



Φυσιολογικές ανταποκρίσεις στη Ρυθμική Γυμναστική: Το καλλιτεχνικό άθλημα που “κρύβει” την ένταση της προσπάθειας

Δούδα Ελένη

Καθηγήτρια Τ.Ε.Φ.Α.Α., Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

Τοκμακίδης Σάββας

Ομότιμος Καθηγητής Τ.Ε.Φ.Α.Α., Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας ήταν να προσδιορίσει τις φυσιολογικές ανταποκρίσεις και την ένταση της επιβάρυνσης κατά τη διάρκεια εκτέλεσης διαφορετικών αγωνιστικών προγραμμάτων Ρυθμικής Γυμναστικής. Στη μελέτη συμμετείχαν συνολικά 39 αθλήτριες, ηλικίας $13,4 \pm 1,6$ ετών, υψηλού επιπέδου ($n=15$), μέλη των Εθνικών Ομάδων Ελλάδας και Κύπρου καθώς και μεσαίου επιπέδου ($n=24$) με αγωνιστική συμμετοχή σε Διασυλλογικούς και Πανελλήνιους αγώνες. Μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο (VO_{2max} , HR, La, RPE) και στον αγωνιστικό χώρο (VO_2 , HR, La) σε διαφορετικές ημέρες. Κατά τη διάρκεια εκτέλεσης στον αγωνιστικό χώρο, κάθε αθλήτρια εκτελούσε από 4 μέχρι 8 προσπάθειες στο κάθε όργανο και συνολικά αξιολογήθηκαν 214 προγράμματα με διαφορετικά όργανα (στεφάνι, σχοινάκι, μπάλα, κορύνες, κορδέλα). Οι αθλήτριες εμφάνισαν υψηλότερες μεταβολικές τιμές στον αγωνιστικό χώρο συγκριτικά με την εργαστηριακή δοκιμασία στο κυκλοεργόμετρο. Σημαντικές διαφορές παρουσίασε η κατανάλωση οξυγόνου (VO_2 , $p<0,001$) ενώ η καρδιακή συχνότητα (HR) και η συγκέντρωση γαλακτικού (La) εμφάνισαν παρόμοιες τιμές μεταξύ των οργάνων, παρά τη διαφορετική υφή που παρουσιάζουν. Η ένταση της προπόνησης κυμάνθηκε από 80% μέχρι 100% της $KΣ_{max}$ καθόλη τη διάρκεια της αγωνιστικής εκτέλεσης και στα πέντε όργανα. Τα αποτελέσματα προσδιορίζουν το υψηλό επίπεδο επιβάρυνσης που δέχονται οι αθλήτριες Ρυθμικής Γυμναστικής κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των αγωνιστικών τους προγραμμάτων. Αυτές τις έντονες, ωστόσο, μεταβολικές απαιτήσεις δεν τις αντιλαμβάνεται ο θεατής όταν παρακολουθεί τους αγώνες, καθώς η έντεχνη χορογραφία και η δεξιοτεχνία εκτέλεσης με τα διάφορα όργανα αποκρύπτουν την υπερμέγιστη ένταση της προσπάθειας που καταβάλλεται εκ μέρους των νεαρών αθλητριών.

Λέξεις κλειδιά: προπόνηση, επιβάρυνση, αερόβια-αναερόβια ικανότητα, αθλήτριες Ρυθμικής Γυμναστικής

Εισαγωγή

Τα αγωνιστικά προγράμματα της Ρυθμικής Γυμναστικής βάσει του κώδικα βαθμολογίας της Διεθνούς Ομοσπονδίας Γυμναστικής διαρκούν μέχρι 1'30'' (FIG-Code of Points, 2024) και

Διεύθυνση αλληλογραφίας:

Δούδα Ελένη
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης
Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού
Πανεπιστημιούπολη, 69100 Κομοτηνή
edouda@phyed.duth.gr

E-mail:

χαρακτηρίζονται από υψηλή ένταση που είναι ανάλογη με το είδος του οργάνου και με την ποιότητα δυσκολιών της κάθε αγωνιστικής σύνθεσης. Η ένταση αυτή μπορεί να προσδιοριστεί από την ενέργεια που καταναλώνει η αθλήτρια κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του προγράμματος, συνδέεται με τις τεχνικές απαιτήσεις της κάθε αγωνιστικής σύνθεσης και συχνά επηρεάζεται από τις αλλαγές του κώδικα βαθμολογίας (Sierra-Palmeiro et al., 2019). Κάθε αύξηση όμως στην παραγωγή ενέργειας συνοδεύεται από την αύξηση της κατανάλωσης οξυγόνου και της καρδιακής συχνότητας. Όσο αυξάνεται η ένταση του μυϊκού έργου, τόσο αυξάνεται η καρδιακή συχνότητα και η κατανάλωση οξυγόνου ενώ από την άλλη μεριά, η συσσώρευση του γαλακτικού στο αίμα υποδηλώνει τη συμμετοχή του αναερόβιου μεταβολισμού.

Η πρόσληψη οξυγόνου ωστόσο, εξαρτάται από την καρδιακή παροχή και οξυγόνο που καταναλώνεται στους ιστούς ενώ η καρδιακή παροχή συνδέεται με τον όγκο παλμού και την καρδιακή συχνότητα. Κατά συνέπεια, υπάρχει μια αλληλεξάρτηση μεταξύ πρόσληψης οξυγόνου και καρδιακής συχνότητας και η σχέση που ενώνει τις δύο αυτές παραμέτρους βρέθηκε ότι είναι γραμμική για τιμές όμως που κυμαίνονται από 120 μέχρι 170 παλμούς/λεπτό (Tokmakidis, 1983). Προσδιορίζοντας λοιπόν αυτή τη σχέση με ακριβείς εργαστηριακές μετρήσεις, γίνεται εφικτός ο υπολογισμός της κατανάλωσης οξυγόνου μετρώντας κάθε φορά την καρδιακή συχνότητα.

Κατά τις εργαστηριακές δοκιμασίες όμως, οι φυσιολογικές ανταποκρίσεις της άσκησης εξετάζονται επιστρατεύοντας συγκεκριμένες μυϊκές ομάδες, οι οποίες πολλές φορές δεν προσεγγίζουν τις εξειδικευμένες απαιτήσεις κάποιου αθλήματος. Για τον λόγο αυτό, έχουν αναπτυχθεί ειδικές τεχνικές που προβλέπουν την VO_{2max} μετρώντας το O_2 αποκατάστασης (Di Prampero et al., 1976; Costill et al., 1985; Leger et al., 1980; Leger et al., 1982; Leger et al., 1983) παρουσιάζοντας υψηλούς συντελεστές συσχέτισης μεταξύ VO_{2max} και VO_2 αποκατάστασης ($r=0.89-0.98$). Η εφαρμογή ωστόσο μαθηματικών γραμμικών ή εκθετικών μοντέλων της καμπύλης του O_2 αποκατάστασης, με οπισθοχρονική εξαγωγή εκτιμήσεων (linear or exponential backward extrapolation), επιτρέπει την αξιολόγηση της κατανάλωσης οξυγόνου και προσδιορίζει το ενεργειακό κόστος της άσκησης αξιολογώντας τις ίδιες μυϊκές ομάδες που δραστηριοποιούνται στο αντίστοιχο άθλημα.

Στη Ρυθμική Γυμναστική έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές μελέτες που αναφέρονται στα μορφολογικά χαρακτηριστικά (Georgopoulos et al., 1999; Douda, Lapididis & Tokmakidis, 2002b; Di Cagno et al., 2008) και στις φυσικές ικανότητες των αθλητριών (Douda, Tokmakidis & Tsigilis, 2002a; Douda et al., 2007; Calavalle et al., 2008; Özengin et al., 2011) ενώ οι μελέτες που αναφέρονται στα φυσιολογικά χαρακτηριστικά των αθλητριών περιορίζονται στην αξιολόγηση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου στο εργαστήριο (Gionet et al., 1986; Alexander, 1987; Alexander, 1989; Alexander, 1991a; Alexander, 1991b; Hume et al., 1993; Di Cagno et al., 2010; Douda et al., 2006; Douda et al., 2008) και λίγες είναι οι πληροφορίες που υπάρχουν για την κατανάλωση οξυγόνου στις έντονες αγωνιστικές συνθήκες (Sotirova, 1975; Tokmakidis et al., 1996; Baldari et al., 1997; Guidetti et al., 2000; Douda & Tokmakidis, 2001). Για την καλύτερη διαχείριση της προπονητικής επιβάρυνσης χρειάζονται ερευνητικά δεδομένα που μελετούν τη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου στο εργαστήριο συγκριτικά με το οξυγόνο που καταναλώνεται κατά τη διάρκεια των διαφόρων αγωνιστικών συνθέσεων. Επιπλέον, από τη μελέτη και άλλων φυσιολογικών παραμέτρων όπως είναι η καρδιακή συχνότητα και η παραγωγή γαλακτικού κατά την προπόνηση, μπορεί να προσδιοριστεί η προπονητική επιβάρυνση που δέχονται οι νεαρές αθλήτριες, καθώς η αισθητική

παρουσίαση του αθλήματος στους αγώνες επισκιάζει την ένταση της προσπάθειας που καταβάλλεται εκ μέρους των νεαρών αθλητριών.

Η παρούσα εργασία στοχεύει να αξιολογήσει τις φυσιολογικές ανταποκρίσεις αθλητριών Ρυθμικής Γυμναστικής και να μελετήσει τις ενεργειακές απαιτήσεις στο εργαστήριο και στο πεδίο, κατά τη διάρκεια εκτέλεσης διαφορετικών αγωνιστικών συνθέσεων με στεφάνι, σχοινάκι, μπάλα, κορύνες και κορδέλα, πραγματοποιώντας εξειδικευμένες μετρήσεις και στον αγωνιστικό χώρο.

Μέθοδος

Συμμετέχοντες

Τριάντα εννέα αθλήτριες Ρυθμικής Γυμναστικής ($n=39$), ηλικίας $13,4 \pm 1,6$ ετών, ύψους $151,3 \pm 8,2$ cm, βάρους $36,7 \pm 5,6$ kg και σωματικού λίπους $13,9 \pm 1,01$ %, αποτέλεσαν το δείγμα της μελέτης. Οι αθλήτριες χωρίστηκαν σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με τη βαθμολογική τους αξιολόγηση στους πανελλήνιους αγώνες και τη συμμετοχή τους στις Εθνικές Ομάδες Ελλάδας και Κύπρου:

- *Κατηγορία Α:* υψηλού επιπέδου αθλήτριες ($n=15$) με αγωνιστική συμμετοχή σε διεθνείς συναντήσεις, Πανευρωπαϊκά και Παγκόσμια Πρωταθλήματα, Ολυμπιακούς Αγώνες και διακρίσεις στο Πανελλήνιο Πρωτάθλημα.
- *Κατηγορία Β:* μεσαίου επιπέδου αθλήτριες ($n=24$) με αγωνιστική συμμετοχή σε Διασυλλογικούς και Πανελλήνιους Αγώνες.

Διαδικασία

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν τόσο στο Εργαστήριο όσο και στον αγωνιστικό χώρο σε διαφορετικές ημέρες. Στο Εργαστήριο, οι αθλήτριες εκτέλεσαν μέγιστη προσπάθεια σε κυκλοεργόμετρο (Monark 818), με αρχικό φορτίο 45 Watts, συχνότητα ποδηλάτησης 60 περιστροφές το λεπτό και αυξανόμενη επιβάρυνση 15 Watts κάθε 2 min μέχρι εξάντλησης, για την αξιολόγηση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (VO_{2max}), χρησιμοποιώντας σταθερό αναλυτή αερίων (Oxycon Champion). Για τη ρύθμιση των περιστροφών χρησιμοποιήθηκε μηχανικός μετρονόμος που βαθμονομήθηκε με τη βοήθεια ενός ηλεκτρονικού χρονομέτρου, το κάθισμα και το τιμόνι του κυκλοεργόμετρου προσαρμόστηκαν ανάλογα με τις ανατομικές ιδιαιτερότητες της κάθε δοκιμαζόμενης ενώ ο αναλυτής αερίων βαθμονομήθηκε με αέρια γνωστής περιεκτικότητας ($16.30\% VO_2$ και $4.52\% VCO_2$).

Κατά τη διάρκεια της εργομέτρησης, 10 sec πριν την 2λεπτη αλλαγή φορτίου γινόταν ο προσδιορισμός του δείκτη υποκειμενικής κόπωσης της αθλήτριας με την 20βάθμια κλίμακα του Borg. Κάθε αθλήτρια υποδείκνυε με το δάκτυλό της τον αντίστοιχο αριθμό που, κατά την προσωπική της εκτίμηση, τη δεδομένη στιγμή αντιπροσώπευε την κόπωσή της. Επιπλέον, γινόταν καταγραφή της καρδιακής συχνότητας (ECG) καθόλη της διάρκεια της δοκιμασίας ενώ 3 min μετά τη μέγιστη προσπάθεια πραγματοποιούνταν λήψη μιας σταγόνας αίματος για τη μέτρηση της συγκέντρωσης του γαλακτικού.

Στον αγωνιστικό χώρο, κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των αγωνιστικών συνθέσεων γινόταν καταγραφή της καρδιακής συχνότητας με φορητό καρδιοσυχνόμετρο. Η αθλήτρια εκτελούσε από 4 μέχρι 8 προσπάθειες σε κάθε όργανο ανάλογα με το προπονητικό της πλάνο. Καταγράφηκαν συνολικά 214 αγωνιστικές προσπάθειες, με στεφάνι ($n=29$), σχοινάκι ($n=58$), μπάλα ($n=46$), κορύνες ($n=38$) και κορδέλα ($n=43$). Χρησιμοποιώντας τη μέγιστη καρδιακή συχνότητα της κάθε αθλήτριας, βάσει των δεδομένων που καταγράφηκαν, υπολογίστηκαν τα διαφορετικά επίπεδα προπονητικής

έντασης στο σύνολο των δεδομένων για κάθε όργανο χωριστά. Επίσης, μετά το πέρας της αγωνιστικής προσπάθειας γινόταν άμεση μέτρηση της κατανάλωσης οξυγόνου αποκατάστασης για 3 min. Η χωρίς καθυστέρηση, με χρόνο σύνδεσης 3 έως 5 sec, της αθλήτριας με την αναπνευστική βαλβίδα του αναλυτή αερίων αποτύπωνε τις ενεργειακές απαιτήσεις (VO_2) κάθε προσπάθειας. Στη συνέχεια, η μέτρηση της συγκέντρωσης του γαλακτικού οξέος στο αίμα πραγματοποιήθηκε με αιματοληψία, παίρνοντας ένα μικρό δείγμα αίματος (10μl) από το δάκτυλο της κάθε αθλήτριας, 3min μετά την εκτέλεση της κάθε αγωνιστικής σύνθεσης.

Στατιστική ανάλυση

Για την παρουσίαση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε περιγραφική στατιστική και χρησιμοποιήθηκαν δείκτες κεντρικής τάσης, διασποράς (μέση τιμή, τυπική απόκλιση, min, max, εύρος διασποράς). Για την επεξεργασία των δεδομένων κατά τη μέγιστη προσπάθεια στο κυκλοεργόμετρο, χρησιμοποιήθηκε πολυμεταβλητή ανάλυση διακύμανσης και για τον προσδιορισμό της κατανάλωσης οξυγόνου, εφαρμόστηκε πολυώνυμο μαθηματικό μοντέλο της μορφής $y=a+bx+cx^2+dx^3+e/x$, που περιγράφει την αντιπροσωπευτική καμπύλη πρόβλεψης της κατανάλωσης οξυγόνου κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των διαφορετικών αγωνιστικών συνθέσεων. Για τον έλεγχο της κατανάλωσης οξυγόνου κατά τη διάρκεια των διαφορετικών αγωνιστικών συνθέσεων (στεφάνι, σχοινάκι, μπάλα, κορύνες, κορδέλα) σε σύγκριση με τις τιμές κατά τη μέγιστη προσπάθεια στο κυκλοεργόμετρο εφαρμόστηκε ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις και εφαρμόστηκαν πολλαπλές συγκρίσεις Scheffe για την εύρεση διαφορών μεταξύ των συνθηκών μέτρησης. Οι διαφορές μεταξύ της καλύτερης και της χειρότερης εκτέλεσης των προγραμμάτων στα διαφορετικά όργανα ελέγχθηκαν με T-test για εξαρτημένα δείγματα. Το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε στο $p<0.05$.

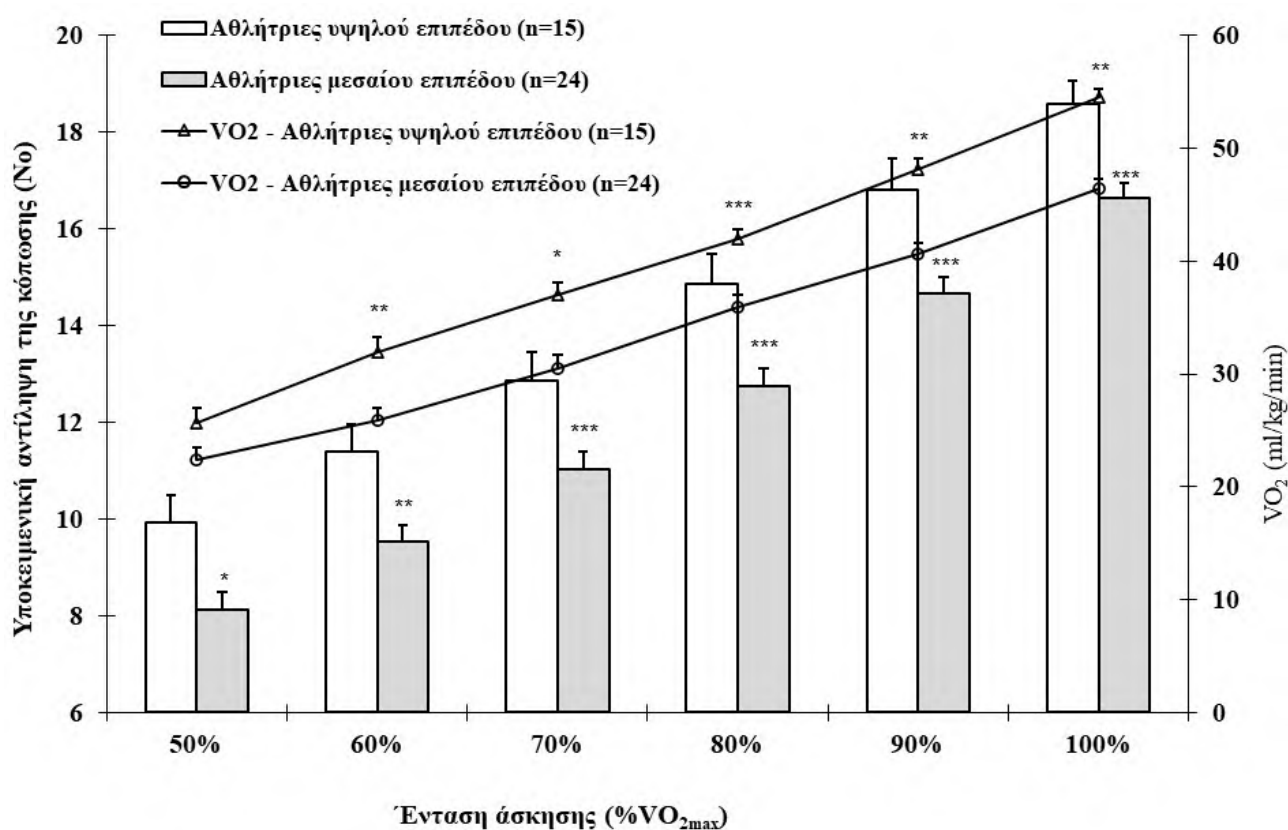
Αποτελέσματα

Μέγιστη προσπάθεια στο κυκλοεργόμετρο

Σχετικά με τη μέγιστη προσπάθεια στο κυκλοεργόμετρο, οι αθλήτριες υψηλού επιπέδου παρουσίασαν υψηλότερες μεταβολικές τιμές συγκριτικά με τις αθλήτριες μεσαίου επιπέδου (Πίνακας 1). Στατιστικά σημαντικές διαφορές βρέθηκαν μεταξύ των δύο κατηγοριών στη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου σε απόλυτες και σχετικές τιμές ($p<0,001$) στο οξυγόνο παλμού ($p<0,05$), στο μέγιστο φορτίο ($p<0,01$) και στον πνευμονικό αερισμό ($p<0,001$), ενώ οι διακυμάνσεις της καρδιακής συχνότητας και οι τιμές του γαλακτικού οξέος κυμάνθηκαν σε παρόμοιες τιμές και για τις δύο ομάδες. Επιπλέον, στατιστικά σημαντικές διαφορές βρέθηκαν στον χρόνο εργομέτρησης ($p<0,05$), όπου οι αθλήτριες υψηλού επιπέδου παρουσίασαν καλύτερους χρόνους ($15,4\pm 2,7$ min) συγκριτικά με τις αθλήτριες μεσαίου επιπέδου ($12,7\pm 2,5$ min) καθώς και στην υποκειμενική αντίληψη της κόπωσης στο τέλος της εργομέτρησης ($p<0,001$). Επίσης, οι αθλήτριες υψηλού επιπέδου, στην ίδια σχετική ένταση άσκηση στα διαφορετικά στάδια δήλωσαν υψηλότερο δείκτη υποκειμενικής κόπωσης συγκριτικά με τις αθλήτριες μεσαίου επιπέδου, οι οποίες φαίνεται ότι υποεκτιμούν την ένταση της δοκιμασίας (Σχήμα 1).

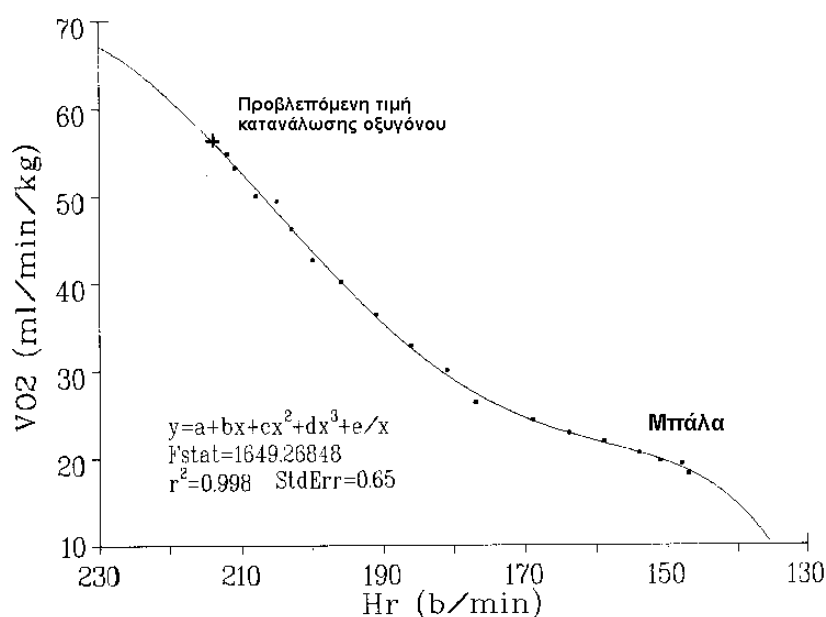
Πίνακας 1. Αποτελέσματα φυσιολογικών παραμέτρων κατά τη μέγιστη δοκιμασία στο κυκλοεργόμετρο μεταξύ των αθλητριών Ρυθμικής Γυμναστικής υψηλού και μεσαίου επιπέδου.

	Αθλήτριες υψηλού επιπέδου (n=15)	Αθλήτριες μεσαίου επιπέδου (n=24)	F	p
VO _{2max} (ml·min ⁻¹)	2.021,3±234,3	1.711,4±227,4	16,75	0,001
VO _{2max} (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	54,7±3,0	46,4±4,3	43,03	0,001
Καρδιακή συχνότητα (b·min ⁻¹)	191,6±9,7	186,4±11,9	1,59	NS
Γαλακτικό (mmol·l ⁻¹)	9,6±1,4	9,0±1,2	0,03	NS
Πνευμονικός αερισμός (l·min ⁻¹)	63,4±7,3	55,8±7,8	9,07	0,01
Αναπνευστικό πηλίκο (RER)	1,10±0,05	1,10±0,05	0,05	NS
Οξυγόνο παλμού (ml)	10,6±1,5	9,2±1,5	7,74	0,01
Χρόνος εργομέτρησης (min)	15,4±2,7	12,7±2,5	9,49	0,01
Μέγιστο φορτίο (W)	160,8±20,5	140,8±19,07	9,51	0,01
Υποκειμενική αντίληψη κόπωσης (No)	18,7±1,5	16,6±1,6	12,66	0,001

**Σχήμα 1.** Αποτελέσματα υποκειμενικής αντίληψης της κόπωσης σε αθλήτριες υψηλού επιπέδου (n=15) και μεσαίου επιπέδου (n=24) Ρυθμικής Γυμναστικής κατά τη διάρκεια της μέγιστης προσπάθειας στο κυκλοεργόμετρο, σε σχέση με την ένταση της άσκησης και την VO_{2max}, όπου **p*<0.05, ***p*<0.01, ****p*<0.001: στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο ομάδων.

Προσδιορισμός της κατανάλωσης οξυγόνου

Για τον προσδιορισμό της κατανάλωσης οξυγόνου, εφαρμόστηκε πολυώνυμο μαθηματικό μοντέλο της μορφής $y=a+bx+cx^2+dx^3+e/x$, που περιγράφει την αντιπροσωπευτική καμπύλη πρόβλεψης της κατανάλωσης οξυγόνου κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των διαφορετικών αγωνιστικών συνθέσεων. Η επιλογή του συγκεκριμένου μοντέλου έγινε με κριτήρια, την υψηλή συσχέτιση που παρουσίασε η μέγιστη καρδιακή συχνότητα άσκησης με την πρόσληψη οξυγόνου ($R^2 \geq 0,98$) και τη χαμηλότερη τιμή του τυπικού σφάλματος που κυμάνθηκε από 0,57 μέχρι 1,63. Η εφαρμογή του μοντέλου πραγματοποιήθηκε στην καλύτερη και χειρότερη τεχνικά προσπάθεια κάθε αθλήτριας για κάθε όργανο χωριστά, σύμφωνα με τη βαθμολογική αξιολόγηση της εκάστοτε προπονήτριας και σύμφωνα με τις τιμές αποκατάστασης που κατέγραφε ο αναλυτής αερίων. Στο Σχήμα 2 παρουσιάζονται αντιπροσωπευτικά ατομικά δεδομένα με τις προβλεπόμενες τιμές οξυγόνου από τη μέγιστη καρδιακή συχνότητα του αντίστοιχου προγράμματος για ένα πρόγραμμα με μπάλα.



Σχήμα 2. Προβλεπόμενη τιμή κατανάλωσης οξυγόνου σε πρόγραμμα με μπάλα, με μέγιστη καρδιακή συχνότητα άσκησης 214 παλμούς/λεπτό.

Κατανάλωση οξυγόνου στο Εργαστήριο και στον αγωνιστικό χώρο

Όσον αφορά τις τιμές της κατανάλωσης οξυγόνου κατά τη διάρκεια των διαφορετικών αγωνιστικών συνθέσεων (στεφάνι, σχοινάκι, μπάλα, κορύνες, κορδέλα) σε σύγκριση με τις τιμές κατά τη μέγιστη προσπάθεια στο κυκλοεργόμετρο οι αθλήτριες εμφάνισαν υψηλότερες μεταβολικές τιμές στον αγωνιστικό χώρο συγκριτικά με την εργαστηριακή δοκιμασία με σημαντικές διαφορές να παρουσιάζονται στην κατανάλωση οξυγόνου ($p<0,001$) ενώ η καρδιακή συχνότητα και η συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα εμφάνισαν παρόμοιες τιμές στις δύο συνθήκες μέτρησης (Πίνακας 2). Παρατηρώντας τους μέσους όρους και τις τυπικές αποκλίσεις γίνεται φανερό ότι οι αγωνιστικές συνθέσεις της Ρυθμικής Γυμναστικής χαρακτηρίζονται από μια σχετική ομοιογένεια ως προς τις απαιτήσεις πρόσληψης οξυγόνου.

Υψηλότερες τιμές σημειώνονται στην κορδέλα και στο σχοινάκι ενώ ακολουθούν η μπάλα, οι κορόνες και το στεφάνι χωρίς ωστόσο να παρατηρούνται σημαντικές διαφορές μεταξύ τους ($p>0.05$). Οι αθλήτριες παρουσιάζουν ατομικές διαφορές, γεγονός που πιθανόν να οφείλεται στις διαφορετικές χορογραφίες των συνθέσεων που εκτελούν, στη δυσκολία της χορογραφίας, στο επίπεδο των δυσκολιών και γενικότερα στις μεταβαλλόμενες συνθήκες επιβάρυνσης εξαιτίας της ποικιλόμορφης χρήσης των οργάνων.

Πίνακας 2. Αποτελέσματα των φυσιολογικών ανταποκρίσεων των αθλητριών Ρυθμικής Γυμναστικής κατά τη διάρκεια της εργομέτρησης σε σύγκριση με μετρήσεις στον αγωνιστικό χώρο κατά την εκτέλεση διαφορετικών αγωνιστικών συνθέσεων.

Μετρήσεις	M±S.D.	Min	Max	Range
Εργομέτρηση (n=15)				
VO ₂ (ml/kg/min)	49,79±5,0 *	40,30	57,10	16,8
Hr (b/min)	186,4±11,86	167	206	39
La (mmol/l)	8,32±2,48	5,36	13,01	7,65
Αγωνιστικός χώρος				
Στεφάνι (n=10)				
VO ₂ (ml/kg/min)	56,53±3,6 *	48,1	59,9	11,8
Hr (b/min)	191,9±10,7	176	208	32
La (mmol/l)	7,93±2,57	5,3	13,5	8,20
Σχοινάκι (n=10)				
VO ₂ (ml/kg/min)	59,07±3,92 *	53,05	67,2	14,15
Hr (b/min)	193,9±8,41	181	209	28
La (mmol/l)	9,29±2,52	5,18	13,22	8,04
Μπάλα (n=10)				
VO ₂ (ml/kg/min)	57,15±3,51 *	51,1	61,8	10,7
Hr (b/min)	191,0±10,8	180	214	34
La (mmol/l)	8,10±2,40	4,94	11,46	6,52
Κορόνες (n=10)				
VO ₂ (ml/kg/min)	57,03±6,11 *	46,1	64,9	18,8
Hr (b/min)	192,5±9,08	180	210	30
La (mmol/l)	6,78±1,96	5,4	11,78	6,38
Κορδέλα (n=10)				
VO ₂ (ml/kg/min)	59,71±2,49 *	56,4	64,2	7,8
Hr (b/min)	192,4±9,03	181	205	24
La (mmol/l)	8,01±3,03	5,06	12,5	7,44

* $p<0.001$: Σημαντικές διαφορές κατά την εργομέτρηση συγκριτικά με τις μετρήσεις στον αγωνιστικό χώρο.

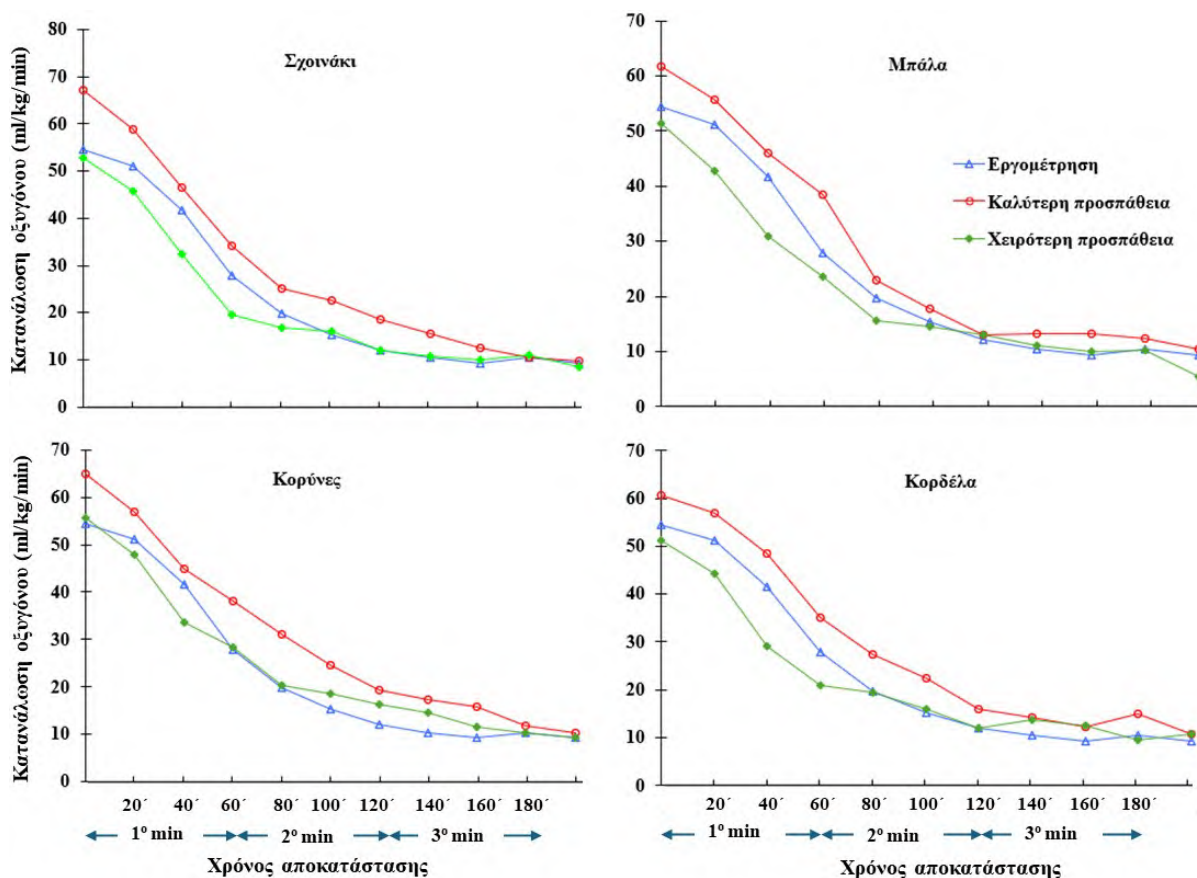
Κατανάλωση οξυγόνου σε διαφορετικές εκτελέσεις στον αγωνιστικό χώρο

Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην κατανάλωση οξυγόνου της εργομέτρησης και της κατανάλωσης οξυγόνου που παρουσίασαν οι αθλήτριες κατά τις χειρότερες εκτελέσεις τους ($p>0.05$). Εμφανίζουν ωστόσο στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ της καλύτερης και της χειρότερης εκτέλεσης των προγραμμάτων στα διαφορετικά όργανα (Πίνακας 3), γεγονός που μαρτυρεί τις υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις των αγωνιστικών προγραμμάτων, όταν βέβαια εκτελούνται τεχνικά σωστά.

Πίνακας 3. Αποτελέσματα της κατανάλωσης O_2 των αθλητριών Ρυθμικής Γυμναστικής κατά την καλύτερη και χειρότερη εκτέλεση διαφόρων αγωνιστικών προγραμμάτων.

	VO_2 (ml/min/kg) (καλύτερη εκτέλεση)	VO_2 (ml/min/kg) (χειρότερη εκτέλεση)	t-value	p
Στεφάνι (n=8)	56,53±3,60	44,09±5,30	-5,23	0,001
Σχοινάκι (n=10)	59,07±3,92	47,47±4,34	-10,33	0,001
Μπάλα (n=10)	57,15±3,51	46,70±5,35	-5,64	0,001
Κορύνες (n=8)	57,03±6,11	47,11±5,92	-7,72	0,001
Κορδέλα (n=10)	59,71±2,49	46,29±6,06	-5,68	0,001

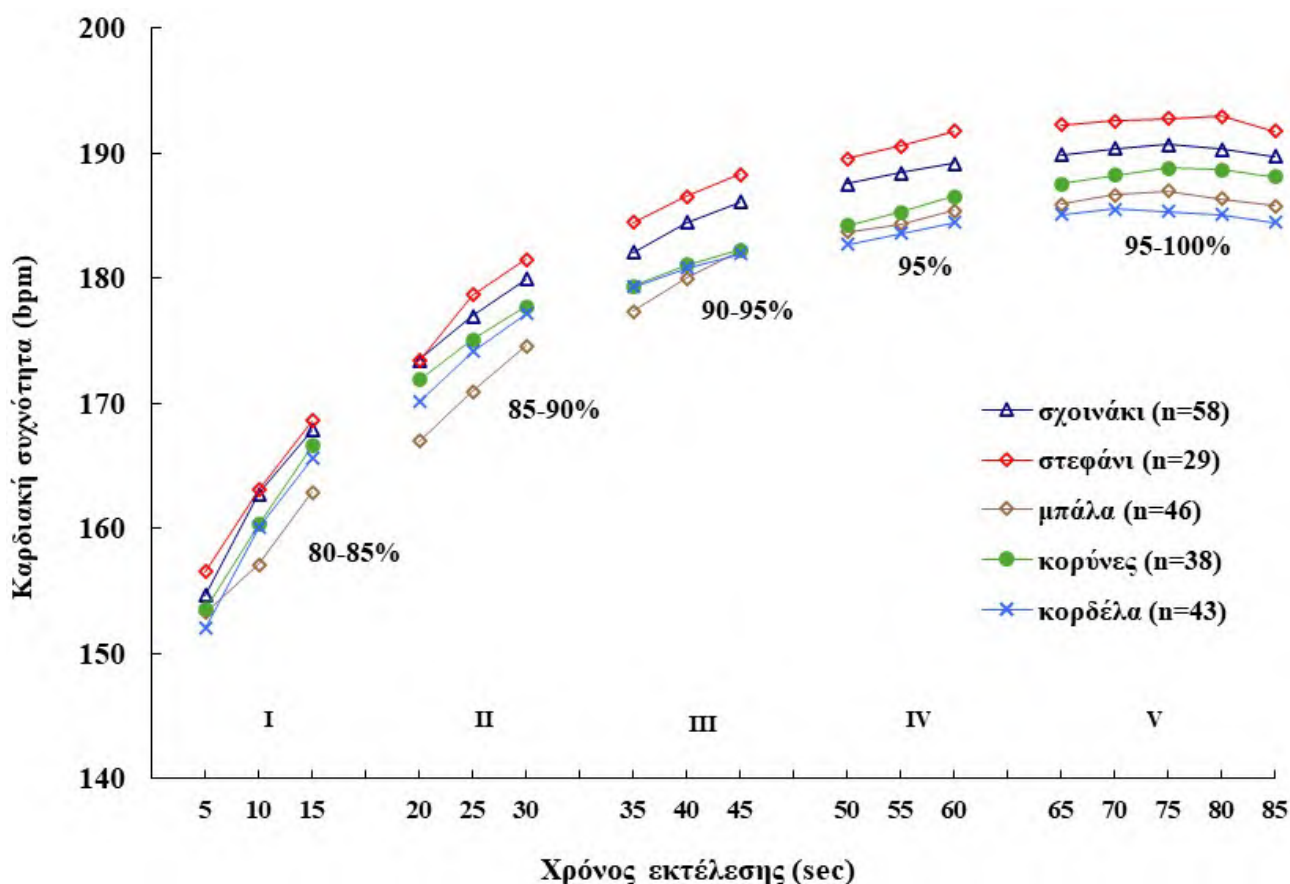
Στο Σχήμα 3 παρουσιάζονται τα ατομικά δεδομένα μιας αθλήτριας, όπου οι τιμές της κατανάλωσης οξυγόνου στις καλύτερες εκτελέσεις και στα τέσσερα όργανα ξεπέρασαν τις τιμές της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου κατά την εργομέτρηση (54.5 ml/kg/min). Και στα τέσσερα όργανα (σχοινάκι, μπάλα, κορύνες, κορδέλα) οι τιμές της πρόσληψης οξυγόνου εμφανίζονται υψηλότερες κατά την εκτέλεση της καλύτερης προσπάθειας ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι και η χειρότερη εκτέλεση παρουσιάζει τιμές συγκρίσιμες με αυτήν της μέγιστης προσπάθειας κατά την εργομέτρηση. Το γεγονός αυτό φανερώνει την έντονη προσπάθεια που καταβάλλει η αθλήτρια για ένα επιτυχημένο αποτέλεσμα στον αγωνιστικό χώρο κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης των διαφόρων συνθέσεων.



Σχήμα 3. Ατομικά δεδομένα αθλήτριας ως προς την κατανάλωση οξυγόνου κατά τη μέγιστη προσπάθεια στο εργαστηριακό τεστ, σε σύγκριση με τη χειρότερη και την καλύτερη εκτέλεση στα διάφορα όργανα της Ρυθμικής Γυμναστικής.

Προσδιορισμός της έντασης των αγωνιστικών προγραμμάτων

Οι τιμές της καρδιακής συχνότητας εμφανίζονται υψηλότερες κατά την εκτέλεση των αγωνιστικών προγραμμάτων στα διάφορα όργανα συγκριτικά με τις τιμές της μέγιστης προσπάθειας κατά την εργομέτρηση, παρόλο που δε σημειώνονται στατιστικά σημαντικές διαφορές (Πίνακας 2). Επιπλέον, παρατηρώντας τις τυπικές αποκλίσεις φαίνεται ότι όλες οι συνθέσεις παρουσιάζουν σχετική ομοιογένεια στην εκτέλεσή τους. Με βάση τη μέση τιμή της μέγιστης καρδιακής συχνότητας που καταμετρήθηκε, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ένταση της προπόνησης κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των αγωνιστικών προγραμμάτων Ρυθμικής Γυμναστικής κυμάνθηκε από το 80% μέχρι το 100% της $K\Sigma_{max}$ σε όλη τη διάρκεια της εκτέλεσης καταδεικνύοντας υψηλές μεταβολικές απαιτήσεις. Η ένταση της άσκησης από το πρώτο μέρος των αγωνιστικών προγραμμάτων κυμάνθηκε (0-15 sec) από 80% μέχρι 85% της $K\Sigma_{max}$. Στο δεύτερο μέρος (15-30 sec) από 85-90%, στο τρίτο μέρος (30-45 sec) από 90-95%, στο τέταρτο μέρος (45-60 sec) στο 95% ενώ στο πέμπτο μέρος (60-85 sec) η ένταση είναι πολύ υψηλή και κυμάνθηκε από 95% μέχρι 100% της $K\Sigma_{max}$. Η ένταση της άσκησης παρουσίασε παρόμοια δυναμική σε όλα τα όργανα, με υψηλότερες τιμές στο στεφάνι και το σχοινάκι ενώ ακολουθούν οι κορόνες, η κορδέλα και η μπάλα (Σχήμα 4). Επίσης, οι τιμές της συγκέντρωσης του γαλακτικού στο αίμα κυμάνθηκαν στα ίδια περίπου επίπεδα σε όλες τις προσπάθειες στα διάφορα όργανα και δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές συγκριτικά με την εργομέτρηση ($p>0.05$).



Σχήμα 4. Προσδιορισμός της έντασης κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των αγωνιστικών προγραμμάτων της Ρυθμικής Γυμναστικής (n=214) στα 15, 30, 45, 60 και 85 sec. Μέρος I (0-15 sec): 80-85%, Μέρος II (15-30 sec): 85-90%, Μέρος III (30-45 sec): 90-95%, Μέρος IV (45-60 sec): 95%, Μέρος V (60-85 sec): 95-100% της $K\Sigma_{max}$.

Συζήτηση

Στη Ρυθμική Γυμναστική, ο προσδιορισμός των ενεργειακών απαιτήσεων κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της αγωνιστικής προσπάθειας είναι δύσκολος επειδή οι παράγοντες που καθορίζουν τη δομή των προγραμμάτων δεν είναι σταθεροί αλλά διαμορφώνονται ανάλογα με τις δυνατότητες της κάθε αθλήτριας. Τα αγωνιστικά προγράμματα χαρακτηρίζονται από μια συνεχή ροή των ασκήσεων, με γρήγορη και πολύπλοκη εναλλαγή στοιχείων υψηλής έντασης, με ρυθμικές κινήσεις χαμηλής έντασης, διαμορφώνοντας ωστόσο συνολικά ένα υψηλό προπονητικό φορτίο για τις αθλήτριες (Bobo-Arce & Mendez-Rial, 2013; Debien et al., 2020). Έχουν διαφορετική μορφή και ποιότητα εκτέλεσης ενώ ο ελάχιστος αριθμός δυσκολιών που πρέπει να περιλαμβάνει μια αγωνιστική σύνθεση ορίζεται από τον κώδικα βαθμολογίας (FIG Code of Points, 2024).

Πολλές αθλήτριες ωστόσο, στην προσπάθειά τους να ανεβάσουν την τεχνική αξία της σύνθεσης με στόχο την καλύτερη δυνατή διάκριση και κατάταξη στους αγώνες, ξεπερνούν τον αριθμό αυτόν αυξάνοντας ακόμη περισσότερο τις ενεργειακές απαιτήσεις της άσκησης. Κατά συνέπεια, είναι πολύ δύσκολη η άμεση μελέτη των ενεργειακών απαιτήσεων και ο προσδιορισμός της σχετικής συμμετοχής των μηχανισμών ενέργειας κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της αγωνιστικής προσπάθειας διότι η προπονητική επιβάρυνση που δέχονται οι αθλήτριες δεν είναι σταθερή και η δομή των ασκήσεων δεν επιτρέπει την άμεση μέτρηση της κατανάλωσης οξυγόνου. Στην παρούσα μελέτη ωστόσο επιχειρήθηκε ο προσδιορισμός της κατανάλωσης οξυγόνου κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της αγωνιστικής προσπάθειας, μελετώντας την καμπύλη αποκατάστασης του O_2 και προβλέποντας τις ενεργειακές απαιτήσεις της άσκησης από τη μέγιστη καρδιακή συχνότητα άσκησης.

Προσδιορισμός της προπονητικής επιβάρυνσης

Η καρδιακή συχνότητα συχνά χρησιμοποιείται ως δείκτης προσδιορισμού της έντασης της άσκησης επειδή έχει άμεση σχέση με την ποσότητα του αίματος που αντλείται και την ποσότητα του οξυγόνου που καταναλώνεται ειδικότερα όταν τα προπονητικά φορτία γίνονται υψηλότερα στην αγωνιστική περίοδο (Fernandes et al., 2022). Όσο αυξάνεται η ένταση της άσκησης παρατηρείται αύξηση στην κατανάλωση οξυγόνου και στην καρδιακή συχνότητα. Η ένταση της προπόνησης κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των αγωνιστικών προγραμμάτων της Ρυθμικής Γυμναστικής κυμάνθηκε από το 80% μέχρι το 100% της $K\Sigma_{max}$ σε όλη τη διάρκεια της εκτέλεσης. Από την έναρξη ακόμα της αγωνιστικής προσπάθειας, στα πρώτα 15sec, η ένταση της άσκησης έφτασε μέχρι το 85% της $K\Sigma_{max}$. Στο τελευταίο μέρος, για 25 sec περίπου, ήταν πολύ υψηλή φθάνοντας 95% μέχρι 100% της $K\Sigma_{max}$. Οι τιμές αυτές φανερώνουν τις έντονες μεταβολικές απαιτήσεις που επιστρατεύουν οι αθλήτριες της Ρυθμικής Γυμναστικής παρουσιάζοντας τα υψηλά επίπεδα έντασης που φτάνουν οι νεαρές αθλήτριες στην καθημερινή τους προπόνηση συμφωνώντας με τα ευρήματα των Fernandes και συν. (2022).

Αν η δυσκολία του συνολικού προγράμματος, για παράδειγμα, που εκτελεί η αθλήτρια είναι χαμηλή ή ο αριθμός των στοιχείων είναι πιο μικρός, παρατηρούνται πολλές στατικές ασκήσεις, αργές κινήσεις, εναλλαγές ρυθμικών κινήσεων, επομένως η ένταση και η πυκνότητα ερεθισμάτων είναι μικρότερη. Αν η δυσκολία του συνολικού προγράμματος είναι υψηλή και η κατανομή των στοιχείων, των συνδέσεων και των δυσκολιών είναι ομοιόμορφη σε όλη τη διάρκεια της σύνθεσης τότε οι ενεργειακές απαιτήσεις του προγράμματος είναι αυξημένες από την έναρξη ακόμη της σύνθεσης.

Συνήθως η αθλήτρια αρχίζει το πρόγραμμά της με ένα εντυπωσιακό στοιχείο ή σύνδεση, που επιδρά ευνοϊκά στην προσοχή των κριτών και των θεατών και συνεχίζει με πιο δύσκολες και σύνθετες ασκήσεις, ολοκληρώνοντας την προσπάθειά της με ένα εντυπωσιακό φινάλε. Η προσπάθεια όμως αυτή δε σταματά εδώ, με την ολοκλήρωση μιας και μοναδικής εκτέλεσης, αλλά συνεχίζεται μέχρις ότου η αθλήτρια εξασφαλίσει ένα τουλάχιστον πρόγραμμα χωρίς τεχνικά λάθη. Οι επαναλήψεις είναι πολλές. Οι απαιτήσεις για μυϊκό έργο αυξημένες. Η ένταση της προσπάθειας οδηγεί σε συσσώρευση γαλακτικού, η οποία όμως έχει τα όριά της και στην παρούσα μελέτη, οι τιμές του γαλακτικού έφθασαν μέχρι 13.5 mmol/l. Έτσι, η μείωση της μυϊκής απόδοσης, που παρατηρείται σε τέτοιου είδους προσπάθειες υψηλής έντασης, είναι αναμενόμενη. Από τη μια μεριά αποδίδεται στην εξάντληση των αποθεμάτων γλυκογόνου και από την άλλη στην οξέωση του κυτταρικού περιβάλλοντος, που προκαλείται με τη συσσώρευση ιόντων υδρογόνου (H^+). Όπως είναι γνωστό, η συσσώρευση των υδρογόνων, διαταράσσει τη μεταβολική λειτουργία, με αποτέλεσμα τα μυϊκά κύτταρα να μην μπορούν να αποδώσουν την απαιτούμενη ενέργεια για να ικανοποιηθούν οι ανάγκες της άσκησης (Τοκμακίδης, 1995). Ωστόσο, η διαδικασία αυτή εμπλέκεται και με τον πλούτο των κινήσεων μιας αγωνιστικής σύνθεσης, που ενεργοποιούνται εναλλακτικά και επιτρέπουν την αναπλήρωση των ενεργειακών απαιτήσεων, κάτι που συνδέεται άμεσα με την υψηλή κατανάλωση οξυγόνου κατά τη διάρκεια εκτέλεσης αγωνιστικών προγραμμάτων της Ρυθμικής Γυμναστικής.

Κατανάλωση οξυγόνου κατά τη διάρκεια των αγωνιστικών συνθέσεων

Οι ειδικές τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί, με την εφαρμογή μαθηματικών μοντέλων, προβλέποντας την VO_{2max} μετρώντας το οξυγόνο αποκατάστασης (Montpetit et al., 1981, Costill et al., 1985; Di Prampero, 1986; Leger et al., 1980; Leger et al., 1983) παρουσιάζουν υψηλούς συντελεστές συσχέτισης μεταξύ VO_{2max} και VO_2 αποκατάστασης ($r=0.89-0.98$). Στην παρούσα μελέτη, οι τιμές της προβλεπόμενης κατανάλωσης οξυγόνου κατά τη διάρκεια των διαφορετικών αγωνιστικών συνθέσεων (στεφάνι, σχοινάκι, μπάλα, κορύνες, κορδέλα) παρουσίασαν παρόμοιες τιμές, φανερώνοντας μια ομοιογένεια στις απαιτήσεις πρόσληψης οξυγόνου. Στη συνέχεια, οι τιμές της προβλεπόμενης κατανάλωσης οξυγόνου κατά τη διάρκεια των διαφορετικών αγωνιστικών συνθέσεων συγκρίθηκαν με τις τιμές κατά τη μέγιστη προσπάθεια στο κυκλοεργόμετρο.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι αθλήτριες εμφανίζουν υψηλότερες μεταβολικές τιμές στον αγωνιστικό χώρο (VO_2) συγκριτικά με την εργαστηριακή δοκιμασία. Οι τιμές αυτές οφείλονται στον πλούτο των κινήσεων που ενεργοποιούν πολλές μικρές και μεγάλες μυϊκές ομάδες αυξάνοντας και επιβεβαιώνοντας τις υψηλές μεταβολικές απαιτήσεις των αγωνιστικών προγραμμάτων της Ρυθμικής Γυμναστικής, απαιτώντας επιπλέον, και ένα σχετικά αυξημένο επίπεδο αερόβιας ικανότητας εκ μέρους των αθλητριών για μια επιτυχημένη παρουσίαση. Η άποψη αυτή συμφωνεί με τη μελέτη των Barladi et al. (1997), οι οποίοι αξιολογώντας τις μεταβολικές απαιτήσεις σε μεμονωμένες σειρές ασκήσεων στη μπάλα, αναφέρουν υψηλές τιμές στην κατανάλωση οξυγόνου ($VO_{2eq}=80.9\pm 4.8 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). Επιπλέον, οι ίδιοι ερευνητές τονίζουν τη συμμετοχή της αερόβιας ικανότητας στην εκτέλεση των αγωνιστικών συνθέσεων επισημαίνοντας ότι οι επιβαρύνσεις που δέχονται οι αθλήτριες της Ρυθμικής Γυμναστικής, είναι συγκρίσιμες με αυτές που αναφέρονται στη βιβλιογραφία για αθλητές του καράτε (Francescato et al., 1995).

Επισημαίνεται επίσης, ότι δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην κατανάλωση οξυγόνου μεταξύ της εργομέτρησης, η οποία περιορίζεται στην ενεργοποίηση των μυών των κάτω άκρων και της κατανάλωσης οξυγόνου που παρουσίασαν οι αθλήτριες κατά τις χειρότερες

εκτελέσεις τους, υπερτονίζοντας την ανάγκη υψηλής ενεργειακής επιστράτευσης για μια υψηλή απόδοση. Οι σημαντικές διαφορές ωστόσο που παρουσιάζονται μεταξύ της καλύτερης και της χειρότερης εκτέλεσης των προγραμμάτων στα διαφορετικά όργανα, μαρτυρούν το υψηλό επίπεδο του συστήματος μεταφοράς οξυγόνου που χρειάζονται οι αθλήτριες για να δραστηριοποιούν τις μεγάλες μυϊκές ομάδες που επιστρατεύονται κατά τη σωστή τεχνικά εκτέλεση των αγωνιστικών ασκήσεων. Τις μεταβολικές όμως αυτές απαιτήσεις δεν τις αντιλαμβάνεται ο θεατής όταν παρακολουθεί την παρουσίαση μιας αγωνιστικής προσπάθειας καθώς η αισθητική εκτέλεση των προγραμμάτων “κρύβει” την ένταση της προσπάθειας που καταβάλλεται εκ μέρους των αθλητριών.

Αξιολόγηση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (VO_{2max})

Μελέτες που αναφέρονται στην αξιολόγηση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου βρήκαν ότι οι τιμές της VO_{2max} σε αθλήτριες Ρυθμικής Γυμναστικής, ποικίλουν από 39.4 μέχρι 52.8 ml/kg/min (Case et al., 1980; Guidetti et al., 2000; Gionet et al., 1986; Alexander, 1989; Hume et al., 1993). Ενδιαφέρον ωστόσο παρουσιάζουν οι τιμές της VO_{2max} που αναφέρονται από τη Sotirova (1975), η οποία αξιολόγησε 32 αθλήτριες Ρυθμικής Γυμναστικής υψηλού επιπέδου. Αξίζει να σημειωθεί ότι 12 αθλήτριες είχαν φέρει μετάλλια στη χώρα τους από παγκόσμια πρωταθλήματα σε χρονική περίοδο που η Βουλγαρία αποτελούσε, εκείνη την εποχή, την πρώτη δύναμη στον κόσμο για το άθλημα της Ρυθμικής Γυμναστικής. Η ερευνήτρια σύγκρινε τα αποτελέσματα με δεδομένα από αθλήτριες που ασχολούνται με την κωπηλασία, τον στίβο και το κανό καγιάκ. Οι τιμές της VO_{2max} που κυμάνθηκαν από 30.80 μέχρι 60.50 ml·kg⁻¹·min⁻¹ φανέρωσαν ατομικές διαφορές μεταξύ των αθλητριών αλλά το γεγονός της υψηλής συσχέτισης με την κατάταξη των αθλητριών ($r=0.70$) δείχνει το υψηλό επίπεδο της λειτουργικής ικανότητας των αθλητριών που απαιτείται στο άθλημα της Ρυθμικής Γυμναστικής. Επιπλέον, οι αθλήτριες της Ρυθμικής Γυμναστικής, σε σύγκριση με τις αθλήτριες που ασχολούνται με κανό-καγιάκ, στίβο και κωπηλασία, παρουσίασαν συγκρίσιμες ατομικές τιμές με τις αθλήτριες στίβου. Η Alexander (1989), εξετάζοντας τα φυσιολογικά χαρακτηριστικά σε επίλεκτες αθλήτριες υψηλού επιπέδου (Ομάδα Α) και αθλήτριες με χαμηλότερες επιδόσεις (Ομάδα Β) αναφέρει ότι η μέση τιμή της VO_{2max} ήταν περίπου η ίδια και για τις δύο ομάδες (Α: 50.4, Β: 48.8 ml/kg/min). Τα αποτελέσματα, ωστόσο, στην παρούσα μελέτη έδειξαν στατιστικές σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο κατηγοριών, υψηλού και μεσαίου επιπέδου, στη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου, στο οξυγόνο παλμού και στον πνευμονικό αερισμό. Οι αθλήτριες υψηλού επιπέδου βρέθηκε ότι χαρακτηρίζονται από ένα ικανοποιητικό επίπεδο αερόβιας ικανότητας συγκρινόμενες με βιβλιογραφικά δεδομένα αθλητριών άλλων αθλημάτων (Neumann, 1988).

Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης φανερώνουν το σύνθετο χαρακτήρα του αθλήματος της Ρυθμικής Γυμναστικής, που απαιτεί έναν συνδυασμό αναερόβιας και αερόβιας ικανότητας κατά την εκτέλεση των αγωνιστικών συνθέσεων. Οι υψηλές μεταβολικές τιμές που παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των αγωνιστικών προγραμμάτων προβλέπουν έναν συνδυασμό αναερόβιας και αερόβιας ικανότητας εκ μέρους των αθλητριών για μια επιτυχημένη αγωνιστική παρουσίαση. Πράγματι, κατά την έντονη προσπάθεια η αθλήτρια που έχει υψηλή αερόβια ικανότητα μπορεί και παράγει περισσότερο έργο συγκριτικά με κάποια που έχει μέτρια ή χαμηλή, περιορίζοντας σε χαμηλά επίπεδα τη συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος στο αίμα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της

παρούσας μελέτης οι αθλήτριες υψηλού επιπέδου Ρυθμικής Γυμναστικής χαρακτηρίζονται από ένα ικανοποιητικό επίπεδο αερόβιας ικανότητας και εμφανίζουν υψηλότερες μεταβολικές τιμές (VO_2) κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης των συνθέσεων παρά κατά τη διάρκεια της εργαστηριακής δοκιμασίας. Και αυτό γιατί οι σύνθετες κινήσεις που εκτελούν κατά τη διάρκεια των προγραμμάτων επιστρατεύουν πολλές μυϊκές ομάδες, συγκριτικά με τη μέγιστη εργαστηριακή δοκιμασία στο κυκλοεργόμετρο. Επίσης, οι τιμές της καρδιακής συχνότητας σε όλα τα όργανα κυμάνθηκαν πάνω από το 80% της $\text{K}\Sigma_{\text{max}}$ εμφανίζοντας εντάσεις που μαρτυρούν υψηλό αναερόβιο μεταβολισμό. Οι τιμές του γαλακτικού κυμάνθηκαν στα ίδια περίπου επίπεδα τόσο κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης των συνθέσεων όσο και κατά τη διάρκεια της εργαστηριακής δοκιμασίας στο κυκλοεργόμετρο φανερώνοντας τη συμμετοχή του αναερόβιου μεταβολισμού κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης των αγωνιστικών προγραμμάτων στη Ρυθμική Γυμναστική.

Κατά συνέπεια, η Ρυθμική Γυμναστική είναι ένα σύνθετο άθλημα, που απαιτεί ένα συνδυασμό αναερόβιας και αερόβιας ικανότητας κατά την εκτέλεση των αγωνιστικών συνθέσεων, με υψηλές μεταβολικές απαιτήσεις, τις οποίες όμως δεν τις αντιλαμβάνεται ο θεατής όταν παρακολουθεί τους αγώνες, καθώς η έντεχνη χορογραφία και η δεξιότητα εκτέλεσης με τα διάφορα όργανα αποκρύπτουν την ένταση της προσπάθειας που καταβάλλεται εκ μέρους των νεαρών αθλητριών.

Βιβλιογραφία

- Alexander, M. J. L., Boreskie, S. R., & Law, S. (1987). Heart rate response and time motion analysis of rhythmic sportive gymnastics. *Journal of Human Movement Studies*, 13, 473–489.
- Alexander, M. J. L. (1989). The physiological characteristics of elite rhythmic sportive gymnasts. *Journal of Human Movement Studies*, 17, 49–69.
- Alexander, M. J. L. (1991a). Physiological characteristics of top ranked rhythmic gymnasts over three years. *Journal of Human Movement Studies*, 21, 99–127.
- Alexander, M. J. L. (1991b). A comparison of physiological characteristics of elite and subelite rhythmic gymnasts. *Journal of Human Movement Studies*, 20, 49–69.
- Barladi, C., Capranica, L., Guidetti, L., & Persichini, C. (1997). Energy costs of rhythmic gymnastics ball exercises in young athletes. *Second Annual Congress of the European College of Sport Science, Sport Science in a Changing World of Sports*, Book of Abstracts II, 894–895. Copenhagen, Denmark.
- Bobo-Arce, M., & Mendez-Rial, B. (2013). Determinants of competitive performance in rhythmic gymnastics: A review. *Journal of Human Sport and Exercise*, 8(3), S711–S727.
- Calavalle, A. R., Sisti, D., Rocchi, M. B., Panebianco, R., Del Sal, M., & Stocchi, V. (2008). Postural trials: Expertise in rhythmic gymnastics increases control in lateral directions. *European Journal of Applied Physiology*, 104(4), 643–649.
- Case, S., Fleck, S., & Koehler, P. (1980). Physiological and performance characteristics of the 1979 US MRG team. *International Gymnast*, 22(4), TS10–TS11.
- Costill, D. L., Kovaleski, J., Porter, D., Kirwan, J., Fielding, R., & King, D. (1985). Energy expenditure during front crawl swimming: Predicting success in middle distance events. *International Journal of Sports Medicine*, 6, 266–270.
- Debien, P. B., Miloski, B., Werneck, F. Z., Timoteo, T. F., Ferezin, C., Filho, M. G. B., & Gabbett, T. J. (2020). Training load and recovery during a pre-Olympic season in professional rhythmic gymnasts. *Journal of Athletic Training*, 55(9), 977–983.

- Di Cagno, A., Baldari, C., Battaglia, C., Guidetti, L., & Piazza, M. (2008). Anthropometric characteristics evolution in elite rhythmic gymnasts. *Italian Journal of Anatomy and Embryology*, 113(1), 29–35.
- Di Cagno, A., Baldari, C., Battaglia, C., Gallotta, M. C., Videira, M., Piazza, M., & Guidetti, L. (2010). Preexercise static stretching effect on leaping performance in elite rhythmic gymnasts. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(8), 1995–2000.
- Di Prampero, P. E., Cortili, G., Mognoni, P., & Saibene, F. (1976). Energy cost of speed skating and efficiency of work against air resistance. *Journal of Applied Physiology*, 40, 584–591.
- Douda, H. T., Toubekis, A., Avloniti, A., Smilios, I., & Tokmakidis, S. (2008). Determinants of rhythmic gymnastics performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3, 41–54.
- Douda, H. T., Avloniti, A., Kasabalis, A., & Tokmakidis, S. P. (2007). Adaptations on physical performance characteristics after a 6-month specific training in rhythmic gymnasts. *Medical Problems of Artistic Performing*, 22(1), 10–17.
- Douda, H., Avloniti, A., Kasabalis, A., Smilios, I., & Tokmakidis, S. (2006). Application of ratings of perceived exertion and physiological responses to maximal effort in rhythmic gymnasts. *International Journal of Applied Sports Sciences*, 18(2), 78–88.
- Douda, H., Tokmakidis, S., & Tsigilis, N. (2002a). Effects of specific training on muscle strength and flexibility of rhythmic sports and artistic female gymnasts. *Coaching & Sport Science Journal*, 4(1), 23–27.
- Douda, H., Laparidis, K., & Tokmakidis, S. (2002b). Long-term training induces specific adaptations on physique of rhythmic sports and female artistic gymnasts. *European Journal of Sport Science*, 2(3), 1–14.
- Douda, H., & Tokmakidis, S. (2001). Specific physiological field measurements during rhythmic sport gymnastic routines. *6th Annual Congress of the European College of Sports Science*, Book of Abstracts, Cologne, Germany, 24–28 July, p. 523.
- Fernandes, I., Gomes, J. H., Oliveira, L. D., Almeida, M., Claudino, J. G., Resende, C., Neto, D. R., Galán, M. H., Oliveira, P. M. P., Aidar, F. J., Mendes, R., & Da Silva-Grigoletto, M. E. (2022). Monitoring of the training load and well-being of elite rhythmic gymnastics athletes in 25 weeks: A comparison between starters and reserves. *Sports*, 10(12), 192.
- F.I.G.-Code of Points (2024). *Rhythmic Gymnastics: 2025-2028 Code of Points* Federation International Gymnastics, FIG Executive Committee, Switzerland.
- Francescato, M. P., Talon, T., & Di Prampero, P. E. (1995). Energy cost and energy sources in karate. *European Journal of Applied Physiology*, 71, 355–361.
- Georgopoulos, N., Markou, K., Theodoropoulou, A., Paraskevopoulou, P., Varaki, L., Kazantzi, Z., Leglise, M., & Vagenakis, A. G. (1999). Growth and pubertal development in elite female rhythmic gymnasts. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 84(12), 4525–4530.
- Guidetti, L., Baldari, C., Capranica, L., Persichini, C., & Figura, F. (2000). Energy cost and energy sources of ball routine in rhythmic gymnasts. *International Journal of Sports Medicine*, 21, 205–209.
- Gionet, N., Babineau, C., & Bryant, D. (1986). Physiological evaluation of elite Canadian rhythmic sportive gymnasts [Abstract]. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences*, 11(3), 15P.

- Hume, P. A., Hopkins, W. G., Robinson, D. M., Robinson, S. M., & Hollings, S. C. (1993). Predictors of attainment in rhythmic sportive gymnastics. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 33(4), 367–377.
- Léger, L., Seliger, V., & Brassard, L. (1980). Backward extrapolation of VO_2max values from O_2 recovery curve. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 12(1), 24–27.
- Léger, L., Montpetit, R., Lambert, J., & Chartand, D. (1983). Retroextrapolation of submaximal VO_2 values from O_2 recovery curve. *Scandinavian Journal of Sports Sciences*, 4(2), 71–73.
- Léger, L. (1991). Mesure et estimation de la composition corporelle: masse grasse, masse maigre. *Association des Cadres Techniques du Sport de Haut Niveau Guadeloupéen*, 47–68.
- Montpetit, R. R., Leger, L. A., Lavoie, J. M., & Cazorla, G. (1981). VO_2 peak during free swimming using the backward extrapolation of the recovery curve. *European Journal of Applied Physiology*, 47, 385–391.
- Neumann, G. (1988). Special performance capacity. In A. Dirix, H. G. Knuttgen, & K. Tittel (Eds.), *The Olympic Book of Sports Medicine* (pp. 97–108). Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Özengin, N., Ün Yildirim, N., Baltaci, G., & Masiulis, N. (2011). Acute effects of different stretching duration on vertical jump performance in rhythmic gymnasts. *Education Physical Training Sport*, 3(83), 16–22.
- Sierra-Palmeiro, E., Bobo-Arce, M., Pérez-Ferreirós, A., & Fernández-Villarino, M. A. (2019). Longitudinal study of individual exercises in elite rhythmic gymnastics. *Frontiers in Psychology*, 10, 1496.
- Sotirova, L. (1975). *Cardio-respiratory recovery responses after specific and non-specific loads in high-level rhythmic gymnastics athletes* (Unpublished dissertation). Sofia.
- Tokmakidis, S. P., Douda, H., Pilianidis, Th., & Smilios, I. (1996). Higher physiological responses obtained during rhythmic sport gymnastic routines rather than with maximal laboratory testing. *1st International Conference on Rhythmic Sport Gymnastics*, Budapest, Hungary, 18–20 June.
- Τοκμακίδης, Σ. (1995). Το γαλακτικό οξύ δεν προκαλεί μυϊκό κάματο. *Άθληση και Κοινωνία: Περιοδικό Αθλητικής Επιστήμης*, (10), 30–40.
- Tokmakidis, S. P. (1983). *Comparative measurements between various physical work capacity (PWC170) test durations and maximal oxygen uptake in 12-year-old boys* (Master's thesis, McGill University). Microfilm, National Library of Canada.



Physiological Responses in Rhythmic Gymnastics: The elegant performance sport that “covers” the intense exertion

Douda Helen

Professor, D.P.E.S.S., Democritus University of Thrace

Tokmakidis Savvas

Emeritus Professor, D.P.E.S.S., Democritus University of Thrace

ABSTRACT

The aim of the present study was to determine the physiological responses and the intensity of the training load during the execution of different Rhythmic Gymnastics competition routines. A total of 39 female athletes, aged 13.4 ± 1.6 years old, elite-level ($n=15$), members of the National Teams of Greece and Cyprus and non-elite level ($n=24$) with competitive participation in Inter-club and Panhellenic Competitions. Measurements were obtained in the Laboratory (VO_{2max} , HR, La, RPE) and on the competition field (VO_2 , HR, La) on different days. During the performance on the competition field, each athlete performed from 4 to 8 routines on the same apparatus. A total of 214 programs with five different apparatus (hoop, rope, ball, clubs, ribbon) were evaluated. The athletes presented higher metabolic demands on the field compared to the laboratory test. Significant differences were found in oxygen consumption ($p < 0.001$) while heart rate and lactate concentration showed similar values between the apparatus used for different performances, despite their specific technique. The intensity of the training ranged from 80% to 100% of HR_{max} throughout the competition performance on all five apparatus. These results revealed the high-level training-load that Rhythmic Gymnastics athletes received during the performance of their competition programs. However, these metabolic demands are not perceived by the spectator when watching the competitions, as the artistic choreography and the skill of execution with the Rhythmic Gymnastics apparatus hide the intensity of the effort exerted by the athletes.

Key words: training load, aerobic-anaerobic capacity, Rhythmic Gymnastics athletes

Corresponding address:

Douda Helen
Democritus University of Thrace
Department of Physical Education and Sport Sciences
University Campus, 69100 Komotini
E-mail: edouda@phyed.duth.gr