

Επίδραση λήψης φωσφορικού στην αναερόβια ισχύ και κόπωση

ΔΗΜΗΤΡΗ ΜΠΟΥΡΔΑ

*Institute of Sport Medicine and Exercise Sciences
University of Sheffield, United Kingdom*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΜΠΟΥΡΔΑΣ Δ. Επίδραση λήψης φωσφορικού στην αναερόβια ισχύ και κόπωση. *Κινησιολογία*, Τομ. 3, Νο 1, 2 σελ. 50-59. Ο φωσφόρος του πλάσματος συμμετέχει στα ρυθμιστικά συστήματα του ανθρώπινου οργανισμού, αδρανοποιώντας τα ιόντα υδρογόνου που προκύπτουν από τη διάσπαση του γαλακτικού οξέος προλαβαίνοντας την πτώση του pH. Έχει υποθεθεί ότι εμπλουτισμένη διατροφή σε φώσφορο μειώνει την συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στο αίμα. Ο στόχος της έρευνας αυτής ήταν η διερεύνηση της επίδρασης που έχει η στοματική λήψη φωσφόρου στην αναερόβια ισχύ και κόπωση κατά την διάρκεια επαναλαμβανόμενων προσπαθειών, μικρής διάρκειας και μέγιστης έντασης. Χρησιμοποιήθηκε ένας διπλά τυφλός με αδρανή ουσία πειραματικός σχεδιασμός. Δεκατρείς δοκιμαζόμενοι υποβλήθηκαν σε δυο δοκιμασίες πολλαπλών προσπαθειών μέγιστης ταχύτητας στο κυκλοεργόμετρο με αντίσταση τροχού ίση με 7.5% του σωματικού τους βάρους. Κάθε δοκιμασία περιελάμβανε 8 προσπάθειες μέγιστης έντασης 6 sec με περίοδο ενεργητικής αποκατάστασης μεταξύ αυτών 30 sec σε υπομέγιστη ένταση. Πριν τη δεύτερη δοκιμασία δόθηκε στην πειραματική ομάδα (N=7) συμπλήρωμα διατροφής φωσφορικού νάτριου (1x4 g/ημέρα για τρεις ημέρες) σε μορφή κάψουλας και στην ομάδα ελέγχου (N = 6) αδρανή ουσία σε επίσης μορφή κάψουλας. Κατά την διάρκεια κάθε δοκιμασίας καταγράφηκαν η καρδιακή συχνότητα, και η παραγωγή ισχύος. Μετρήθηκε επίσης η συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος στο αίμα κάθε δοκιμαζόμενου 5 min ύστερα από το πέρας κάθε δοκιμασίας. Δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά ($P>0.05$) μεταξύ πειραματικής και ομάδας ελέγχου στην μέγιστη τιμή παραγωγής ισχύος και παραγωγής έργου ανά προσπάθεια, δείκτη κόπωσης, γαλακτικού οξέος, και καρδιακής συχνότητας κατά την διάρκεια των δοκιμασιών. Συμπεραίνεται ότι η στοματική λήψη συμπληρώματος φωσφορικού νάτριου δεν επιφέρει μεταβολή στην μέγιστη τιμή παραγωγής ισχύος, παραγωγής έργου ανά ταχύτητα, δείκτη κόπωσης, γαλακτικού οξέος, και καρδιακής συχνότητας τουλάχιστον στην συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία της παρούσας μελέτης.

Λέξεις κλειδιά: ΓΑΛΑΚΤΙΚΟ ΟΞΥ, ΦΩΣΦΟΡΙΚΗ ΥΠΕΡΠΛΗΡΩΣΗ, ΚΟΠΩΣΗ, ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ, pH, ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΙΣΧΥΟΣ

Οι αθλητές αποβλέπουν στη μεγιστοποίηση της αθλητικής τους απόδοσης. Για να επιτευχθεί αυτό, εκτός της προπονητικής διαδικασίας, εφαρμόζουν ψυχολογικές και διατροφικές παρεμβάσεις. Η μελέτη αυτή στοχεύει να ερευνήσει μερικές από τις επιδράσεις που έχει η στοματική λήψη φωσφόρου στην αναερόβια απόδοση. Πιθανολογείται ότι η χρήση φωσφόρου ίσως ωφελήσει την αθλητική απόδοση καθυστερώντας τα συμπτώματα κόπωσης, και αυξάνοντας την παραγωγή ισχύος κατά την διάρκεια επαναλαμβανόμενων προσπαθειών, μικρής διάρκειας, μέγιστης έντασης.

Είναι γνωστό ότι το αυξημένο επίπεδο του 2,3-διφωσφογλυκερικού (2,3-DPG) των ερυθρών αιμοσφαιρίων μετακινεί την καμπύλη κορεσμού-αποκορεσμού

της οξυαιμοσφαιρίνης προς τα δεξιά ευνοώντας έτσι, την απόδοση περισσότερου οξυγόνου στους ιστούς, (Guyton 1997). Επίσης χαμηλά φωσφορικά επίπεδα στο αίμα ασθενών συνδυάζονται με μειωμένα επίπεδα 2,3-DPG στα ερυθρά αιμοσφαίρια. Ακόμα, έρευνες δοκιμαστικού σωλήνα έδειξαν ότι καλλιέργεια ερυθρών αιμοσφαιρίων με υψηλή φωσφορική συγκέντρωση αύξησαν τα επίπεδα σε 2,3-DPG. Γενικά, ο φώσφορος πλάσματος και η συγκέντρωση 2,3-DPG ήταν αντίστροφα συσχετιζόμενα σε ασθενείς με χρόνια αιμοδιάλυση, (βλ. Clarkson and Heymes 1995). Υποφωσφαταιμικοί δρομείς έχουν καταρρεύσει ανεξίχνιαστα μετά από αγώνες αναψυχής, (Dale et al. 1987; Dale et al. 1986; Wilkie 1986).

Παρ' όλα αυτά, λίγες έρευνες έχουν εξετάσει την εργογόνα επίδραση φωσφορικού συμπληρώματος σε προπονημένους αθλητές (Kreider et al. 1992; Kreider et al. 1990; Stewart et al. 1990; Cade et al. 1984), και μερικές άλλες σε λιγότερο προπονημένους ή αθλητές αναψυχής (Thompson et al. 1990; Mannix et al. 1990; Duffy and Conlee 1986; Ahlberg et al. 1986; Weatherwax et al. 1986). Όλες αυτές οι μελέτες εστίασαν στις επιδράσεις φωσφορικής υπερπλήρωσης στην αερόβια απόδοση. Φαίνεται ότι, συμπληρώματα φωσφορικού νατρίου αυξάνουν σημαντικά το αναερόβιο κατώφλι, μέγιστη κατανάλωση οξυγόνου, και αερόβια αντοχή σε καλά προπονημένους ποδηλάτες ή τριαθλητές (Kreider et al. 1992; Kreider et al. 1990; Stewart et al. 1990; Cade et al. 1984). Έρευνες όσον αφορά ταχύτητα και φωσφορική υπερπλήρωση σπανίζουν.

Το όξινο περιβάλλον ($\text{pH} < 7.4$) κατά την αναερόβια άσκηση οφείλεται στην αυξημένη συγκέντρωση γαλακτικού οξέος (ΓΟ), ενώ τα αποθέματα φωσφορικού άλατος του σώματος αποτελούν το σύστημα εξουδετέρωσης των παραγόμενων ιόντων H^+ και ρύθμισης του pH του αίματος, (Guyton 1997). Το γεγονός αυτό, οδήγησε στην υπόθεση ότι η λήψη φωσφόρου πριν από επαναλαμβανόμενες ταχύτητες υψηλής έντασης ίσως αυξήσει την απόδοση.

Μέθοδος

Δοκιμαζόμενοι. Δεκατρείς υγιείς φοιτητές αθλητές καλαθοσφαίρισης (21 ± 2.4 έτη, 79 ± 9.3 kg, 186 ± 9.1 cm), συμμετείχαν εθελοντικά σε δυο δοκιμασίες επαναλαμβανόμενων προσπαθειών με μέγιστη ταχύτητα στο κυκλοεργόμετρο. Ήταν καλά προπονημένοι ελαχιστοποιώντας έτσι όσο το δυνατόν την πιθανότητα προπονητικής επίδρασης κατά την διάρκεια της έρευνας. Όλοι ενημερώθηκαν, και έδωσαν γραπτή συγκατάθεση συμμετοχής τους μετά από παρουσίαση της διαδικασίας της έρευνας.

Σχεδιασμός της έρευνας. Χρησιμοποιήθηκε ένας διπλά τυφλός με αδρανή ουσία πειραματικός σχεδιασμός. Οι δοκιμαζόμενοι εκτέλεσαν δύο εργοδοκιμασίες μία πριν και μία μετά τη στοματική λήψη φωσφόρου. Και οι δύο δοκιμασίες ήταν ακριβώς ίδιες. Αρχικά οι δοκιμαζόμενοι εκτέλεσαν την πρώτη δοκιμασία στο κυκλοεργόμετρο χωρίς να καταναλώσουν κάποιο ειδικό συμπλήρωμα διατροφής. Στην διάρκεια αυτής της φάσης έγινε ο διαχωρισμός τους τυχαία στην πειραματική ($N = 7$) και στην ομάδα ελέγχου ($N = 6$).

Η πειραματική ομάδα κατανάλωνε μια κάψουλα ζελατίνης, χωρητικότητας 1g Na_3PO_4 , τέσσερις φορές την ημέρα (το λιγότερο 4 ώρες διάστημα μεταξύ κάθε δόσης), για τρεις ημέρες πριν από τη δεύτερη δοκιμασία. Η επιλογή της υψηλής αυτής δόσης στηρίζεται στην υπόθεση ότι για να πετύχουμε εργογόνα δράση, πρέπει να χορηγηθεί μέγιστη δυνατή ή σχεδόν μέγιστη δόση, λαμβάνοντας σοβαρά υπόψη ότι η μέγιστη ανεκτικότητα ενός μέσου ανθρώπου ανέρχεται σε $70\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ σωματικού βάρους (DoH 1991). Η ομάδα

ελέγχου κατανάλωσε κάψουλες ζελατίνης αδρανούς ουσίας που περιείχαν από 1 g αγνό λευκό αλεύρι ακολουθώντας την ίδια δοσολογία με την πειραματική ομάδα. Η αδρανής ουσία ήταν εμπλουτισμένη με μικρή ποσότητα μαγειρικού άλατος ώστε να μιμείται την γεύση του Na_3PO_4 . Αυτό έγινε για να μην μπορούν οι δοκιμαζόμενοι να ανταλλάξουν γνώμες όσον αφορά την ουσία που περιέχουν οι κάψουλες έτσι ώστε να επηρεασθεί η ψυχολογική τους προδιάθεση. Μεσολαβούσε μία περίοδο 7 ημερών μεταξύ της πρώτης και της δεύτερης δοκιμασίας. Κάθε δοκιμαζόμενος εκτέλεσε τη δεύτερη δοκιμασία την ίδια ώρα και μέρα όπως στην πρώτη δοκιμασία.

Πριν από κάθε δοκιμασία οι δοκιμαζόμενοι έκαναν προθέρμανση ποδηλατώντας 5 min στις 50 περιστροφές ανά λεπτό. Κάθε δοκιμασία απαιτούσε από τους δοκιμαζόμενους την εκτέλεση 8 προσπάθειών με μέγιστη ταχύτητα διάρκειας 6 sec στο κυκλοεργόμετρο με αντίβαρο τριβής στο τροχό ανάλογο με το 7,5% του σωματικού βάρους του δοκιμαζόμενου, (Bar-Or 1987). Ποδηλατώντας 60 περιστροφές ανά λεπτό με αντίβαρο τριβής στον τροχό 2 kg ήταν το διάλειμμα ενεργητικής αποκατάστασης μεταξύ των προσπαθειών. Κάθε δοκιμασία διαρκούσε 4,3 min και ο δοκιμαζόμενος ξεκινούσε από 50 περιστροφές ανά λεπτό χωρίς φορτίο τριβής. Σε κάθε προσπάθεια οι δοκιμαζόμενοι δέχονταν προφορική ενίσχυση από την ερευνητική ομάδα.

Οι δοκιμαζόμενοι ήταν υποχρεωμένοι να φέρουν αθλητική περιβολή, να αποφύγουν εντατική άσκηση 2 ημέρες πριν από κάθε δοκιμασία, κατανάλωση αλκοόλ 24 ώρες, κάπνισμα 2 ώρες, κατανάλωση οτιδήποτε 3 ώρες, πριν από κάθε δοκιμασία συμπεριλαμβανόμενων καφέ και τσάι, και τέλος να καταναλώσουν την προβλεπόμενη δόση στον ανάλογο χρόνο για τρεις ημέρες πριν από τη δεύτερη δοκιμασία.

Μετρήσεις-εξοπλισμός. Η χρονική διάρκεια της έρευνας ήταν δυο εβδομάδες και χρησιμοποιήθηκε ένα κυκλοεργόμετρο τροχοπέδησης με αντίβαρο τριβής, (Monark 834E). Μία φωτοευαίσθητη συσκευή (Cranlea Corrected Wingate Anaerobic Test Package) μετρούσε την παραγωγή ισχύος από τον τροχό (σφόνδυλο) του κυκλοεργόμετρου. Το σύστημα αυτό αναφέρει πραγματικές τιμές για την ροπή αδράνειας (PA) και την τριβή ροπής στρέψης (TPΣ) και είναι συμβατό με ηλεκτρονικούς υπολογιστές λειτουργικού συστήματος DOS. Ο φωτοευαίσθητῆρας ήταν συνδεδεμένος με ηλεκτρονικό υπολογιστή RM Nimbus VX/2 και χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση της διορθωμένης μέγιστης παραγόμενης ισχύος (ΜΠΙ) και παραγόμενου έργου (ΠΕ) κατά την διάρκεια κάθε 6-δευτερόλεπτων ταχύτητας, υπολογιζόμενη από την μέτρηση της γωνιακής ταχύτητας του τροχού. Πριν από κάθε δοκιμασία οι ερευνητές διακρίβωναν το σύστημα. Αυτό απαιτεί να εκτελεστεί η διαδικασία 'φθίνουσας ταχύτητας' (run-down test) (οστε να προμηθευτούμε την PA και την TPΣ του τροχού. Η διακρίβωση απαιτεί συνεχή ποδηλάτηση μέχρι τις 135 περιστροφές ανά λεπτό, ανά πέντε διαφορετικά αντίβαρα (δηλ. 1 kg, 1.5 kg, 2 kg, 2.5 kg, και 3 kg) και μετά επιτρέπουμε στον τροχό να επιβραδύνει μέχρι να σταματήσει. Στο τέλος τα αποτελέσματα των τιμών της PA και TPΣ εμφανίζονται στην οθόνη. Ο συντελεστής συσχέτισης (r) του Pearson της γραμμικής συσχέτισης επίσης εμφανίζεται. Αν ο συντελεστής είναι κάτω από 0,9600 τότε η διαδικασία 'φθίνουσας ταχύτητας' δείχνει συστηματικό λάθος στο σύστημα. Αυτό μπορεί να συμβαίνει για πλήθος λόγων όπως για παράδειγμα, ο ιμάντας τροχοπέδησης να μην έχει εφαρμοστεί σωστά ή να είναι φθαρμένος. Για να ολοκληρώσουμε τη διακρίβωση χρειάζεται να εισάγουμε τα τιμές που ήδη προμηθευτήκαμε για τις PA και TPΣ στο πρόγραμμα επανόρθωσης (defaults). Στην ερευνά μας ο συντελεστής r ήταν

≥ 0.9996 . Ένας τηλεμετρικός σταθμός, (Polar PE3000 Sport Tester Heart Rate Monitor) χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή της καρδιακής συχνότητας (ΚΣ), που περιλαμβάνει το ρολόι/δέκτη καρπού και την ζώνη στήθους με τον ανιχνευτή/διαβιβαστή. Αυτό το σύστημα καταγράφει τους καρδιακούς παλμούς ανά 5, 10, 15, 30 και 60 δευτερόλεπτα. Ο ανιχνευτής εφαρμόζονταν γύρω από τον θώρακα του δοκιμαζόμενου για την μέτρηση της ΚΣ κατά τη δοκιμασία. Η συσκευή αυτή ρυθμίσθηκε ώστε να συλλέγει δεδομένα κάθε 5 sec αμέσως πριν την έναρξη της δοκιμασίας και να σταματήσει στο τέλος της. Τα δεδομένα εκφορτώθηκαν σε RM Nimbus VX/2 ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης του γαλακτικού οξέος στο αίμα χρησιμοποιήθηκε ένας αναλυτής τύπου Lactate analyser YSI model 23L. Δείγμα αίματος εκχύνεται στον YSI model 23L που είναι μια ανιχνευτική συσκευή μέτρησης του γαλακτικού στο αίμα. Το δείγμα αίματος λαμβάνονταν από την ρώγα του δάκτυλου του δοκιμαζόμενου 5 min μετά το τέλος της άσκησης. Σε υψηλής έντασης άσκηση έχει αναφερθεί ότι η υψηλότερη τιμή ΓΟ εμφανίζεται 5-10 min από το τέλος της (Boobis 1987; Hermansen and Stenmsvold 1972). Η ανάλυση του αίματος γινόταν αμέσως μετά την δοκιμασία. Κατά την διάρκεια των πειραμάτων θεωρούσαμε παραδεκτή την τιμή του γαλακτικού που δήλωνε ο αριθμητικός μέσος από τρεις διαδοχικές μετρήσεις σε κάθε δείγμα αίματος.

Ο προσδιορισμός της φωσφορικής υπερπλήρωσης έγινε με έναν ένυδρο φωσφορικό νάτριο ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot (12\text{H}_2\text{O})$) κρυσταλλικής μορφής [Associated Chemists (Wicker) LTD Sheffield].

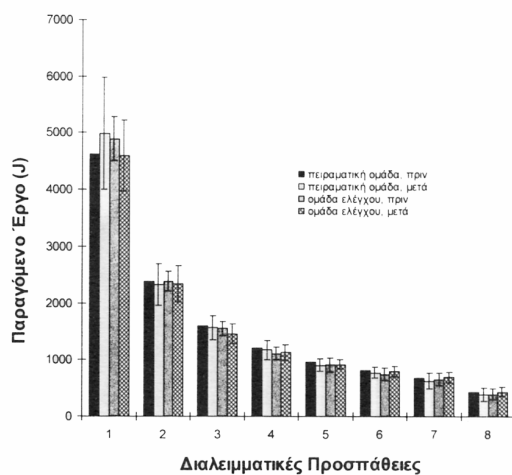
Κατάσταση περιβάλλοντος. Η θερμοκρασία, υγρασία, και ατμοσφαιρική πίεση του εργαστηρίου ήταν 25°C , 25%, 760.5 mmHg πριν από το πρώτο τεστ και 25°C , 25%, 756.5 mmHg πριν το δεύτερο αντίστοιχα.

Στατιστική ανάλυση. Αριθμητικοί μέσοι και τυπικές αποκλίσεις για τις μετρικές παραμέτρους υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας το λογισμικό SPSS 6.0 Shapiro-Wilks τεστ και Q-Q γραφήματα των ΜΠΙ, ΠΕ, δείκτη κόπωσης (ΔΚ), ΓΟ, και ΚΣ έδειξαν ότι τα δεδομένα κατανέμονται κανονικά ($P < 0.05$). Έτσι, χρησιμοποιήθηκε παραμετρικός έλεγχος των δεδομένων. Η διαδικασία t-test για ανεξάρτητα δείγματα χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό οποιασδήποτε σημαντικής διαφοράς μεταξύ των διαφορών (πρώτης-δεύτερης) δοκιμασίας της πειραματικής ομάδας και (πρώτης-δεύτερης) δοκιμασίας της ομάδας ελέγχου στις μετρήσεις ΜΠΙ, ΠΕ, ΓΟ, και ΚΣ σε κάθε προσπάθεια για κάθε δοκιμασία. Η διαδικασία t-test για εξαρτημένα δείγματα χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό οποιασδήποτε σημαντικής διαφοράς των μετρήσεων ΜΠΙ, ΠΕ, ΓΟ, ΔΚ, και ΚΣ μεταξύ της πρώτης και δεύτερης δοκιμασίας της πειραματικής ομάδας καθώς επίσης της πρώτης και δεύτερης δοκιμασίας της ομάδας ελέγχου σε κάθε προσπάθεια για κάθε δοκιμασία. Ως επίπεδο αποδεκτής σημαντικότητας τέθηκε το $P < 0.05$.

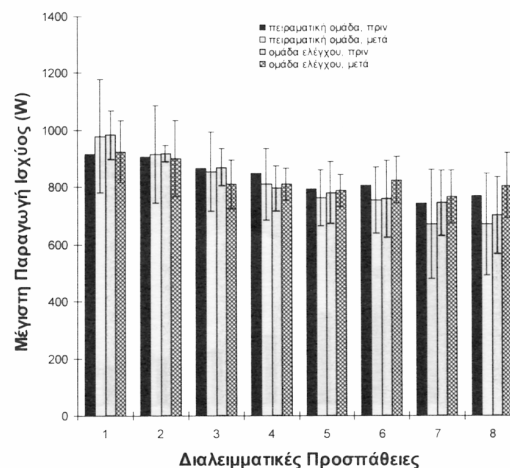
Αποτελέσματα

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1 το παραγόμενο έργο στην πρώτη προσπάθεια της δεύτερης δοκιμασίας της πειραματικής ομάδας τείνει να είναι υψηλότερο κατά 365.85 J του αντιστοίχου της πρώτης δοκιμασίας, ενώ για την ομάδα ελέγχου τείνει να είναι χαμηλότερο κατά 296.67 J. Το παραγόμενο έργο ανά προσπάθεια για την πρώτη δοκιμασία της πειραματικής ομάδας ήταν $1589.50 < 1337.45$ J και για τη δεύτερη $1596.60 < 1472.24$ J ενώ για την πρώτη δοκιμασία της ομάδας ελέγχου ήταν $1583.22 < 1406.74$ J και για τη δεύτερη $1548.14 < 1318.56$ J. Δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των ομάδων, ($P < 0.05$).

Το Σχήμα 2 δείχνει ότι υπάρχει μια τάση για τη μέγιστη παραγωγή ισχύος να είναι υψηλότερη στις δυο πρώτες προσπάθειες στη δεύτερη δοκιμασία της πειραματικής ομάδας από τις δυο προσπάθειες του πρώτου τεστ κατά 62.07 W και 10.38 W αντίστοιχα, (όχι σημαντική διαφορά, $P>0.05$), ενώ αντίθετα τείνει να είναι χαμηλότερη για την ομάδα ελέγχου κατά 58.71 W και 16.79 W αντίστοιχα (επίσης όχι σημαντική διαφορά, $P>0.05$). Η μέγιστη παραγωγή ισχύος ανά προσπάθεια για την πρώτη δοκιμασία της πειραματικής ομάδας ήταν 832.42 ± 152.20 W και για τη δεύτερη 803.57 ± 188.66 W ενώ για την πρώτη δοκιμασία της ομάδας ελέγχου ήταν 820.40 ± 135.68 W και για τη δεύτερη 829.63 ± 109.20 W. Δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των ομάδων, ($P<0.05$). Τέλος, στις τελευταίες προσπάθειες της δεύτερης δοκιμασίας, η πειραματική ομάδα είχε χαμηλότερες τιμές σε μέγιστη παραγωγή ισχύος και παραγόμενο έργο από ότι στην πρώτη δοκιμασία, ενώ η ομάδα ελέγχου είχε αντίθετα αποτελέσματα, αλλά σε καμία περίπτωση δεν είχαμε σημαντική διαφορά, ($P<0.05$).

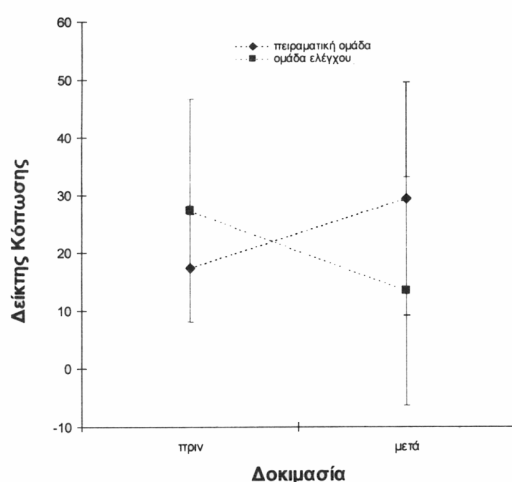


Σχήμα 1. Μέσες τιμές ($\pm$ τυπική απόκλιση) Παραγόμενου Έργου διαλειμματικής άσκησης 8 μέγιστων επαναλαμβανόμενων προσπαθειών 6-sec, με ενδιάμεση 30-sec ενεργητική αποθεραπεία πριν και μετά τη λήψη του φωσφορικού συμπληρώματος (πειραματική ομάδα $N=7$ και ομάδα ελέγχου $N=6$). Δεν παρατηρήθηκε σημαντική στατιστική διαφορά μεταξύ των ομάδων ($P>0.05$).

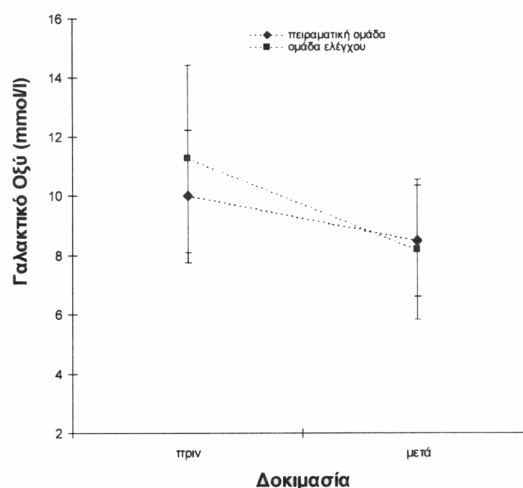


Σχήμα 2. Μέσες τιμές ($\pm$ τυπική απόκλιση) Μέγιστης Παραγωγής Ισχύος διαλειμματικής άσκησης 8 μέγιστων επαναλαμβανόμενων προσπαθειών 6-sec, με ενδιάμεση 30-sec ενεργητική αποθεραπεία πριν και μετά τη λήψη του φωσφορικού συμπληρώματος, (πειραματική ομάδα $N=7$ και ομάδα ελέγχου $N=6$). Δεν παρατηρήθηκε σημαντική στατιστική διαφορά μεταξύ των ομάδων ($P>0.05$).

Ο δείκτης κόπωσης (ΔK) καθορίζεται ως το ποσοστό πτώσης της υψηλότερης μέγιστης παραγόμενης ισχύος (Y_{MPI}) που καταγράφηκε στις πρώτες δυο-τρεις προσπάθειες, προς την τελευταία μέγιστη παραγόμενη ισχύ (T_{MPI}) που παρατηρήθηκε στην τελευταία προσπάθεια: $\Delta K = [(Y_{MPI} - T_{MPI}) / Y_{MPI}] \cdot 100$ (Boobis 1987). Ο αριθμητικός μέσος του ΔK στην πειραματική ομάδα μετά τη λήψη φωσφόρου αυξήθηκε ($\Delta K_{\text{πριν/πειρ.}} = 17.45 < \Delta K_{\text{μετά/πειρ.}} = 29.39$) αλλά όχι σημαντικά, ($P<0.05$). Αντιθέτως, ο αριθμητικός μέσος του ΔK στην ομάδα ελέγχου μετά τη λήψη φωσφόρου μειώθηκε ($\Delta K_{\text{πριν/ελέγχου}} = 27.43 > \Delta K_{\text{μετά/ελέγχου}} = 13.43$) αλλά και εδώ όχι σημαντικά, ($P<0.05$), (Σχήμα 3). Οι τιμές του γαλακτικού οξέος πέντε λεπτά μετά το τέλος των δοκιμασιών εμφανίζονται στο Σχήμα 4.

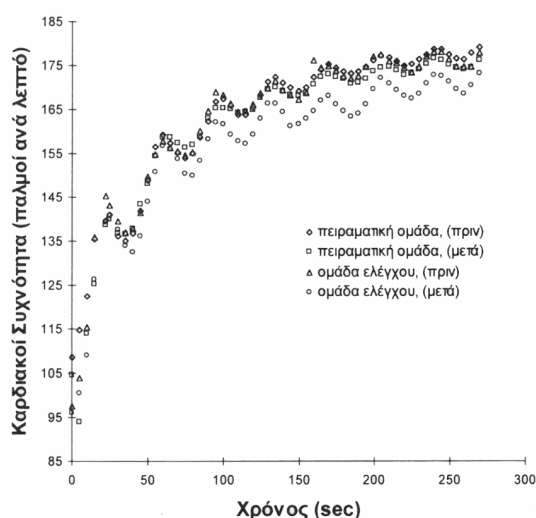


Σχήμα 3. Μέσες τιμές ($\pm$ τυπική απόκλιση) Δείκτη Κόπωσης διαλειμματικής άσκησης 8 μέγιστων επαναλαμβανόμενων προσπάθειών 6-sec, με ενδιάμεση 30-sec ενεργητική αποθεραπεία πριν και μετά τη λήψη του φωσφορικού συμπληρώματος, (πειραματική ομάδα $N = 7$ και ομάδα ελέγχου $N = 6$). Ο Δείκτης κόπωσης φαίνεται μεγαλύτερος, στην πειραματική όχι όμως στατιστικά σημαντικά συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου ($P > 0.05$).



Σχήμα 4. Μέσες τιμές ($\pm$ τυπική απόκλιση) Γαλακτικού Οξέως στο αίμα 5-min μετά από διαλειμματική άσκηση 8 μέγιστων επαναλαμβανόμενων προσπάθειών 6-sec, με ενδιάμεση 30-sec ενεργητική αποθεραπεία πριν και μετά τη λήψη του φωσφορικού συμπληρώματος. ΓΟ πριν και μετά για την πειραματική ($N = 7$) είναι $10.00 \pm 2.24 \text{ mmol l}^{-1}$, $8.5 \pm 1.88 \text{ mmol l}^{-1}$, ενώ για την ομάδα ελέγχου ($N = 6$) $11.28 \pm 3.16 \text{ mmol l}^{-1}$, $8.2 \pm 2.37 \text{ mmol l}^{-1}$ αντίστοιχα. Δεν παρατηρήθηκε σημαντική στατιστική διαφορά μεταξύ των ομάδων ($P > 0.05$).

Ο αριθμητικός μέσος της καρδιακής συχνότητας ανά λεπτό κατά την διάρκεια της πρώτης, δεύτερης δοκιμασίας στην πειραματική ομάδα και πρώτης, δεύτερης δοκιμασίας στην ομάδα ελέγχου ήταν 162.65 ± 19.3 , 160.77 ± 22.26 , 162.08 ± 21.90 , 156.44 ± 22.18 αντίστοιχα και δεν παρατηρήθηκε καμία στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των ομάδων, ($P > 0.05$), (Σχήμα 5).



Σχήμα 5. Η μέση Καρδιακή Συχνότητα ανά 5 δευτερόλεπτα κατά τη διάρκεια διαλειμματικής άσκησης 8 μέγιστων επαναλαμβανόμενων προσπάθειών 6-sec με ενδιάμεση 30-sec ενεργητική αποθεραπεία, για την πειραματική ($N = 7$) και ομάδα ελέγχου ($N = 6$) πριν και μετά την υπερπλήρωση φωσφορικού. Δεν παρατηρήθηκε καμία στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των ομάδων, ($P > 0.05$).

Συζήτηση

Οι διάφορες μελέτες που έχουν ερευνήσει την εργογόνα δράση της φωσφορικής υπερπλήρωσης του ανθρώπινου σώματος διαφέρουν, όσον αφορά τα φωσφορικά συμπληρώματα, τη δοσολογία, την αιματολογική ανάλυση, τις μεταβλητές της άσκησης που μετρήθηκαν και στην φυσική κατάσταση των δοκιμαζόμενων. Η μεγαλύτερη όμως διάφορα της παρούσης έρευνας με τις προηγούμενες είναι το είδος άσκησης, αφού χρησιμοποιήθηκε αναερόβιο γαλακτικό πρωτόκολλο άσκησης. Έτσι υπάρχει δυσκολία σύγκρισης των δεδομένων της παρούσης με δεδομένα άλλων ερευνών που χρησιμοποίησαν αερόβια πρωτόκολλα άσκησης, (Kreider et al. 1992; Kreider et al. 1990; Stewart et al. 1990; Cade et al. 1984).

Υψηλής έντασης αναερόβια άσκηση αλλάζει την χημική ισορροπία μεταξύ ενδοκυτταρικού και εξωκυτταρικού περιβάλλοντος. Σημαντικές ποσότητες ΓΟ συσσωρεύονται στο αίμα και στο μυϊκό ιστό με αποτέλεσμα την πτώση του pH. Χαμηλό pH εμποδίζει την μεταφορά ενέργειας και την δυνατότητα συστολής των μυϊκών ινών (Sutton J.R. et al., 1981; Fuchs F. et al., 1970). Στην παρούσα έρευνα βρέθηκε 15% μείωση της συγκέντρωσης του γαλακτικού οξέος στο αίμα μετά τη στοματική λήψη φωσφόρου στην πειραματική ομάδα, διαφορά η οποία δεν είναι σημαντική. θεωρητικά το ΓΟ θα πρέπει να αντιδράσει με το φωσφορικό νάτριο και να εξουδετερωθεί. Εάν το ΓΟ ήταν σε πλεόνασμα θα είχε ένα λόγο παραπάνω να αντιδράσει με το φωσφορικό νάτριο. Παρ' όλα αυτά, βασιζόμενοι στα ευρήματά μας δεν υπήρχε σημαντική διάφορα στην μείωση του ΓΟ μεταξύ πειραματικής και ομάδας ελέγχου. Ένας λόγος ίσως είναι ότι οι συνθήκες στον ανθρώπινο οργανισμό δεν είναι οι κατάλληλες γι' αυτή την αντίδραση, (η υπόθεση όμως αυτή χρειάζεται διερεύνηση). Το γεγονός επίσης ότι η ομάδα ελέγχου είχε μεγαλύτερη μείωση (27%) οδηγεί στο συμπέρασμα ότι κάποιοι άλλοι λόγοι επηρέασαν την συγκέντρωση ΓΟ. Ένας από αυτούς μπορεί ίσως να είναι η αλλαγή της ψυχολογικής τους κατάστασης λόγω προσωπικών προβλημάτων. Αυτά τα αποτελέσματα δεν υποστηρίζουν προηγούμενες αναφορές που μαρτυρούν ότι η λήψη φωσφόρου (~1x4 g/ημέρα για 3-4 ημέρες) μειώνει τη συγκέντρωση ΓΟ τουλάχιστον σε αερόβια άσκηση (Kreider et al. 1992; Cade et al. 1984).

Οι Wilkes, Gledhill και Smyth (1983), βρήκαν ότι το διττανθρακικό νάτριο μπορεί να έχει θετική επίδραση στην αναερόβια απόδοση επηρεάζοντας το οξεοβασικό σύστημα του ανθρώπου μέσω του διττανθρακικού ρυθμιστικού συστήματος. θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι παρόμοια δράση θα συμβεί με την φωσφορική υπερπλήρωση γιατί η λειτουργία του φωσφορικού συστήματος ομοιάζει του διττανθρακικού. Τα αποτελέσματα όμως δεν το υποδηλώνουν. Το φωσφορικό ρυθμιστικό σύστημα δεν είναι τόσο σημαντικό και δεν συνεισφέρει όσο το διττανθρακικό εξαιτίας της σχετικά χαμηλής συγκέντρωσης του (κατά προσέγγιση το ένα έκτο του διττανθρακικού ρυθμιστικού διαλύματος στο εξωκυττάριο υγρό, Marieb 1995). Η τελική ποσότητα του φωσφορικού νατρίου που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή την έρευνα 12g/δοκιμαζόμενο απέχει πολύ από την ποσότητα του διττανθρακικού που χρησιμοποιήθηκε στις έρευνες των Wilkes et al. 1983 (21 g για 70 kg δοκιμαζόμενο) και Gledhill 1984 (ο οποίος πρότεινε να χρησιμοποιούνται 20 g για 70 kg δοκιμαζόμενο), για να αλλάξουν την οξεοβασική κατάσταση των αθλητών. Λόγω της πολύ χαμηλής αρχικής συγκέντρωσης του φωσφορικού ρυθμιστικού διαλύματος στο σώμα, και στη μικρότερη δόση που χρησιμοποιήθηκε συγκριτικά με αυτή του διττανθρακικού, το φωσφορικό νάτριο φαίνεται ότι, ατυχώς, δεν λειτούργησε ως ρυθμιστικό διάλυμα.

Έχει αναφερθεί ότι η φωσφορική υπερπλήρωση αυξάνει τον μεταβολισμό

των ερυθρών κύτταρων παρακινώντας την αναερόβια γλυκόλυση στο σχηματισμό τριφωσφορικής αδενοσίνης (Kreider 1992) αυξάνοντας την ικανότητα της φωσφορικής ρίζας για οξειδωτική φωσφορυλίωση και σύνθεση φωσφοκρεατίνης (Chasiotis 1988). Έτσι αν και έχουμε υψηλότερες τιμές στη μέγιστη παραγωγή ισχύος κατά τις δυο πρώτες προσπάθειες και περισσότερο παραγόμενο έργο στην πρώτη προσπάθεια για την πειραματική ομάδα μετά τη λήψη φωσφόρου δεν μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η στοματική λήψη έχει σημαντική επίδραση στον αναερόβιο αγαλακτικό μηχανισμό έστω μόνο για τις δυο πρώτες προσπάθειες. Το γεγονός επίσης ότι η πειραματική ομάδα είχε υψηλότερες τιμές μέγιστης παραγωγής ισχύος στις δυο τελευταίες προσπάθειες της δεύτερης δοκιμασίας από ότι στη πρώτη επηρέασε και το δείκτη κόπωσης.

Έχει αναφερθεί (Williams 1995), ότι άτομα που καταναλώνουν συμπληρώματα φωσφόρου ίσως υποφέρουν από γαστρεντερική διαταραχή, η οποία παρουσιάζεται συνήθως αμέσως μετά τη λήψη. Αυτές οι επιβλαβείς αντιδράσεις μπορούν μερικές φορές να προληφθούν διαλύοντας το φωσφορικό άλας σε υγρό ώστε να καταναλωθεί κατά το γεύμα. Εκτός από αυτό το οξύ φαινόμενο, παρατεταμένη υπερβολική δοσοληψία φωσφόρου φαίνεται ότι επηρεάζει την ισορροπία και μεταβολισμό του ασβεστίου. Ο λόγος για αυτό είναι, εξαιτίας του υπερβολικού φωσφόρου μειώνεται η παραγωγή ενζύμων που βοηθούν στην απορρόφηση του ασβεστίου από το έντερο, (Clarkson and Haymes 1995). Επίσης έχει αναφερθεί (National Research Council, 1989), ότι συχνή χρήση φωσφορικών συμπληρωμάτων -περισσότερο από μια φορά την εβδομάδα -χαμηλώνει τα επίπεδα του Ca^{++} στο αίμα σημαντικά. Η ακριβής όμως ποσότητα δεν είναι ακόμα γνωστή. Τέλος, φαίνεται ότι υπερφωσφαταιμία μάλλον προκαλεί υπερθυρεοειδισμό και μεταγενέστερα νόσους των οστών σε περιπτώσεις όπου η αντιστοιχία ασβεστίου προς φώσφορο είναι μικρότερη από 1 προς 2, (Garrow and James 1996; National Research Council 1989). Αν και στους ενήλικες η αντιστοιχία Ca:P που μπορούν να ανεχθούν ποικίλει χωρίς να υπάρχουν επιπλοκές στην ομοιοστάση του Ca^{++} , υπάρχει η μέγιστη επιτρεπόμενη δόση. Αυτή ανέρχεται σε 70 mg.kg^{-1} σωματικού βάρους το οποίο σημαίνει ότι ένας άνθρωπος μπορεί να δεχτεί 4.5g φωσφόρου ημερησίως, από διατροφικά συμπληρώματα ή άλλες διατροφικές πηγές, (DoH 1991).

Επειδή ο φώσφορος είναι τόσο διαδεδομένος στις διάφορες τροφές δεν γνωρίζουμε ποια δοσολογία θα είχε τα μέγιστα αποτελέσματα. Σε προηγούμενες μελέτες χρησιμοποίησαν $\sim 1 \times 4 \text{ g/ημέρα}$ για 3-4 ημέρες χωρίς να παρατηρηθεί όμως σημαντική διαφορά στο φώσφορο πλάσματος (Kreider et al. 1992; Stewart et al. 1990; Cade et al. 1984). Έξι ημέρες στοματικής λήψης φωσφόρου ίσως να είχε καλύτερα αποτελέσματα. Στην παρούσα μελέτη, απαιτήθηκε από τους δοκιμαζόμενους να παίρνουν το συμπλήρωμα διατροφής ή την αδρανή ουσία τέσσερις φορές την ημέρα για τρεις ημέρες πριν από τη δεύτερη δοκιμασία. Δεν ξέρουμε αν έπαιρναν την ακριβή δόση, ή αν η διατροφή τους ήταν ισορροπημένη. Για παράδειγμα, ίσως μερικοί να κατανάλωναν υπερβολική σε λίπη ή υδατάνθρακες δίαιτα, ή να κατανάλωναν καφέ πριν από τη δεύτερη δοκιμασία, ή να είχαν υψηλή σε φώσφορο δίαιτα. Όλα αυτά θα μπορούσε να επηρεάσουν την απόδοση των αθλητών και κατά επέκταση τα αποτελέσματα της έρευνας. Παρ' όλο που είχαν δοθεί φυλλάδια και συγκεκριμένες οδηγίες που έπρεπε να τηρηθούν σχολαστικά, αυστηρότερος έλεγχος ίσως βοηθούσε περισσότερο.

Κάτω από κανονικές συνθήκες τα νεφρά ελέγχουν την ομοιοστάση του φωσφόρου και εξ' αυτού κάθε φωσφορικό πλεόνασμα αποβάλλεται μέσω του

ουρικού συστήματος. Με αυτό τον τρόπο ο πλεονάζων φώσφορος δεν προκαλεί πρόβλημα αλλά επηρεάζει μόνο άτομα με προβληματική νεφρική λειτουργία, (Williams 1995). Έτσι ένας διπλά τυφλός με χιασμό και αδρανή ουσία πειραματικός σχεδιασμός θα ήταν καλύτερος, αλλά δεν γνωρίζουμε πόσες ημέρες θα χρειαζόταν να αποβληθεί από τον οργανισμό το πλεόνασμα φωσφόρου. Αυτός ήταν και ο λόγος που χρησιμοποιήσαμε ένα διπλά τυφλό με αδρανή ουσία σχεδιασμό.

Παρόμοιες έρευνες που χρησιμοποιούν φωσφορικό νάτριο και ειδικότερα πρωτόκολλα πολλαπλών ταχυτήτων για να εξετάσουν τα οφέλη στην αναερόβια ισχύ είναι σπάνιες. Αλλαγές στο φώσφορο πλάσματος, αιμοσφαιρίνη, RBC 2,3-DPG, CO₂, φωσφοκρεατίνη, και νάτριο θα μπορούσαν να δείξουν της επιπτώσεις της φωσφορικής υπερπλήρωσης στην φυσιολογία του οργανισμού. Συνεπώς, προτείνουμε ειδική ανάλυση αίματος σε πειράματα που θα ακολουθήσουν και θα μας οδηγήσουν στην καλύτερη κατανόηση του μηχανισμού φωσφορικής υπερπλήρωσης σε συνθήκες επαναλαμβανόμενων προσπαθειών με μέγιστη ταχύτητα.

Ο κύριος στόχος της έρευνας αυτής ήταν ο υπολογισμός της επίδρασης που έχει η στοματική λήψη φωσφόρου στην αναερόβια ισχύ επαναλαμβανόμενων ταχυτήτων. Για αποτελέσματα μας δεν έδειξαν σημαντική βελτίωση στην αναερόβια απόδοση. Γενικά φαίνεται αβέβαιο ότι το φωσφορικό νάτριο αυξάνει την αναερόβια ισχύ, παραγωγή έργου, αργοπορεί την κόπωση, ή μειώνει τη συγκέντρωση γαλακτικού οξέος σε άσκηση επαναλαμβανόμενων ταχυτήτων μικρής διάρκειας, μέγιστης έντασης στο κυκλοεργόμετρο. Προφανώς, επιπρόσθετη έρευνα απαιτείται για την κατανόηση της επίδρασης της στοματικής λήψης φωσφόρου στον μεταβολισμό της ενέργειας, στην λειτουργία των ερυθρών κυττάρων, στην σύνθεση 2,3-DPG, και στην οξεοβασική ρύθμιση σε αναερόβιες συνθήκες σε προπονημένους και παγκοσμίου επιπέδου αθλητές. P

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- AHLBERG, A., R.S. WEATHERWAX, M. DEADY, H.R. PEREZ, R.M. OTTO, D. COOPERSTAIN, T.K. SMITH, and J.W. WYGARD. Effect of Phosphate Loading on Cycle Ergometer Performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 18:S11, (Abstract No.54), 1986.
- BAR-OR, O. The Wingate Anaerobic Test, An Update on Methodology, Reliability and Validity. *Sports Med.* 4:381-394, 1987.
- BOBIS, L.H. Metabolic aspects of fatigue during sprinting. In: *Exercise: Benefits, Limits and Adaptations*. Eds Macleod., Maughan R., Nimmo M., Reilly T., Williams C.E. & F.N. Spon New York, 1987.
- CADE, R., M. CONTE, C. ZAUNER, D. MARS, J. PETERSON, D. LUNNE, N. HOMMEN, and D. PACKER. Effects of Phosphate Loading on 2,3-Diphosphoglycerate and Maximal Oxygen Uptake. *Med. Sci. Sports Exerc.* 16:263-268, 1984.
- CHASIOTIS, D. Role of Cyclic AMP and Inorganic Phosphate in the Regulation of Muscle Glycogenolysis During Exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 20:545-550, 1988.
- CLARKSON, P.M., and E.M. HAYMES. Exercise and Mineral Status of Athletes: Calcium, Magnesium, Phosphorus, and Iron. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27:831-843, 1995.
- DALE, G., J.A. FLEETWOOD, J.S. INKSTER, and J.R.C. SAINSBURY. Profound Hypophosphataemia in Patients Collapsing After a "Fun Run". *Br. Med. J.* 292:447-8, 1986.
- DALE, G., J.A. FLEETWOOD, A.N.N. WEDDELL, R.D. ELLIS, and J.R.C. SAINSBURY. Fitness, Unfitness and Phosphate. *Br. Med. J.* 294:939, 1987.
- DEPARTMENT OF HEALTH (DoH). *Dietary Reference Values for Food Energy and Nutrients for the United Kingdom*. Report of the Panel on the Dietary Reference Values of the Committee on Medical Aspects of Food Policy (COMA), (Report on Health and Social Subjects 41). London: HMSO, pp. 150-151, 1991.
- DUFFY, D.J., and R.K. CONLEE. Effects of Phosphate Loading on Leg Power and High Intensity

- Treadmill Exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 18:674-677, 1986.
- FUCHS, F., Y. REDDY, and F.N. BRIGGS. The Interaction of Cations With the Calcium Binding Site of Troponin. *Biochem. Biophys. Acta.* 221:407-409, 1970.
- GARROW, J.S., and W.P.T. JAMES. *Human Nutrition and Dietetics*, 9th edition. UK: Churchill Livingstone, pp.170, 412, 611-612, 1996.
- GLEDHILL, N. Bicarbonate Ingestion and Anaerobic Performance. *Sports Med.* 1:177-188, 1984.
- GUYTON, A.C. *Human Physiology and Mechanisms of Disease*, 6th edition. Philadelphia: W.B. Saunders Company, pp.386, 516-519, 1997.
- HERMANSEN, L., and L. STENMSVOLD. Production and Removal of Lactate During Exercise in Man. *Acta. Physiol. Scand.* 86:191, 1972.
- KREIDER, R.B., G.W. MILLER, D. SCHENK, C.W. CORTES, V. MIRIEL, C.T. SOMMA, P. ROWLAND, C. TURNER, and D. HILL. Effects of Phosphate Loading on Metabolic and Myocardial Responses to Maximal and Endurance Exercise. *I. J. Sports Nutr.* 2:20-47, 1992.
- KREIDER, R.B., G.W. MILLER, M.H. WILLIAMS, C.T. SOMMA, and T.A. NASSER. Effects of Phosphate Loading on Oxygen Uptake, Ventilatory Anaerobic Threshold, and Run Performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 22:250-256, 1990.
- MANNIX, E.T., J.M. STAGER, A. HARRIS, and M.O. FARBER. Oxygen Delivery and Cardiac Output During Exercise Following Oral Phosphate-Glucose. *Med. Sci. Sports Exerc.* 22:341-347, 1990.
- MARIEB, N.E. *Human Anatomy and Physiology* (3rd edition). The Benjamin/Cummings Company, Inc. California, p. 942, 1995.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Recommended Dietary Allowances*, 10th edition. Washington, DC: National Academy Press, pp.1, 174-187, 1989.
- STEWART, I., L. McNAUGHTON, P. DAVIES, and S. TRISTRAM. Phosphate Loading and the Effects on VO_2max in Trained Cyclists. *Res. Quarterly Exerc. Sport.* 61:80-84, 1990.
- SUTTON, J.R., N.L. JONES, and C.J. TOEWS. Effect of pH on Muscle Glycolysis During Exercise, *Clin. Sci.* 61:331-338, 1981.
- THOMPSON, D.L., S. GRANTHAM, M. HALLI, J. JOHNSON, J. McDANIEL, F. SERVEDIO and W.R. THOMPSON. Effects of Phosphate Loading on Erythrocyte 2,3-Diphosphoglycerate (2,3-DPG), Adenosine 5 Triphosphate (ATP), Haemoglobin (Hb), and Maximal Oxygen Consumption (VO_2max). *Med. Sci. Sports Exerc.* 22:S36, (Abstract No.211), 1990.
- WEATHERWAX, R.S., A. AHLBERG, M. DEADY, H.R. PEREZ, R.M. OTTO, D. COOPERSTAIN, and J.W. WYGARD. Effect of Phosphate Loading on Bicycle Time Trial Performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 18:S11, (Abstract No.55). 1986.
- WILKES, D., N. GLEDHILL, and R. SMYTH. Effect of Acute induced Metabolic Alkalosis on 800-m Racing Time. *Med, Sci. Sports Exerc.* 4:277-280, 1983.
- WILKIE, D.R. Profound Hypophosphataemia in Patients Collapsing After a "Fun Run". *Br. Med. J.* 292:692, 1986.
- WILLIAMS, M.H. *Nutrition for Fitness & Sport*, 4th edition. USA: Brown and Benchmark, pp.138, 215, 219-221, 1995.