, είναι η διερεύνηση μορφών άσκησης που χρησιμοποιούνται καθημερινά από τους αθλητές στην προπόνησή τους στα διάφορα αθλήματα, καθώς αυτές είναι εκείνες που, αν είναι ικανές να διαταράσσουν σημαντικά την οξειδοαναγωγική ισορροπία, θα επιφέρουν πιθανώς τις περισσότερες οξειδωτικές βλάβες στον οργανισμό των αθλητών, λόγω της συστηματικής και ευρείας

χρήσης τους στο κάθε άθλημα. Έτσι, για μια σημαντική για την υγεία κατάσταση, όπως η οξειδοαναγωγική, χρειάζεται εξειδικευμένη μελέτη.

Ένα πολύ ευχάριστο και δημοφιλές άθλημα είναι η επιτραπέζια αντισφαίριση. Ωστόσο, σε ανασκόπησή του ο Lees (2003) διαπιστώνει έλλειψη δεδομένων για τις φυσιολογικές απαιτήσεις του αθλήματος και τα φυσιολογικά χαρακτηριστικά των αθλητών. Την έλλειψη αυτήν επιβεβαίωσε και η από την πλευρά μας αναζήτηση, στη διεθνή (αγγλόφωνη) βιβλιογραφία, δεδομένων σχετικών με βιοχημικές παραμέτρους (και, κατ' επέκταση, δεδομένων σχετικών με παραμέτρους της οξειδοαναγωγικής κατάστασης) στους αθλητές και τις αθλήτριες επιτραπέζιας αντισφαίρισης. Αναδεικνύεται επομένως η ανάγκη επιστημονικής διερεύνησης του αθλήματος αυτού.

Με βάση τα παραπάνω, σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να μελετήσει την επίδραση άσκησης επιτραπέζιας αντισφαίρισης σε δείκτες της οξειδοαναγωγικής κατάστασης του αίματος αθλητριών.

## Μέθοδος και Διαδικασία

### *Συμμετέχοντες*

Στη μελέτη έλαβαν μέρος 10 επίλεκτες αθλήτριες επιτραπέζιας αντισφαίρισης, ηλικίας  $16.1 \pm 1.9$  ετών, βάρους  $59.4 \pm 8.2$  kg και ύψος  $1.68 \pm 0.06$  m (μέση τιμή  $\pm$  τυπική απόκλιση). Οι συμμετέχουσες και οι γονείς τους ενημερώθηκαν προφορικά και γραπτά για τη διαδικασία της μελέτης και συγκατατέθηκαν ενυπογράφως να συμμετέχουν. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τη διακήρυξη του Ελσίνκι. Οι αθλήτριες ήταν υψηλού επιπέδου με συμμετοχές στην εθνική ομάδα, διακρίσεις σε διεθνείς αγώνες και πανελλήνιες νίκες. Δε λάμβαναν συμπληρώματα διατροφής την περίοδο της μελέτης, προσήλθαν ξεκούραστες στη συνεδρία της άσκησης και βρισκόνταν σε διάφορες φάσεις του καταμήνιου κύκλου τους.

### *Σχεδιασμός*

Οι αθλήτριες ασκήθηκαν σε ζεύγη επί 20 min. Η άσκηση περιλάμβανε εκτέλεση, με τη μέγιστη δυνατή ένταση, επιθετικής κίνησης (forehand spin) από τη μια αθλήτρια και μπλοκ (forehand) από την άλλη, με εναλλαγή των ρόλων ανά τρεις πόντους. Η άσκηση αυτή χρησιμοποιείται στην προπόνηση των αθλητριών. Πριν την άσκηση (και αφού είχε προηγηθεί ελαφριά προθέρμανση διάρκειας 10 min), αμέσως μετά και μία ώρα μετά την άσκηση οι αθλήτριες έδωσαν 6 mL φλεβικού αίματος προκειμένου να γίνουν οι αιματολογικές και βιοχημικές μετρήσεις. Έγινε γενική ανάλυση αίματος, προσδιορισμός γαλακτικού οξέος (μόνο πριν και αμέσως μετά την άσκηση) και προσδιορισμός κρεατινικής κινάσης (μόνο πριν και 1 h

**Πίνακας 1.** Δεδομένα αιματολογικών παραμέτρων (μέση τιμή ± τυπική απόκλιση)

	Πριν	Αμέσως μετά	1 h μετά	p
Αιματοκρίτης (%)	38.4 ± 4.0	39.8 ± 3.5	37.1 ± 4.0	< .001
Αιμοσφαιρίνη (g/dL)	12.4 ± 1.5	12.9 ± 1.5	12.0 ± 1.5	< .001
Ερυθροκύτταρα (M/μL)	4.5 ± 0.3	4.7 ± 0.3	4.4 ± 0.3	< .001
Λευκοκύτταρα (k/μL)	7.5 ± 1.1	10.5 ± 2.2	8.0 ± 1.5	< .001
Ουδετερόφιλα (k/μL)	4.2 ± 0.8	5.9 ± 1.2	5.1 ± 1.1	< .001
Λεμφοκύτταρα (k/μL)	2.6 ± 0.7	3.7 ± 1.1	2.2 ± 0.6	< .001
Μονοπύρηνα (k/μL)	0.6 ± 0.1	0.8 ± 0.2	0.6 ± 0.1	< .001

μετά την άσκηση). Επειδή για την καλύτερη εκτίμηση της οξειδοαναγωγικής κατάστασης προτείνεται η μέτρηση ενός συνόλου δεικτών του οξειδωτικού στρες και της αντιοξειδωτικής ικανότητας (Prior & Cao, 1999), μετρήθηκαν οι αντιοξειδωτικές παράμετροι ανηγμένη γλουταθειόνη (Pastore, Federici, Bertini, & Piemonte, 2003), ουρικό οξύ (Τσαλουχίδου, Πετρίδου, & Μούγιος, 2007) και χολερυθρίνη (Stocker, Yamamoto, McDonagh, Glazer, & Ames, 1987), καθώς και οι δείκτες οξειδωτικής βλάβης 8-υδροξυ-2'-δεοξυγουανοσίνης (δείκτης υπεροξειδωσης του DNA), μηλονική δι-αλδεύδη (δείκτης υπεροξειδωσης των λιπιδίων) και πρωτεϊνικά καρβονύλια (δείκτης υπεροξειδωσης των πρωτεϊνών) (Griffiths et al., 2002).

#### Αιματολογικές και βιοχημικές αναλύσεις

Η γενική ανάλυση αίματος έγινε σε αυτόματο αναλυτή Coulter Microdiff (Miami, FL, USA). Από τις τιμές της αιμοσφαιρίνης και του αιματοκρίτη υπολογίστηκε η μεταβολή του όγκου του πλάσματος, αμέσως μετά και 1 h μετά την άσκηση σε σχέση με πριν την άσκηση, σύμφωνα με τον τύπο: Όγκος πλάσματος μετά/Όγκος πλάσματος πριν = Αιμοσφαιρίνη πριν/Αιμοσφαιρίνη μετά × (100 - αιματοκρίτης μετά)/ (100 - αιματοκρίτης πριν) (Μουγιος, 2006). Ο προσδιορισμός του γαλακτικού οξέος έγινε σε ολικό αίμα σύμφωνα με μια φωτομετρική ενζυμική μέθοδο της Sigma (St. Louis, MO, USA, μέθοδος 826-UV). Ο προσδιορισμός της κρεατινικής κίνησης έγινε στο πλάσμα με σύνολο αντιδραστηρίων της εταιρείας Centronic (Wartenberg, Germany). Ο προσδιορισμός της ανηγμένης γλουταθειόνης έγινε στα ερυθροκύτταρα (τα οποία παρασκευάστηκαν με φυγοκέντρηση του ολικού αίματος, αφαίρεση του πλάσματος και των λευκοκυττάρων και τριπλή πλύση με φυσιολογικό ορό), σύμφωνα με τη μέθοδο των Reddy, Murthy, Krishna και Prabhakar (2004), με τη διαφορά ότι η απαλλαγή των δειγμάτων από τις πρωτεΐνες τους έγινε μέσω διήθησης με φυγο-

κέντρηση αντί για όξινη καταβύθιση. Οι προσδιορισμοί του ουρικού οξέος και της χολερυθρίνης έγιναν στο πλάσμα με σύνολα αντιδραστηρίων της εταιρείας Spinreact (Girona, Spain). Ο προσδιορισμός της 8-υδροξυ-2'-δεοξυγουανοσίνης έγινε στο πλάσμα με χρήση συνόλου αντιδραστηρίων της εταιρείας Cayman (Ann Arbor, MI, USA). Ο προσδιορισμός της μηλονικής διαλδεύδης έγινε στο πλάσμα σύμφωνα με τη μέθοδο του Gérard-Monnier και των συνεργατών του (1998). Ο προσδιορισμός των πρωτεϊνικών καρβονυλίων έγινε στο πλάσμα σύμφωνα με τη μέθοδο των Reznick και Packer (1994) τροποποιημένη σύμφωνα με τον Patsoukis και τους συνεργάτες του (2004). Ο προσδιορισμός των ολικών πρωτεϊνών του πλάσματος (για να εκφραστούν τα πρωτεϊνικά καρβονύλια ως προς αυτές) έγινε με τη μέθοδο Bradford και με χρήση αντιδραστηρίου από τη Sigma.

#### Στατιστική επεξεργασία

Για τον έλεγχο της κατανομής των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε η δοκιμασία Shapiro-Wilk. Στη συνέχεια, για τις παραμέτρους των οποίων η κατανομή δε διέφερε σημαντικά από την κανονική, χρησιμοποιήθηκε ANOVA με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις, ενώ για τις παραμέτρους των οποίων η κατανομή διέφερε σημαντικά από την κανονική, χρησιμοποιήθηκε δοκιμασία Friedman. Όπου υπήρχαν δύο παρατηρήσεις (γαλακτικό οξύ και κρεατινική κίνηση) χρησιμοποιήθηκε ζευγαρωτή δοκιμασία t του Student. Το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας ορίστηκε στο  $\alpha = 0,05$  και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως μέση τιμή ± τυπική απόκλιση.

#### Αποτελέσματα

Τα δεδομένα των κυριότερων αιματολογικών παραμέτρων παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Όλες οι παράμετροι μεταβλήθηκαν σημαντικά, παρουσιάζοντας αύξηση αμέσως μετά την άσκηση και μείωση 1 h μετά. Ο όγκος του πλάσματος με-

**Πίνακας 2.** Δεδομένα αντιοξειδωτικών παραμέτρων (μέση τιμή ± τυπική απόκλιση)

	Πριν	Αμέσως μετά	1 h μετά	p
Ανηγγμένη γλουταθειόνη (μmol/g αιμοσφαιρίνης)	8.41 ± 1.97	8.21 ± 2.05	8.58 ± 1.72	.355
Ουρικό οξύ (mol/L)	0.246 ± 0.049	0.283 ± 0.053	0.253 ± 0.045	< .001
Χολερυθρίνη (μmol/L)	19.63 ± 9.79	23.06 ± 11.88	18.29 ± 11.62	.006

ταβλήθηκε σημαντικά ( $p < .001$ ), με την τιμή αμέσως μετά την άσκηση να είναι  $0.94 \pm 0.04$  (αιμοσυμπύκνωση) και την τιμή 1 h μετά την άσκηση να είναι  $1.06 \pm 0.04$  της τιμής ηρεμίας (αιματοραϊώση). Το γαλακτικό οξύ αυξήθηκε σημαντικά από  $1.47 \pm 0.74$  σε  $4.41 \pm 1.34$  mmol/L ( $p < .001$ ) μετά την άσκηση. Η καταλυτική συγκέντρωση της κρεατινικής κινάσης δεν παρουσίασε σημαντική μεταβολή και ήταν  $141 \pm 97$  και  $148 \pm 104$  U/L (στοις 37°C) πριν και 1 h μετά την άσκηση αντίστοιχα.

Τα δεδομένα των παραμέτρων που έχουν αντιοξειδωτική δράση παρουσιάζονται στον Πίνακα

2. Ενώ η ανηγμένη γλουταθειόνη δε μεταβλήθηκε σημαντικά, το ουρικό οξύ και η χολερυθρίνη μεταβλήθηκαν σημαντικά, με αύξηση αμέσως μετά την άσκηση και μείωση 1 h μετά την άσκηση. Από τις παραμέτρους που είναι ενδεικτικές της οξειδωτικής βλάβης (Πίνακας 3), μόνο στη μηλονική διαλδεύδη βρέθηκε σημαντική επίδραση του χρόνου, παρά το γεγονός ότι τόσο στην 8-υδροξυ-2'-δεοξυγουανοσίνη όσο και στα πρωτεϊνικά καρβονύλια παρουσιάστηκε παρόμοια τάση αύξησης και μείωσης αμέσως και 1 h μετά την άσκηση αντίστοιχα.

**Πίνακας 3.** Δεδομένα παραμέτρων οξειδωτικού στρες (μέση τιμή ± τυπική απόκλιση).

	Πριν	Αμέσως μετά	1 h μετά	p
8-υδροξυ-2'-δεοξυγουανοσίνη (ng/mL)	9.73 ± 1.73	10.33 ± 1.40	10.05 ± 2.33	.393
Μηλονική διαλδεύδη (nmol/mL)	0.74 ± 0.34	1.08 ± 0.54	0.78 ± 0.29	.012
Πρωτεϊνικά καρβονύλια (μmol/mg πρωτεΐνης)	0.82 ± 0.15	0.91 ± 0.20	0.84 ± 0.27	.459

## Συζήτηση

Στην παρούσα μελέτη διερευνήθηκε η επίδραση άσκησης επιτραπέζιας αντισφαίρισης στην οξειδοαναγωγική κατάσταση του αίματος επιλεκτών αθλητριών. Η επιτραπέζια αντισφαίριση, παρότι αποτελεί ένα ευχάριστο και δημοφιλές άθλημα, στερείται δεδομένων σχετικά με τις βιοχημικές αποκρίσεις των αθλητών και αθλητριών στην εκτέλεση κάποιας σχετικής μορφής άσκησης. Επιπλέον, σε ό,τι αφορά την οξειδοαναγωγική κατάσταση, ιδιαίτερο ενδιαφέρον συγκεντρώνει πλέον η μελέτη μορφών άσκησης που χρησιμοποιούνται από τους αθλητές και τις αθλήτριες του κάθε αθλήματος στην καθημερινή τους προπόνηση και τον αγώνα, καθώς αυτού του είδους οι μελέτες θα μπορούσαν πιθανώς να υποδείξουν καλύτερους χειρισμούς για την προάσπιση της υγείας και την αύξηση της αποτελεσματικότητας της προπόνησης.

Η αύξηση της συγκέντρωσης του γαλακτικού οξέος στο αίμα μετά την άσκηση, η αιμοσυμπύκνωση, η αύξηση των λευκοκυττάρων (λευκοκυττάρωση) και ιδιαίτερα η αύξηση των ουδετερόφιλων και των μονοπύρηνων (ενδεικτική φλεγμονώδους

αντίδρασης), συνηγορούν υπέρ του ότι προκλήθηκε στις αθλήτριες ασκησιογενές στρες. Οι μεταβολές αυτές φαίνεται να αντικατοπτρίζουν την προσπάθεια που κατέβαλαν οι αθλήτριες για εκτέλεση της άσκησης με τη μέγιστη δυνατή ένταση. Με δεδομένη τη διάρκεια της άσκησης, το είδος της και το φύλο, η μέση συγκέντρωση γαλακτικού οξέος μετά την άσκηση κρίνεται λογική (Mougiος, 2006). Παρότι η μέτρηση γαλακτικού οξέος είναι πολύ συνηθισμένη, δεν μπορούσαμε να βρούμε τιμές γαλακτικού οξέος μετά από άσκηση επιτραπέζιας αντισφαίρισης στη βιβλιογραφία. Οι αθλήτριες δεν είχαν ενδείξεις μυϊκής καταπόνησης την ημέρα της δοκιμασίας, όπως αυτή μπορεί να εκτιμηθεί από τη συγκέντρωση της κρεατινικής κινάσης, καθώς οι τιμές της πριν και μετά την άσκηση ήταν μέσα στο διάστημα αναφοράς για το γενικό πληθυσμό (20-180 U/L στους 37°C, Wu, 2006) και δε μεταβλήθηκαν σημαντικά. Βέβαια, αύξηση της κρεατινικής κινάσης εξαιτίας της άσκησης που εκτελέστηκε θα αναμενόταν από την επόμενη ημέρα (Mougiος, 2006). Η γνώση των επιπέδων μυϊκής καταπόνησης είναι χρήσιμη, καθώς η ύπαρξη μυϊκής καταστροφής είναι σημαντικός παράγοντας πρόκλησης οξειδωτικής βλάβης (Nikolaidis et al., 2008).

Η ανηγμένη γλουταθειόνη είναι ένα τριπεπτιδίο με κεντρικό ρόλο στην κυτταρική αντιοξειδωτική προστασία, ενώ και σε συνθήκες άσκησης τα επίπεδα γλουταθειόνης είναι κρίσιμα για την αντιμετώπιση του ασκησιογενούς οξειδωτικού στρες (Pastore et al., 2003; Sen, Atalay, & Hännine, 1994). Η συγκέντρωσή της στα ερυθροκύτταρα δε μεταβλήθηκε σημαντικά μετά την άσκηση, υποδεικνύοντας πιθανώς ότι το ερέθισμα της άσκησης δεν ήταν ικανό να προκαλέσει μεταβολή στα επίπεδα γλουταθειόνης στο πλαίσιο της συμμετοχής της στον αντιοξειδωτικό μηχανισμό των ερυθροκυττάρων στο αίμα των αθλητριών.

Από την άλλη πλευρά, τόσο το ουρικό οξύ όσο και η χολερυθρίνη μεταβλήθηκαν σημαντικά στο πλάσμα, με αύξηση αμέσως μετά την άσκηση κι επάνοδο σχεδόν στα βασικά επίπεδα 1 h μετά την άσκηση. Το ουρικό οξύ είναι το τελικό προϊόν της αποικοδόμησης των πουρινών (Τσαλουχίδου και συν., 2007), ενώ η χολερυθρίνη είναι προϊόν της αποικοδόμησης της αίμης, δηλαδή της προσθετικής ομάδας της αιμοσφαιρίνης και άλλων πρωτεϊνών (Kaur et al., 2003). Παρότι τα δυο αυτά μεταβολικά προϊόντα έχουν τοξικές ιδιότητες σε μεγάλες συγκεντρώσεις, κατέχουν και σημαντικές αντιοξειδωτικές ιδιότητες (Τσαλουχίδου και συν., 2007; Kaur et al., 2003). Με δεδομένο αυτό, είναι πιθανό να μην είναι τυχαία η παρόμοια διακύμανσή τους με την άσκηση και, εκτός από μεταβολικά προϊόντα, να είναι και σημαντικοί μέτοχοι στην αντιοξειδωτική άμυνα του πλάσματος.

Η αντιοξειδωτική δράση του ουρικού οξέος είναι ευρύτερα γνωστή κι έχει βρεθεί να αποτελεί περισσότερο από το 50% της ολικής αντιοξειδωτικής ικανότητας του πλάσματος (Wayner, Burton, Ingold, Barclay, & Locke, 1987). Όμως, και η αντιοξειδωτική δράση της χολερυθρίνης φαίνεται να αποκτά συνεχώς μεγαλύτερη σημασία (Sedlak et al., 2009). Μάλιστα, οι Sedlak et al. (2009) αναφέρουν ότι η γλουταθειόνη και η χολερυθρίνη έχουν συμπληρωματικές αντιοξειδωτικές ιδιότητες, με την πρώτη να εμποδίζει κυρίως την πρωτεϊνική υπεροξείδωση και τη δεύτερη τη λιπιδική υπεροξείδωση. Αν συνδυαστούν τα δεδομένα των αντιοξειδωτικών γλουταθειόνης και χολερυθρίνης, με εκείνα των παραμέτρων οξειδωτικής βλάβης πρωτεϊνικών καρβονυλίων και μηλονικής διαλδεύδης της παρούσας μελέτης, μπορούν να διαμορφωθούν ενδιαφέρουσες υποθέσεις. Το ότι ανηγμένη γλουταθειόνη και πρωτεϊνικά καρβονύλια δε μεταβλήθηκαν σημαντικά κατά την άσκηση, μπορεί να σημαίνει ότι διατηρήθηκε μια ισορροπία μεταξύ τους, είτε γιατί η άσκηση δεν προκάλεσε πρωτεϊνική υπεροξείδωση ή γιατί η γλουταθειόνη κατάφερε να την εξουδετερώσει λόγω, για παράδειγμα, επαρκούς αρχικής συγκέντρωσης. Από την άλλη πλευρά, το ότι η χολερυθρίνη και η μηλονική διαλδεύδη αυ-

ξήθηκαν αμέσως μετά την άσκηση και επανήλθαν στη 1 h μετά, ίσως δείχνει ότι τα λιπίδια είναι πιο ευαίσθητα σε υπεροξείδωση από τις πρωτεΐνες κατά την άσκηση και ότι η αύξηση της χολερυθρίνης επιτελεί το έργο της προστασίας των λιπιδίων. Κάτω από αυτό το πρίσμα, η επαναφορά των τιμών τόσο της χολερυθρίνης όσο και της μηλονικής διαλδεύδης στα βασικά επίπεδα μία ώρα μετά τη άσκηση, ίσως υποδεικνύει την αποκατάσταση της ομοιόστασης αυτού του πιθανού συστήματος. Επιπλέον, στη βάση των ενδείξεων ότι και το ουρικό οξύ συμβάλλει στην αντιοξειδωτική προστασία των λιπιδίων (Τσαλουχίδου και συν., 2007) και της παρόμοιας με τη χολερυθρίνη και τη μηλονική διαλδεύδη διακύμανσής του (αύξηση αμέσως μετά την άσκηση και επάνοδος στο βασικό επίπεδο μία ώρα μετά), υποθέτουμε ότι ίσως και το ουρικό οξύ συμμετέχει σε αυτό το οξειδοαναγωγικό σύστημα.

Η 8-υδροξυ-2'-δεοξυγουανοσίνη είναι από τους κυριότερους δείκτες οξειδωτικής βλάβης του DNA, για αυτό και χρησιμοποιείται ευρέως ως δείκτης οξειδωτικού στρες (Valavanidis, Vlachogianni, & Fotakis, 2009). Το εύρημα ότι δεν υπήρξε σημαντική μεταβολή της μετά την άσκηση, με δεδομένο το προπονητικό επίπεδο των αθλητριών, υποδεικνύει ότι οι προσαρμογές της αντιοξειδωτικής άμυνας και των μηχανισμών επιδιόρθωσης του DNA στην προπόνηση περιορίζουν τη συσσώρευση οξειδωτικής βλάβης στο DNA. Σε αυτό συνηγορούν τα συμπεράσματα μελετών των Radák et al. (1999, 2002 και 2007), οι οποίοι βρήκαν ότι η προπόνηση βελτίωσε την προστασία του DNA από το οξειδωτικό στρες και αύξησε τη δραστηριότητα ενζύμων που συμβάλλουν στην επιδιόρθωσή του.

Το γεγονός ότι οι τιμές όλων των δεικτών της οξειδοαναγωγικής κατάστασης που μετρήθηκαν επέστρεψαν περίπου στα επίπεδα ηρεμίας μία ώρα μετά την άσκηση, υποδεικνύει ότι η συγκεκριμένη άσκηση ήταν ικανή να προκαλέσει μια διαταραχή στην οξειδοαναγωγική ισορροπία, χωρίς όμως αυτή η διαταραχή να είναι παρατεταμένη. Αυτό μπορεί να οφείλεται στα επίπεδα επιβάρυνσης της άσκησης, καθώς, όπως φαίνεται από τη βιβλιογραφία, σημαντικές αυξήσεις στο οξειδωτικό στρες προκαλούνται από εξαντλητικές ασκήσεις (Viña et al., 2000). Από τη στιγμή που επρόκειτο για μια μορφή άσκησης ενταγμένη στο προπονητικό πρόγραμμα των αθλητριών επιτραπέζιας αντισφαίρισης, προφανώς ο οργανισμός τους είχε προσαρμοστεί στο να ανταπεξέρχεται σε τέτοιου είδους επιβάρυνση. Επιπλέον, αυτό επιβεβαιώνει τα όσα απαντώνται στη βιβλιογραφία, ότι δηλαδή οι προπονημένοι αθλητές είναι καλύτερα προστατευμένοι απέναντι στο ασκησιογενές οξειδωτικό στρες, λόγω της αύξησης της αποτελεσματικότητας της αντιοξειδωτικής ικανότητας με την προπόνηση (Finaud et al., 2006). Μια άλλη πιθανότητα είναι η μειωμένη πα-

ραγωγή δραστηκών ειδών οξυγόνου από τους προπονημένους μύες (Brooks, Vasilaki, Larkin, McArdle, & Jackson, 2008). Ακόμη, η διακύμανση που παρουσίασαν οι δείκτες της οξειδοαναγωγικής κατάστασης (αύξηση και μετά μείωση), ίσως δείχνει την ύπαρξη ικανού ερεθίσματος (άσκηση) για την πρόκληση προσαρμογών στην αντιοξειδωτική ικανότητα. Όλο και περισσότερο τελευταία γίνεται αποδεκτό, σε συμφωνία με την υπόθεση της όρμησης, ότι η συστηματική άσκηση, με την επαναλαμβανόμενη πρόκληση οξειδωτικού στρες (σε σχετικά χαμηλά επίπεδα), συμβάλλει στην ενίσχυση της αντιοξειδωτικής άμυνας του οργανισμού (Radák et al., 2008; Fisher-Wellman & Bloomer, 2009).

Από τα ευρήματα της παρούσας μελέτης συμπεραίνεται ότι, αν και η άσκηση επιτραπέζιας αντισφαίρισης προκάλεσε μεταβολές σε παραμέτρους της οξειδοαναγωγικής κατάστασης, οι αλλαγές αυτές δεν ήταν παρατεταμένες, γεγονός που υπο-

δεικνύει ότι οι αθλήτριες ήταν προστατευμένες απέναντι στο οξειδωτικό στρες. Αυτό οφείλεται πιθανώς στις προσαρμογές που έχουν επέλθει στις αθλήτριες με την προπόνηση. Διαφορετικά, θα μπορούσε να υποστηριχτεί ότι η επιτραπέζια αντισφαίριση δεν προκαλεί παρατεταμένο οξειδωτικό στρες, τουλάχιστον σε προπονημένες αθλήτριες. Οι μεταβολές που βρέθηκαν αμέσως μετά την άσκηση, πιθανώς εμπλέκονται σε μηχανισμούς πρόκλησης προσαρμογών στην άσκηση. Επιπλέον, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα ευρήματα που πιθανώς δείχνουν συμπληρωματική αντιοξειδωτική δράση της γλουταθειόνης απέναντι στην πρωτεϊνική υπεροξειδωση και του ουρικού οξέος και της χολερυθρίνης απέναντι στη λιπιδική υπεροξειδωση. Περαιτέρω διερεύνηση αυτών των υποθέσεων, με μέτρηση των παραπάνω παραμέτρων σε παρόμοια πειραματικά πρωτόκολλα, θα ήταν πολύ χρήσιμη για την πλήρη επιβεβαίωσή τους.

### Σημασία για τον Αγωνιστικό Αθλητισμό

Η οξειδοαναγωγική κατάσταση είναι πολύ σημαντική για την υγεία του ανθρώπου. Η άσκηση την επηρεάζει και το γεγονός αυτό καθιστά χρήσιμη τη μελέτη της οξειδοαναγωγικής κατάστασης σε αθλητικούς πληθυσμούς. Η επιτραπέζια αντισφαίριση είναι ένα δημοφιλές άθλημα, για το οποίο υπάρχουν πολύ λίγα δεδομένα στη βιβλιογραφία. Η παρούσα μελέτη εξετάζει την επίδραση άσκησης επιτραπέζιας αντισφαίρισης στην οξειδοαναγωγική κατάσταση επιλεκτών αθλητριών. Τα συμπεράσματα της μελέτης υποδεικνύουν ότι η συγκεκριμένη μορφή άσκησης, δεν προκάλεσε παρατεταμένη διαταραχή της οξειδοαναγωγικής κατάστασης, ενώ από την άλλη πλευρά αναδεικνύονται οι πιθανές ωφέλιμες προσαρμογές στην άσκηση και την προπόνηση επιτραπέζιας αντισφαίρισης.

### Βιβλιογραφία

- Azzi, A., Davies, K.J.A., & Kelly, F. (2004). Free radical biology - terminology and critical thinking. *FEBS Letters*, 558, 3-6.
- Bloomer, R.J. (2008). Effect of exercise on oxidative stress biomarkers. *Advances in Clinical Chemistry*, 46, 1-50.
- Brooks, S.V., Vasilaki, A., Larkin, L.M., McArdle, A., & Jackson, M. (2008). Repeated bouts of aerobic exercise lead to reductions in skeletal muscle free radical generation and nuclear factor κB activation. *Journal of Physiology*, 596 (16), 3979-3990.
- Dröge, W. (2002). Free radicals in the physiological control of cell function. *Physiological Reviews*, 82, 47-95.
- Finaud, J., Lac, G., & Filaire, E. (2006). Oxidative stress: Relationship with exercise and training. *Sports Medicine*, 36, 327-358.
- Fisher-Wellman, K., & Bloomer, R.J. (2009). Acute exercise and oxidative stress: A 30 year history. *Dynamic Medicine*, 8:1.
- Gérard-Monnier, D., Erdelmeier, I., Régnard, K., Moze-Henry, N., Yadan, J.-C., & Chaudière, J. (1998). Reaction of 1-methyl-2-phenylindole with malondialdehyde and 4-hydroxyalkenals. Analytical applications to a colorimetric assay of lipid peroxidation. *Chemical Research in Toxicology*, 11, 1176-1183.
- Gomez-Cabrera, M.-C., Domenech, E., & Viña, J. (2008). Moderate exercise is an antioxidant: Upregulation of antioxidant genes by training. *Free Radical Biology & Medicine*, 44, 126-131.
- Griffiths, H.R., Møller, L., Bartosz, G., Bast, A., Bertoni-Freddari, C., Collins, A., et al. (2002). Biomarkers. *Molecular Aspects of Medicine*, 23, 101-208.
- Jackson, M.J. (2008). Free radicals generated by contracting muscle: By-products of metabolism or key regulators of muscle function? *Free Radical Biology & Medicine*, 44, 132-141.
- Kaur, H., Hughes, M.N., Green, C.J., Naughton, P., Foresti, R., & Motterlini, R. (2003). Interaction of bilirubin and biliverdin with reactive nitrogen species. *FEBS Letters*, 543, 113-119.
- Lees, A. (2003). Science and the major racket sports: A review. *Journal of Sports Sciences*, 21, 707-732.
- Longo, U.G., Olivia, F., Denaro, V., & Maffulli, N. (2008). Oxygen species and overuse tendinopathy in athletes. *Disability & Rehabilitation*,



- 30, 1563-1571.
- Mougiος, V. (2006). *Exercise Biochemistry*. Human Kinetics, Champaign, IL, pp. 279, 285-286.
- Nikolaidis, M.G., Jamurtas, A.Z., Paschalis, V., Fatouros, I.G., Koutedakis, Y., & Kouretas, D. (2008). The effect of muscle-damaging exercise on blood and skeletal muscle oxidative stress: Magnitude and time-course considerations. *Sports Medicine*, 38, 579-606.
- Pastore, A., Federici, G., Bertini, E., & Piemonte, F. (2003). Analysis of glutathione: implication in redox and detoxification. *Clinica Chimica Acta*, 333, 19-39.
- Patsoukis, N., Zervoudakis, G., Panagopoulos, N.T., Gerogiou, C.D., Angelatou, F., & Matsokis, N.A. (2004). Thiol redox state (TRS) and oxidative stress in the mouse hippocampus after pentylenetetrazol-induced epileptic seizure. *Neuroscience Letters*, 357, 83-86.
- Powers, S.K., & Jackson, M.J. (2008). Exercise-induced oxidative stress: Cellular mechanisms and impact on muscle force production. *Physiological Reviews*, 88, 1243-1276.
- Prior, R.L., & Cao, G. (1999). In vivo total antioxidant capacity: Comparison of different analytical methods. *Free Radical Biology & Medicine*, 27, 1173-1181.
- Radák, Z., Chung, H.Y., & Goto, S. (2008). Systemic adaptation to oxidative challenge induced by regular exercise. *Free Radical Biology & Medicine*, 44, 153-159.
- Radák, Z., Kaneko, T., Tahara, S., Nakamoto, H., Ohno, H., Sasvári, M., et al. (1999). The effect of exercise training on oxidative damage of lipids, proteins, and DNA in rat skeletal muscle: Evidence for beneficial outcomes. *Free Radical Biology & Medicine*, 27, 69-74.
- Radák, Z., Kumagai, S., Nakamoto, H., & Goto, S. (2007). 8-Oxoguanosine and uracil repair of nuclear and mitochondrial DNA in red and white skeletal muscle of exercise-trained old rats. *Journal of Applied Physiology*, 102, 1696-1701.
- Radák, Z., Naito, H., Kaneko, T., Tahara, S., Nakamoto, H., Takahashi, R., et al. (2002). Exercise training decreases DNA damage and increases DNA repair and resistance against oxidative stress of proteins in aged rat skeletal muscle. *Pflugers Archiv - European Journal of Physiology*, 445, 273-278.
- Reddy, Y.N., Murthy, S.V., Krishna, D.R., & Prabhakar, M.C. (2004). Role of free radicals and antioxidants in tuberculosis patients. *Indian Journal of Tuberculosis*, 51, 213-218.
- Reznick, A.Z., & Packer, L. (1994). Oxidative damage to proteins: Spectrophotometric method for carbonyl assay. *Methods in Enzymology*, 233, 357-363.
- Sedlak, T.W., Saleh, M., Higginson, D.S., Paul, B.D., Juluri, K.R., & Snyder, S.H. (2009). Bilirubin and glutathione have complementary antioxidant and cytoprotective roles. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106, 5171-5176.
- Sen, C.K., Atalay, M., & Hännine, O. (1994). Exercisenduced oxidative stress: Glutathione supplementation and deficiency. *Journal of Applied Physiology*, 77, 2177-2187.
- Stocker, R., Yamamoto, Y., McDonagh, A.F., Glazer, A.N., & Ames, B.N. (1987). Bilirubin is an antioxidant of possible physiological importance. *Science*, 235, 1043-1046.
- Τσαλουχίδου Σ., Πετρίδου, Α., & Μούγιος, Β. (2007). Άσκηση και αντιοξειδωτική ικανότητα του ουρικού οξέος. *Αναζητήσεις στη Φυσική Αγωγή & τον Αθλητισμό*, 5, 451-458.
- Valavanidis, A., Vlachogianni, T., & Fotakis, C. (2009). 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine (8-OHdG): A critical biomarker of oxidative stress and carcinogenesis. *Journal of Environmental Science and Health Part C*, 27, 120-139.
- Vaña, J., Gomez-Cabrera, M.-C., Lloret, A., Marquez, R., Miñana, J.B., Pallardó, F.V., et al. (2000). Free radicals in exhaustive physical exercise: Mechanism of production, and protection by antioxidants. *IUBMB Life*, 50, 271-277.
- Wayner, D.D.M., Burton, G.W., Ingold, K.U., Barclay, L.R.C., & Locke, S.J. (1987). The relative contributions of vitamin E, urate, ascorbate and proteins to the total peroxyl radical-trapping antioxidant activity of human blood plasma. *Biochimica et Biophysica Acta*, 924, 408-419.
- Wu, A.H.B. (2006). *Tietz Clinical Guide to Laboratory Tests*. Saunders, St. Louis, MI, pp. 306-309.

### Ευχαριστίες

Οι συγγραφείς ευχαριστούν τον κ. Δημήτριο Καραϊσκό, προπονητή επιτραπέζιας αντισφαίρισης της Χ.Α.Ν. Θεσσαλονίκης, για τη συμβολή του στη διεξαγωγή της έρευνας. Η έρευνα αυτή υποστηρίχθηκε εν μέρει από μια δωρεά του κοινωφελούς Ιδρύματος Μποδοσάκη.

