

Όρια αθλητικών επιδόσεων: άλμα σε μήκος και ύψος

G.P. BRÜGGEMANN και A. ARAMPATZIS

*Εργαστήριο Κλασικού Αθλητισμού και Ενόργανης Γυμναστικής
Ανώτατη Σχολή Αθλητισμού Κολωνίας, Κολωνία, Γερμανία*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

BRÜGGEMANN G.P. και ARAMPATZIS A. Όρια αθλητικών επιδόσεων: άλμα σε μήκος και ύψος. *Κινησιολογία*, Τομ. 2, Νο 2, σελ. 103-114, 1997. Ο ρυθμός αύξησης των επιδόσεων σε ορισμένα αθλήματα ή αγωνίσματα παρουσιάζει τα τελευταία χρόνια μια τάση στασιμότητας ή και μια μικρή οπισθοδρόμηση. Τίθεται λοιπόν το ερώτημα αν τα όρια της ανθρώπινης ικανότητας για υψηλή επίδοση στον αθλητισμό έχουν φθάσει στο μέγιστο σημείο ή αν υπάρχουν δυνατότητες για περαιτέρω βελτίωση χωρίς τη χρήση φαρμακολογικών μέσων. Στο άρθρο αυτό εξετάζονται τα άλματα του κλασικού αθλητισμού και διερευνάται η δυνατότητα αύξησης των ορίων της επίδοσης τόσο μέσω μιας βελτίωσης της αθλητικών οργάνων όσο και μιας καλυτέρευσης της ατομικής τεχνικής των αθλητών. Για την ανάλυση και στήριξη αυτών των απόψεων χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα που ελήφθησαν στο παγκόσμιο πρωτάθλημα κλασικού αθλητισμού του 1997 στην Αθήνα. Συγκεκριμένα αναλύθηκαν 31 άλματα σε μήκος ανδρών, 31 άλματα σε μήκος γυναικών και 26 άλματα σε ύψος από τους τελικούς ανδρών. Τα άλματα κατατάχθηκαν σε ομάδες με κριτήρια ομαδοποίησης την αρχική ενέργεια, την ελάττωση της ενέργειας κατά τη φάση της ώθησης και τον δείκτη μεταφοράς. Δείχθηκε ότι α) υπάρχει ένας ορθολογικός συνδυασμός της ελάττωσης της ενέργειας και του δείκτη μεταφοράς, έτσι ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη επίδοση και β) ο συνδυασμός αυτός εξαρτάται από την αρχική ενέργεια που επιτυγχάνεται κατά τη φορά. Στη συνέχεια έγινε μια ατομική εκτίμηση της συμπεριφοράς του αθλητή στη διάρκεια της ώθησης και εξετάστηκε αν ο αθλητής χρησιμοποίησε την καλύτερη δυνατή τεχνική και αν εκμεταλλεύτηκε τελείως την αρχική του ενέργεια. Συμπερασματικά, βρέθηκε ότι και στην περίπτωση της βελτίωσης των μηχανικών ιδιοτήτων των αθλητικών οργάνων αλλά και της βελτίωσης της ατομικής τεχνικής τα απόλυτα όρια της επίδοσης δεν έχουν ακόμα επιτευχθεί στο μέγιστο βαθμό. Μια βελτίωση της ρύθμισης των εκτεινόντων μυών στα κάτω άκρα μπορεί να επηρεάσει τη δυνατότητα αποθήκευσης στα βιολογικά στοιχεία και, επομένως την εκμετάλλευση της αρχικής ενέργειας των αθλητών, ώστε να υπάρξει μία μεγαλύτερη αύξηση της επίδοσης. Έτσι, από βιομηχανικής-βιοκινητικής πλευράς μία μετατόπιση των ορίων επίδοσης είναι ρεαλιστική. Στα άλματα του κλασικού αθλητισμού, άλμα σε μήκος και άλμα σε ύψος, είναι εφικτή μία βελτίωση κατά 5-10%.

Λέξεις κλειδιά: ΑΛΜΑ ΕΙΣ ΥΨΟΣ, ΑΛΜΑ ΕΙΣ ΜΗΚΟΣ, ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ, ΔΕΙΚΤΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ, ΑΘΛΗΤΙΚΟ ΠΑΠΟΥΤΣΙ, ΣΤΙΒΟΣ, ΕΠΙΔΟΣΗ

Οι αθλητές επιζητούν συνεχή βελτίωση των επιδόσεων τους, αφού ο ανταγωνισμός και η υψηλή απόδοση είναι στοιχεία του σημερινού αθλητισμού και ειδικότερα του πρωταθλητισμού. Το φίλαθλο κοινό και τα Μέσα Μαζικής

Επικοινωνίας ενδιαφέρονται από κοινού για αθλητικές επιδόσεις υψηλού επιπέδου, ενώ ταυτόχρονα η κοινή γνώμη διαμαρτύρεται για μη ηθικούς και ιατρικά παραδεκτούς τρόπους που χρησιμοποιούνται σ' αυτή την προσπάθεια. Προξενεί όμως εντύπωση πως η προτροπή για έναν πιο ηθικό και κοινωνικό αθλητισμό επιδόσεων προέρχεται από ομάδες ανθρώπων, που ταυτόχρονα ζητούν και μεγαλύτερα ρεκόρ και επικρίνουν δημόσια τους πρωταθλητές για χαμηλές επιδόσεις. Από την πλευρά τους οι αθλητές και οι αθλήτριες προσπαθούν για την καλύτερη επίδοση, αν και σε ορισμένα αθλήματα ή αγωνίσματα η πορεία εξέλιξης της επίδοσης δείχνει μια τάση στασιμότητας ή και μερικές φορές μια μικρή οπισθοδρόμηση. Έτσι π.χ. η επίδοση στο άλμα σε μήκος από τον Bob Beamon το 1968 (8.90 μέτρα) ξεπεράστηκε ελάχιστες φορές μέχρι σήμερα. Επίσης, στο άλμα σε ύψος ο ρυθμός αύξησης της επίδοσης έγινε στα τελευταία είκοσι χρόνια σημαντικά μικρότερος. Σε ορισμένα αθλήματα εμφανίζεται σοβαρή καθυστέρηση στη βελτίωση των επιδόσεων, που όμως δεν μπορεί να εξηγηθεί μόνο από τη διαφοροποίηση των νέων κανονισμών ή από αλλαγή κάποιου οργάνου (π.χ. ακόντιο). Τέτοια παραδείγματα παρατηρούνται σε ορισμένα αθλήματα ρίψεων στον κλασικό αθλητισμό, όπου οι επιδόσεις μετά την μείωση των στεροειδών επέστρεψαν σε χαμηλότερα όρια.

Τίθεται λοιπόν το ερώτημα αν τα όρια της ανθρώπινης ικανότητας για υψηλή επίδοση στον αθλητισμό έχουν φθάσει στο μέγιστο σημείο ή αν υπάρχουν ακόμη δυνατότητες για μεγαλύτερη βελτίωση. Ειδικά η συζήτηση για την φαρμακολογική επίδραση και το ντόπινγκ αφήνει να εννοηθεί ότι τα φυσικά όρια έχουν κατορθωθεί. Ακόμα, η προειδοποίηση για μελλοντικούς αθλητές με τεχνικά διαφοροποιημένο γονότυπο, πρόβλημα το οποίο δεν είναι πλέον ουτοπία, αναδεικνύουν ένα σοβαρό ζήτημα για να εξεταστούν τα όρια της ανθρώπινης απόδοσης χωρίς νοθείες.

Από βιομηχανικής-βιοκινητικής πλευράς τίθενται δύο ερωτήματα που έχουν σχέση με την συζήτηση για τα όρια της αθλητικής επίδοσης:

1. Σε ποια κατεύθυνση και μέχρι ποιο βαθμό μπορεί ένα βιομηχανικά-βιοκινητικά και εργονομικά βελτιωμένο αθλητικό όργανο (π.χ. παπούτσι) ή ένα βελτιωμένο δάπεδο (π.χ. στίβος) να επηρεάσει την απόδοση ενός αθλητή;
2. Είναι οι σημερινές τεχνικές κίνησης, όπως αυτές εκτελούνται από τους καλύτερους αθλητές για την υπερνίκηση ενός κινητικού προβλήματος οι πλέον ιδανικές; Πόσο δυνατή είναι η αύξηση της επίδοσης με τη βελτίωση της τεχνικής κάτω από τις υπάρχουσες φυσικές ικανότητες;

Στη συνέχεια θα εξεταστούν τα άλματα του κλασικού αθλητισμού και θα διερευνηθεί εάν οι τεχνικές εκτέλεσής τους από τους καλύτερους αθλητές του κόσμου είναι οι καλύτερες ή υπάρχουν ακόμη περιθώρια βελτίωσης. Θα εξεταστούν επίσης οι εφεδρείες για μεγαλύτερη αύξηση της επίδοσης με βάση την υπάρχουσα φυσική κατάσταση των αθλητών και τα όρια μιας ρεαλιστικής αύξησης της επίδοσης μέσω της βελτίωσης της τεχνικής. Για τη στήριξη αυτών των απόψεων θα χρησιμοποιηθούν δεδομένα που ελήφθησαν στο παγκόσμιο πρωτάθλημα κλασικού αθλητισμού του 1997 στην Αθήνα. Αρχικά θα γίνει

όμως μια μικρή αναφορά στο θέμα της βελτίωσης των αθλητικών οργάνων και υλικών.

Αύξηση των ορίων επίδοσης μέσω βελτίωσης των αθλητικών οργάνων και των υλικών

Οι παρούσες σκέψεις δεν αναφέρονται στις δυνατότητες βελτίωσης αθλητικών οργάνων, όπως το ποδήλατο ή το έλκηθρο, η βελτίωση των οποίων προσφέρει πλεονεκτήματα μόνο σε αθλητές που μπορούν να τα έχουν και έτσι είναι μονομερής. Αναφέρεται κυρίως στη βελτίωση αθλητικών οργάνων ή δαπέδων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από όλους τους αθλητές. Ορισμένοι ερευνητές έχουν ασχοληθεί με το πρόβλημα της αύξησης της αθλητικής επίδοσης μέσω της βελτίωσης των υλικών του στίβου (McMahon and Greene 1984; Cuin 1984). Ακόμα, υπάρχουν αναφορές για την αποθήκευση και την επιστροφή ελαστικής ενέργειας μέσω της σόλας του αθλητικού παπουτσιού (π.χ. Shorten 1993). Η βασική ιδέα είναι να ελαχιστοποιηθεί η απώλεια της ενέργειας κατά τη διάρκεια της στήριξης με ένα ελαστικό υπόβαθρο. Η σόλα ενός παπουτσιού είναι σε θέση να αποθηκεύσει περίπου 1-2% της ενέργειας που υπάρχει πριν την επαφή με το έδαφος (π.χ. στο τρέξιμο). Η ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας της σόλας του παπουτσιού είναι πολύ μικρότερη από την ικανότητα αποθήκευσης των υπαρχόντων βιολογικών στοιχείων όπως σύνδεσμοι, αρθρικοί θύλακες, μύες και τένοντες. Εκτός αυτού, υπάρχουν μεγάλες δυσκολίες για την εφαρμογή του σχεδίου αποθήκευση ενέργειας στο μηχανικό σύστημα και επιστροφή της στο βιολογικό. Η επιστροφή αυτή πρέπει να γίνει όχι μόνο στην κατάλληλη χρονική στιγμή αλλά και στο επιθυμητό σημείο του βιολογικού συστήματος (π.χ. αποθήκευση ενέργειας στη σόλα του παπουτσιού κατά την αρχή της φάσης στήριξης με το πίσω μέρος του ποδιού, επιστροφή ενέργειας περίπου 150 ms αργότερα στο εμπρόσθιο μέρος του ποδιού). Έτσι η εφαρμογή της αποθήκευσης και επιστροφής ενέργειας μέσω ενός αθλητικού οργάνου, τουλάχιστον για όργανα που παρουσιάζουν μικρές μεταβολές στο μήκος τους και υπάρχουν σχετικά μικρά διαστήματα για εφαρμογή δυνάμεων, είναι αρκετά δύσκολη. Σε όργανα όμως που υπάρχουν μεγάλες μεταβολές στο μήκος τους όπως π.χ. το τραμπολίνο, ο βατήρας στις καταδύσεις ή επίσης η μπάρα του μονοζύγου, η εφαρμογή της αποθήκευσης και επιστροφής της ενέργειας έχει μεγάλη σημασία (Arampatzis & Brüggemann 1995, 1997).

Σε γρήγορες κινήσεις που προσδιορίζονται από μικρούς χρόνους στήριξης και όπου οι μεταβολές του μεγέθους του παπουτσιού ή του στίβου είναι μικρές, σημασία έχει η ελαχιστοποίηση της απώλειας ενέργειας (Nigg 1997). Οι απόψεις αυτές στηρίζονται στο γεγονός ότι μία ελαχιστοποίηση της απώλειας ενέργειας από ένα μηχανικό σύστημα, όπως π.χ. το παπούτσι ή ο διάδρομος του στίβου, μπορεί να αυξήσει την επίδοση. Εάν ένα παπούτσι ή ένας διάδρομος του στίβου απορροφά μέχρι και 2% της ενέργειας που υπάρχει στην αρχή της φάσης στήριξης και αν η απώλεια αυτή ενέργειας μπορεί να ελαττωθεί ακόμα περισσότερο, μπορεί να επακολουθήσει μια οικονομικότερη εκμετάλλευση των βιολογικών δυνατοτήτων του αθλητή. Έτσι μπορεί να υπάρξει μια αύξηση της επίδοσης από 1 μέχρι και 2% π.χ. στους δρόμους ταχύτητας, εάν συνδυαστεί με βελτίωση του αθλητικού παπουτσιού και του στίβου. Προϋπόθεση του παραπάνω είναι το ότι δεν θα υπάρξουν

μεταβολές στις φυσικές και στις τεχνικοκινητικές ικανότητες των αθλητών. Στη βάση αυτών των σκέψεων φαίνονται ρεαλιστικές οι υποθέσεις του Nigg (1997), για μια επίδοση με 9.70 δευτ. στα 100 μέτρα.

Αύξηση των ορίων της επίδοσης μέσω ατομικής βελτίωσης της τεχνικής

Στη συνέχεια θα εξεταστούν τα άλματα του μήκους και του ύψους και θα διερευνηθούν οι δυνατότητες αύξησης της επίδοσης μέσω της βελτίωσης της τεχνικής. Επιλέχτηκαν τα αθλήματα αυτά γιατί τα τελευταία χρόνια δείχνουν μια στασιμότητα στην πορεία εξέλιξης της επίδοσής τους και εμφανίζουν μικρότερο αριθμό νέων επιδόσεων. Στα δύο αγωνίσματα θα προσδιοριστεί μια βέλτιστη συμπεριφορά του αθλητή κατά τη διάρκεια της ώθησης για άλμα κάτω από συγκεκριμένες αρχικές συνθήκες. Θα εξεταστούν οι αποκλίσεις από την καλύτερη τεχνική σε αθλητές υψηλών επιδόσεων και θα εκτιμηθούν τα περιθώρια βελτίωσης που υπάρχουν για την επίτευξη της μέγιστης επίδοσης.

Άλμα σε μήκος. Ήδη το 1968 ο Bob Beamon με το άλμα του αιώνα (8.90 μέτρα) πέτυχε μία επίδοση που για πολλά χρόνια όχι μόνο δεν καταρρίφθηκε αλλά ούτε και πλησιάστηκε. Μετά το 1978 ξεπεράσαν οι επιδόσεις τα 8.40 μέτρα. Το 1982 κατόρθωσε ο Lewis να κάνει άλμα πάνω από 8.70 μέτρα. Το 1987 κέρδισε αυτός ο εκπληκτικός αθλητής στο παγκόσμιο πρωτάθλημα της Ρώμης με 8.72 μέτρα. Αλλά αρκετά αργότερα στο παγκόσμιο πρωτάθλημα του 1991 κατόρθωσαν να ξεπεράσουν ο Mike Powels με 8.95 μέτρα αλλά και ο Carl Lewis με 8.91 μέτρα την για 23 χρόνια αξεπέραστη επίδοση του Bob Beamon. Παρόμοιες τάσεις δείχνουν και οι επιδόσεις των γυναικών, όπου οι καλύτερες επιδόσεις των ετών μεταξύ 1984 και 1988 δεν επιτεύχθηκαν στο παγκόσμιο πρωτάθλημα του 1997. Έτσι, τίθεται το ερώτημα πόσο είναι δυνατή σήμερα μια μεγαλύτερη αύξηση των επιδόσεων μέσω βελτίωσης της τεχνικής;

Η επίδοση στο άλμα σε μήκος προσδιορίζεται από το μήκος που διανύει το κέντρο μάζας (Κ.Μ.) του σώματος στη φάση πτήσης, από τη θέση του Κ.Μ. του σώματος τη στιγμή της απογείωσης και από το μήκος που διανύει το Κ.Μ. του σώματος κατά την προσγείωση (Hay et al. 1986). Τη μεγαλύτερη επίδραση στην επίδοση έχει το μήκος που διανύει το Κ.Μ. του σώματος στη φάση πτήσης. Διάφοροι ερευνητές (π.χ. Ballreich 1970, 1979; Hay et al. 1996; Lees et al. 1993, 1994) ασχολήθηκαν με την επίδραση της οριζόντιας και κατακόρυφης ταχύτητας απογείωσης του Κ.Μ. του σώματος στο μήκος του άλματος. Τα αποτελέσματα των διαφόρων ερευνών αποκλίνουν μεταξύ τους και εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το επίπεδο των εξεταζομένων αθλητών. Στη σχέση της ελάττωσης της οριζόντιας ταχύτητας του Κ.Μ. του σώματος κατά τη διάρκεια της ώθησης και την αύξηση της κατακόρυφης ταχύτητας απογείωσης του Κ.Μ. του σώματος, αναφέρθηκαν μεταξύ άλλων οι Koh και Hay (1990). Στη σχέση αυτή πρέπει να αναφερθεί ότι παρατηρείται μία απώλεια ενέργειας κατά τη διάρκεια της ώθησης τόσο στους αθλητές όσο και στις αθλήτριες (Nixdorf & Brüggemann 1990; Lees et al. 1993, Muller & Brüggemann 1997). Κατά τη μεταβολή της πορείας του Κ.Μ. του σώματος και κατά συνέπεια κατά τη μεταφορά της οριζόντιας ταχύτητας του Κ.Μ. του σώματος σε κάθετη και οριζόντια ταχύτητα ο αθλητής χάνει ένα μέρος της κινητικής ενέργειας που απέκτησε στη διάρκεια της φόρας. Διάφοροι ερευνητές (Hay et al. 1985, Hay et al. 1986, Nixdorf & Brüggemann 1990,

Hay & Nohara 1990) επισημαίνουν α) ότι η μετατροπή της ενέργειας φόρας σε ένα μέγιστο μήκος άλματος εξαρτάται από την ικανότητα των αθλητών και β) ότι υπάρχει μια βέλτιστη κινητική λύση στην ώθηση που εξαρτάται από τις δεδομένες αρχικές συνθήκες. Θα εξεταστεί λοιπόν κατά πόσο μπορεί να προσδιοριστεί μία βέλτιστη συμπεριφορά στη διάρκεια της ώθησης κάτω από δεδομένες αρχικές συνθήκες (αρχική ενέργεια του αθλητή) σε αθλητές υψηλών επιδόσεων. Στη συνέχεια θα γίνει προσπάθεια έτσι ώστε να εκτιμηθούν οι εφεδρείες που υπάρχουν για την μεγιστοποίηση της επίδοσης στο άλμα σε μήκος.

Αναλύθηκαν 31 άλματα ανδρών και 31 άλματα γυναικών από τους τελικούς του παγκοσμίου πρωταθλήματος κλασικού αθλητισμού του 1997 στην Αθήνα. Για την ανάλυση των αλμάτων χρησιμοποιήθηκαν 4 κάμερες με συχνότητα λήψης 50 Hz.

Το μήκος (W) του Κ.Μ. του σώματος κατά τη φάση πτήσης μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση:

$$W = \frac{E_{k2} \sin^2 \alpha}{g} + \frac{2 \cos \alpha}{g} \sqrt{E_{k2} (E_{p2} + E_{k2} \sin^2 \alpha)} \quad [1]$$

και $E_{k2} = E_{kin2}/m$ όπου E_{kin2} η κινητική ενέργεια του Κ.Μ. του σώματος του αθλητή στο τέλος της φάσης της ώθησης, $E_{p2} = E_{pot2}/m$ όπου E_{pot2} η δυναμική ενέργεια του σώματος του αθλητή στο τέλος της φάσης της ώθησης, $E_{kin2} = mv^2/2$ όπου v η ταχύτητα του Κ.Μ. του σώματος του αθλητή στο τέλος της φάσης της ώθησης και $E_{pot2} = mgh$ όπου m η μάζα του αθλητή, h το ύψος του Κ.Μ. του σώματος του αθλητή στο τέλος της φάσης της ώθησης και α η γωνία απογείωσης.

Κατά τη διάρκεια της φάσης της ώθησης -όπως ήδη αναφέρθηκε- παρατηρείται μια ελάττωση της συνολικής ενέργειας του σώματος του αθλητή. Στη φάση αυτή γίνεται η μεταφορά της ενέργειας της φόρας στην ενέργεια της απογείωσης. Για να υπολογιστεί αυτή η μεταφορά δημιουργήθηκε ένας δείκτης που περιγράφει την μεταβολή της κατεύθυνσης του Κ.Μ. του σώματος κατά τη διάρκεια της φάσης της ώθησης σε σχέση με την ελάττωση της ενέργειας του σώματος του αθλητή. Ο δείκτης μεταφοράς ($T_{μετ.}$) ορίστηκε σαν το ηλίκο της γωνίας απογείωσης δια της ελάττωσης της συνολικής ενέργειας του σώματος του αθλητή κατά τη διάρκεια της ώθησης. Δείχνει δηλαδή το ποσό της ενέργειας που απαιτείται για να γίνει μια συγκεκριμένη μεταβολή στην κατεύθυνση του Κ.Μ. του σώματος του αθλητή.

$$T_{μετ.} = \frac{\alpha}{E_{απ}} \quad [2]$$

Η συνολική ενέργεια του σώματος στο τέλος της φάσης της ώθησης μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$$\begin{aligned}
E_{G2} &= E_{G1} - E_{αν.} & \Rightarrow \\
E_{p2} + E_{k2} &= E_{G1} - E_{αν.} & \Rightarrow \\
E_{k2} &= E_{G1} - E_{αν.} - E_{p2} & [3]
\end{aligned}$$

και $E_{G1} = E_{Ges1}/m$ όπου E_{Ges1} η συνολική ενέργεια (δυναμική + κινητική) του Κ.Μ. του σώματος του αθλητή στην αρχή της φάσης της ώθησης, $E_{G2} = E_{Ges2}/m$ όπου E_{Ges2} η συνολική ενέργεια του Κ.Μ. του σώματος του αθλητή στο τέλος της φάσης της ώθησης και $E_{αν.}$ η απώλεια της συνολικής ενέργειας του Κ.Μ. του σώματος του αθλητή κατά τη φάση της ώθησης.

Από τις εξισώσεις (1), (2) και (3) μπορεί το μήκος (W) του Κ.Μ. του σώματος να περιγραφεί σαν συνάρτηση της αρχικής ενέργειας του αθλητή, της ελάττωσης της ενέργειας του αθλητή κατά τη διάρκεια της ώθησης και του δείκτη μεταφοράς (εξίσωση 4).

$$\begin{aligned}
W &= \frac{(E_{G1} - E_{αν.} - E_{p2}) \sin^2 (T_{μετ.} E_{αν.})}{g} + \frac{2 \cos (T_{μετ.} E_{αν.})}{g} \times \\
&\sqrt{E_{p2} (E_{G1} - E_{αν.} - E_{p2}) + (E_{G1} - E_{αν.} - E_{p2})^2 \sin^2 (T_{μετ.} E_{αν.})} & [4]
\end{aligned}$$

Οι διαφορές της δυναμικής ενέργειας στο τέλος της φάσης της ώθησης είναι πολύ μικρές και επηρεάζονται περισσότερο από το ύψος του αθλητή. Μπορεί δηλαδή η E_{pot2} να λάβει ατομικά για κάθε αθλητή μία σταθερή τιμή. Η αρχική ενέργεια χαρακτηρίζει τις αρχικές συνθήκες του άλματος, ενώ η ελάττωση της συνολικής ενέργειας του σώματος του αθλητή και ο δείκτης μεταφοράς χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά του αθλητή κατά τη διάρκεια της φάσης της ώθησης. Με τη χρήση της ανάλυσης ομαδοποίησης δημιουργήθηκαν τόσο για τις γυναίκες όσο και για τους άνδρες τρεις διαφορετικές ομάδες με κριτήρια ομαδοποίησης την αρχική ενέργεια, την ελάττωση της ενέργειας κατά τη φάση της ώθησης και τον δείκτη μεταφοράς. Δηλαδή τα άλματα που περιέχει κάθε ομάδα είναι ομοιογενή ως προς τα προαναφερθέντα κριτήρια, παράλληλα όμως οι ομάδες διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους.

Από τα δεδομένα του πίνακα 1 φαίνεται ότι τόσο στις γυναίκες όσο και στους άνδρες δύο διαφορετικές τεχνικές ώθησης με τις ίδιες αρχικές συνθήκες οδηγούν στις ίδιες επιδόσεις. Οι ομάδες 1 και 2 στους άνδρες και οι ομάδες 1 και 3 στις γυναίκες έχουν την ίδια ενέργεια φόρας. Στη φάση της ώθησης η ομάδα 1 των ανδρών και η ομάδα 3 των γυναικών παρουσιάζουν μεγαλύτερη ελάττωση της συνολικής ενέργειας του σώματός τους συγκριτικά με την αντίστοιχη ομάδα τους. Επακόλουθο της παραπάνω λειτουργίας είναι οι δύο ομάδες να παρουσιάζουν μια μικρότερη ενέργεια απογείωσης και μια μεγαλύτερη γωνία απογείωσης από τις ομάδες 2 (άνδρες) και 1 (γυναίκες) αντίστοιχα. Η διαφορετική στρατηγική των ομάδων στη φάση της ώθησης

επηρεάζει ανάλογα την οριζόντια και κατακόρυφη ταχύτητα απογείωσης του Κ.Μ. του σώματος. Η ομάδα 3 των ανδρών παρουσιάζει τις καλύτερες επιδόσεις παρόλο που η ελάττωση της συνολικής ενέργειας της στη φάση της ώθησης είναι η υψηλότερη και ο δείκτης μεταφοράς της ο μικρότερος. Οι καλύτερες επιδόσεις στην ομάδα 3 των ανδρών οφείλονται στη μεγάλη αρχική τους ενέργεια. Η ομάδα 2 των γυναικών δείχνει συγκριτικά με την ομάδα 1 μία όμοια συμπεριφορά στη φάση της ώθησης, δηλαδή ίδια ελάττωση ενέργειας και ίδιον δείκτη μεταφοράς. Επειδή όμως η ομάδα 2 έχει την μικρότερη αρχική ενέργεια παρουσιάζει και την μικρότερη ενέργεια απογείωσης και έτσι τη χειρότερη επίδοση.

Πίνακας 1. Αρχική ενέργεια, απώλεια ενέργειας, δείκτης μεταφοράς, γωνία απογείωσης, ενέργεια απογείωσης και μήκος άλματος στις τρεις ομάδες.

	Γυναίκες			Ανδρες		
Παράμετροι	Ομάδα 1 (n=9)	Ομάδα 2 (n=11)	Ομάδα 3 (n=11)	Ομάδα 1 (n=12)	Ομάδα 2 (n=6)	Ομάδα 3 (n=13)
Αρχική ενέργεια (J/kg)	55.70 (1.02)	52.40* (1.10)	55.90 [⊥] (1.19)	64.20 (1.40)	64.30 (1.20)	67.80* [⊥] (1.10)
Απώλεια ενέργειας στην ώθηση (J/kg)	5.40 (1.00)	5.21 (0.90)	7.80* [⊥] (0.70)	9.10 (0.70)	7.00* (0.5)	11.80* [⊥] (1.10)
Δείκτης μεταφοράς(°J/kg)	3.60 (0.70)	4.20 (0.70)	2.70* [⊥] (0.30)	2.20 (0.20)	2.70* (0.20)	1.90* [⊥] (0.20)
Ενέργεια απογείωσης (J/kg)	50.30 (1.70)	47.20* (1.30)	48.10* (1.10)	55.10 (1.50)	57.30* (1.10)	56.80* (1.60)
Γωνία απογείωσης (°)	18.96 (1.50)	21.41* (1.70)	20.97* (1.70)	19.98 (1.50)	18.85* (0.21)	20.78 [⊥] (1.50)
Μήκος ώθησης KM(m)	6.82 (0.13)	6.60* (0.12)	6.73 [⊥] (0.17)	7.94 (0.17)	7.95 (0.09)	8.08* [⊥] (0.22)

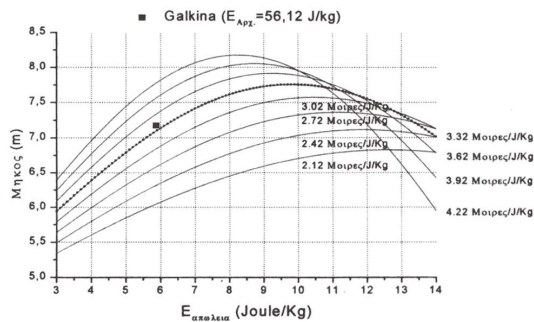
* Στατιστικά σημαντική ($p < 0.05$) διαφορά μεταξύ της ομάδας 1 και της ομάδας 2 καθώς επίσης μεταξύ της ομάδας 1 και της ομάδας 3.

⊥ Στατιστικά σημαντική ($p < 0.05$) διαφορά μεταξύ της ομάδας 2 και της ομάδας 3.

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι η αρχική ενέργεια, η οποία χαρακτηρίζεται από την ταχύτητα του αθλητή κατά τη φόρα, προσδιορίζει και στους αθλητές υψηλών επιδόσεων το μεγάλο σε μήκος άλμα. Από μόνη της η αρχική ενέργεια δεν φθάνει για να εξηγήσει την επίδοση γιατί η εκμετάλλευσή της είναι διαφορετική από τους αθλητές κατά τη διάρκεια της ώθησης. Οι αθλητές στις διάφορες ομάδες έδειξαν μια διαφορετική συμπεριφορά στη διάρκεια της

ώθησης χωρίς όμως να παρουσιάσουν διαφορές στη γεωμετρική θέση του σώματός τους. Οι γωνίες των αρθρώσεων στην αρχή και στο τέλος της φάσης στήριξης δεν έδειξαν σημαντικές ($p < 0.05$) διαφορές. Αυτό αφήνει να εννοηθεί, ότι η διαφορετική συμπεριφορά στη φάση της ώθησης ήταν αποτέλεσμα της διαφορετικής ρύθμισης της σκληρότητας των μυών από τους αθλητές πριν και κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης. Ακόμα από τα αποτελέσματα του πίνακα 1 φαίνεται ότι μία απώλεια στην συνολική ενέργεια του αθλητή δεν φέρνει πάντα και τη χειρότερη επίδοση.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω το μήκος (W) μπορεί να περιγραφεί σαν συνάρτηση της αρχικής ενέργειας, της ελάττωσης της ενέργειας κατά τη διάρκεια της ώθησης και του δείκτη μεταφοράς (εξίσωση 4). Στο σχήμα 1 παρουσιάζεται το καλύτερο άλμα της παγκόσμιας πρωταθλήτριας Galkina ($E_{\text{αρχ}} = 56.10 \text{ J/kg}$).



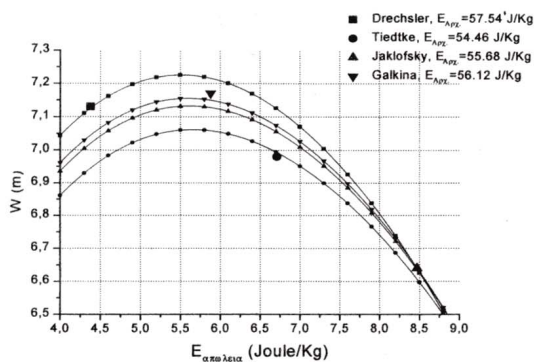
Σχήμα 1. Μήκος της φάσης της πτήσης σαν συνάρτηση της απώλειας της ενέργειας κατά τη φάση του πατήματος και του δείκτη μεταφοράς.

Όπως φαίνεται από το σχήμα μια αύξηση της επίδοσης μπορεί να προέλθει μέσω ενός μεγαλύτερου δείκτη μεταφοράς, διατηρώντας σταθερή την ελάττωση της ενέργειας κατά τη διάρκεια της ώθησης, ή με μεγαλύτερη ελάττωση της ενέργειας, διατηρώντας σταθερό το δείκτη μεταφοράς. Μεταξύ όμως της ελάττωσης της ενέργειας κατά τη διάρκεια της ώθησης και του δείκτη μεταφοράς παρατηρείται στατιστικά σημαντική αρνητική συσχέτιση ($r = -0.91$, $p < 0.001$). Η σχέση αυτή παρατηρήθηκε τόσο στους αθλητές όσο και στις αθλήτριες. Αυτό σημαίνει ότι ένας υψηλός δείκτης μεταφοράς μπορεί να επιτευχθεί με μικρή ελάττωση ενέργειας. Ακόμα υπάρχει μία αρνητική συσχέτιση μεταξύ του δείκτη μεταφοράς και της αρχικής ενέργειας ($r = -0.67$, $p < 0.01$ για τους άνδρες και $r = -0.63$, $p < 0.01$ για τις γυναίκες). Με αύξηση της ταχύτητας φόρας ελαττώνεται ο δείκτης απόδοσης της αλλαγής της κατεύθυνσης του Κ.Μ. του σώματος κατά την ώθηση, κάτι που εξακριβώθηκε και από τους Witters et al. (1992).

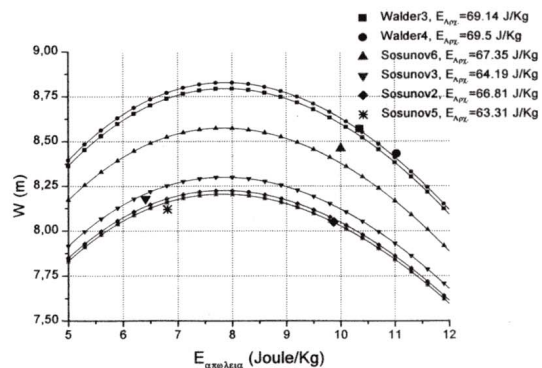
Οι παραπάνω συσχετίσεις αποδεικνύουν ότι: α) υπάρχει ένας ορθολογικός συνδυασμός της ελάττωσης της ενέργειας και του δείκτη μεταφοράς, έτσι ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη επίδοση και β) ο συνδυασμός αυτός εξαρτάται από την αρχική ενέργεια που επιτυγχάνεται κατά τη φόρα. Μέσω της εξίσωσης παλινδρόμησης έγινε δυνατή η εκτίμηση του δείκτη μεταφοράς σε σχέση με την ελάττωση της ενέργειας του σώματος του αθλητή κατά την ώθηση και της αρχικής ενέργειας, τόσο για τους αθλητές όσο και για τις αθλήτριες. Ο

συντελεστής συσχέτισης ήταν πολύ υψηλός και στις δύο περιπτώσεις ($r=0.94$, $p<0.001$ για τους άνδρες και $r=0.91$, $p<0.001$ για τις γυναίκες). Στη συνέχεια η εξίσωση (4) μπορεί να αναπροσαρμοστεί έτσι ώστε το μήκος (W) να υπολογίζεται ως συνάρτηση της αρχικής ενέργειας και της ελάττωσης της ενέργειας κατά την ώθηση. Γίνεται δηλαδή δυνατή μια ατομική εκτίμηση της συμπεριφοράς του αθλητή στη διάρκεια της ώθησης και μπορεί να εξεταστεί αν ο αθλητής χρησιμοποίησε μια καλύτερη δυνατή τεχνική και αν εκμεταλεύτηκε τελείως την αρχική του ενέργεια.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 2 η Drechsler διαθέτει τη μεγαλύτερη αρχική ενέργεια. Η αθλήτρια αυτή θα μπορούσε να επιτύχει το καλύτερο άλμα. Μια μεταβολή της ελάττωσης της ενέργειας κατά την ώθηση από την τιμή των 4.40 J/kg στην τιμή των 5.30-5.80 J/kg θα μεγάλωνε τη γωνία απογείωσης από τη τιμή των 16.9 μοιρών στην τιμή των 18.6-19.0 μοιρών και έτσι θα μπορούσε να επιτύχει επίδοση στα 7.22 μέτρα. Η Galkina παρουσιάζει σε σχέση με τις αρχικές της συνθήκες μία άριστη συμπεριφορά στην ώθηση. Η Jaklofsky με 55.70 J/kg αρχική ενέργεια ανήκει στην ομάδα των αθλητριών με σχετικά καλές αρχικές συνθήκες. Η αυξημένη ελάττωση της ενέργειας που επιδεικνύει όμως στη φάση της ώθησης (8.50 J/kg) την κατατάσσει στις χαμηλές επιδόσεις. Με μια άριστη συμπεριφορά κατά την ώθηση θα μπορούσε να πηδήσει περίπου 50 cm μακρύτερα. Παρόμοιες περιπτώσεις υπάρχουν και στους αθλητές (σχήμα 3). Ορισμένοι παρουσιάζουν πολύ μεγάλη ελάττωση στην ενέργεια του σώματός τους κατά την ώθηση και άλλοι πολύ μικρή. Όλα τα άλματα που αναλύθηκαν στους αθλητές δείχνουν την καλύτερη δυνατή συμπεριφορά στη διάρκεια της ώθησης. Για παράδειγμα, με άριστη συμπεριφορά στην ώθηση θα μπορούσε ο Walter να πετύχει ένα άλμα στα 8.83 μέτρα.



Σχήμα 2. Μήκος της φάσης πτήσης σαν συνάρτηση της απώλειας ενέργειας κατά τη φάση της ώθησης (γυναίκες).



Σχήμα 3. Μήκος της φάσης πτήσης σαν συνάρτηση της απώλειας ενέργειας κατά τη φάση της ώθησης (άνδρες).

Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα μόνο σε ελάχιστες περιπτώσεις (όπως π.χ. Galkina) ακόμα και σε αθλητές υψηλών επιδόσεων επιτυγχάνεται άριστη εκμετάλλευση των αρχικών συνθηκών κατά τη φάση της ώθησης. Οι αθλητές δεν έχουν καταφέρει να επιτύχουν την ιδανική εκτέλεση της τεχνικής στη φάση της ώθησης, έτσι που και οι καλύτεροι αθλητές του κόσμου

παρουσιάζουν τεχνικές ελλείψεις και δεν κατορθώνεται πάντα η άριστη επίδοση κάτω από τις δεδομένες αρχικές συνθήκες. Φαίνεται ότι τα ατομικά όρια της επίδοσης σε σχέση με το υπάρχον βιολογικό δυναμικό δεν έχουν ακόμη εξαντληθεί.

Άλμα σε ύψος. Παρόμοιες σκέψεις, όπως στο άλμα σε μήκος, μπορούν να γίνουν και στο άλμα σε ύψος. Στο αγώνισμα αυτό το κεντρικό πρόβλημα είναι επίσης η τέλεια εκμετάλλευση της αρχικής ενέργειας που εκδηλώνεται κατά τη φόρα. Το ύψος του Κ.Μ. στο άλμα σε ύψος μπορεί να υπολογιστεί με την παρακάτω σχέση:

$$H = \frac{E_{p2}}{g} + \frac{E_{k2} \sin^2 \alpha}{g} \quad [5]$$

Κατά τη διάρκεια της ώθησης συμβαίνει και στο άλμα σε ύψος μία ελάττωση της συνολικής ενέργειας του σώματος του/της αθλητή/τριας (Brüggemann & Arampatzis 1997). Έτσι ανάλογα με το άλμα σε μήκος η εξίσωση (5) μπορεί να μετασχηματιστεί στην ακόλουθη σχέση:

$$H = \frac{E_{p2}}{g} + \frac{(E_{G1} - E_{απ.} - E_{p2}) \sin^2 (T_{μετ.} E_{απ.})}{g} \quad [6]$$

Η αρχική ενέργεια χαρακτηρίζει τις αρχικές συνθήκες, ενώ η ελάττωση της ενέργειας του σώματος του αθλητή και ο δείκτης μεταφοράς χαρακτηρίζουν την συμπεριφορά του αθλητή στη φάση της ώθησης. Αναλύθηκαν 26 έγκυρα άλματα από τους τελικούς των ανδρών κατά το Παγκόσμιο Πρωτάθλημα Κλασικού Αθλητισμού του 1997. Χρησιμοποιήθηκαν 4 κάμερες με συχνότητα λήψης 50 Hz. Δύο κάμερες κατέγραφαν τους αθλητές που εκτελούσαν την ώθηση με το αριστερό πόδι και δύο γι' αυτούς που εκτελούσαν με το δεξί. Η ανάλυση ήταν τρισδιάστατη. Χρησιμοποιώντας όπως και στο άλμα του μήκους την ανάλυση ομαδοποίησης δημιουργήθηκαν δύο διαφορετικές ομάδες με κριτήρια ομαδοποίησης την αρχική ενέργεια, την ελάττωση της ενέργειας κατά την ώθηση και το δείκτη μεταφοράς. Οι δύο ομάδες παρουσιάζουν διαφορετικές αρχικές συνθήκες και μία διαφορετική συμπεριφορά κατά τη φάση της ώθησης (πίνακας 2). Η ομάδα 2 έχει μία μεγαλύτερη αρχική ενέργεια συγκριτικά με την ομάδα 1 αλλά παρουσιάζει επίσης μία μεγαλύτερη απώλεια ενέργειας στη φάση της ώθησης. Ο δείκτης μεταφοράς της ομάδας 2 είναι πολύ μικρότερος και έτσι οι δύο ομάδες στο τέλος της φάσης της ώθησης έχουν περίπου την ίδια ενέργεια και την ίδια γωνία απογείωσης. Επακόλουθο είναι οι δύο ομάδες να μην παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές στο ύψος του άλματος. Οι παραπάνω παρατηρήσεις δείχνουν ότι η ελάττωση της ενέργειας κατά τη φάση της ώθησης στην ομάδα 2 είναι πολύ μεγάλη και δεν οδηγεί σε κάποιο πλεονέκτημα. Η ομάδα 1 κατορθώνει να καλύψει τις ελλείψεις που έχει στην αρχική ενέργεια συγκριτικά με την ομάδα 2 με μία μικρότερη απώλεια ενέργειας και έναν μεγαλύτερο δείκτη μεταφοράς. Μεταξύ των ομάδων διαφορές στη γεωμετρική θέση των μελών του σώματος κατά τη φάση της

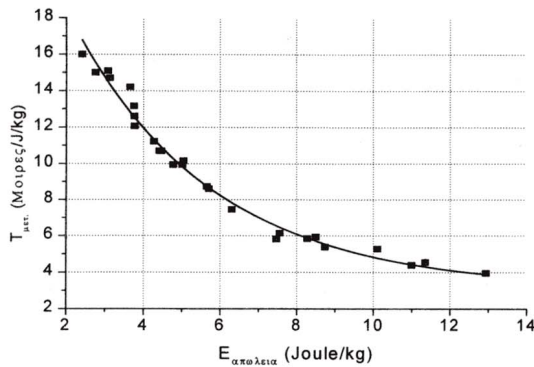
ώθησης δεν υπήρχαν. Οι γωνίες στις αρθρώσεις των μελών στα κάτω άκρα δεν έδειξαν στατιστικά σημαντικές ($p < 0.05$) διαφορές. Οι διαφορές ήταν στο μέγεθος της σκληρότητας των μυών στα κάτω άκρα. Είναι βέβαιο πως η ακριβής σχέση μεταξύ της σκληρότητας των μυών και της ελάττωσης της ενέργειας κατά τη φάση της ώθησης δεν μπορεί ακόμη να υπολογιστεί. Η αρχική ενέργεια, όπως και στο άλμα σε μήκος φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά την ελάττωση της ενέργειας. Οι δύο παράμετροι συσχετίζονται στατιστικά σε σημαντικό βαθμό ($r = 0.93$, $p < 0.001$).

Πίνακας 2. Αρχική ενέργεια, απώλεια ενέργειας, δείκτης μεταφοράς, γωνία απογείωσης, ενέργεια απογείωσης και ύψος άλματος στις δύο ομάδες.

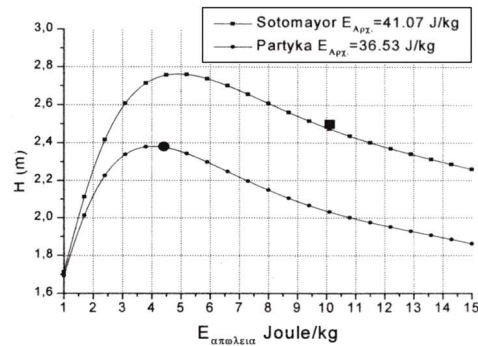
Παράμετροι	Ομάδα 1 (n=16)	Ομάδα 2 (n=10)
Αρχική ενέργεια (J/kg)	35.15(1.38)	39.04(2.06)*
Απώλεια ενέργειας στην ώθηση (J/kg)	4.26(0.99)	9.23(2.06)*
Δείκτης μεταφοράς ($^{\circ}$ /J/kg)	12.05(3.34)	5.47(1.01)*
Ενέργεια απογείωσης (J/kg)	30.88(1.14)	29.81(0.74)
Γωνία απογείωσης ($^{\circ}$)	48.83(1.99)	48.67(2.94)
Ύψος ΚΜ(m)	2.35(0.04)	2.31(0.09)
* Στατιστικά σημαντική ($p < 0.05$) διαφορά μεταξύ των ομάδων		

Ο δείκτης μεταφοράς και η ελάττωση της ενέργειας κατά την ώθηση συσχετίζονται επίσης σημαντικά (σχήμα 4). Η σχέση αυτή μπορεί να υπολογιστεί με μία συνάρτηση εκθετικής μορφής με έναν υψηλό δείκτη προσαρμογής $R = 0.98$. Έτσι είναι δυνατόν από την εξίσωση (6) το ύψος του άλματος να υπολογιστεί ως συνάρτηση της αρχικής ενέργειας και της ελάττωσης της ενέργειας κατά τη φάση της ώθησης. Το σχήμα 5 περιλαμβάνει τα άλματα από τους καλύτερους αθλητές (Sotomayor, Partyka) και το ύψος (H) σε συνάρτηση της ελάττωσης της ενέργειας κατά τη φάση της ώθησης. Οι δύο αθλητές συμπεριφέρονται κατά τη φάση αυτή τελείως διαφορετικά. Η αρχική ενέργειά τους είναι επίσης διαφορετική (Partyka: 36.50 και 36.80 J/kg, Sotomayor: 41.10 και 42.40 J/kg). Ο Partyka δείχνει και στα δύο άλματα (2.35 και 2.29 μέτρα) μία σχεδόν άριστη συμπεριφορά στη φάση της ώθησης. Καταφέρνει να εκμεταλλευτεί το αρχικό του δυναμικό (αρχική ενέργεια) τη μία φορά κατά 100% και την άλλη 95% κατορθώνοντας μέγιστη ανύψωση του Κ.Μ. του 2.38 και 2.29 μέτρα. Ο Sotomayor έχει μία πολύ μεγαλύτερη αρχική ενέργεια, αλλά η συμπεριφορά του στη φάση της ώθησης δεν είναι η άριστη. Ο αθλητής αυτός εκμεταλλεύεται τη μία φορά το 90% και

τη δεύτερη φορά το 85% της αρχικής του ενέργειας και φθάνει σε μέγιστη ανύψωση του Κ.Μ. του 2.50 (ύψος μπάρας 2.37 μέτρα) και 2.39 μέτρα (ύψος μπάρας 2.35 μέτρα). Η ελάττωση της συνολικής ενέργειάς του κατά τη φάση της ώθησης είναι πολύ μεγάλη. Εξαιτίας της υψηλής αρχικής του ενέργειας θα μπορούσε ο Sotomayor θεωρητικά να φθάσει το Κ.Μ. του σε μέγιστη ανύψωση 2.70-2.75 μέτρα. Μπορεί δηλαδή ο συγκεκριμένος αθλητής με μία άριστη συμπεριφορά στη φάση της ώθησης να αυξήσει τις επιδόσεις του μέχρι και 10%.



Σχήμα 4. Σχέση του δείκτη μεταφοράς και της απώλειας ενέργειας κατά τη φάση της ώθησης στο άλμα σε ύψος.



Σχήμα 5. Μέγιστο ύψος του Κ.Μ. του σώματος σαν συνάρτηση της απώλειας ενέργειας κατά τη φάση της ώθησης.

Ανακεφαλαίωση

Στο άρθρο αυτό συζητήθηκε η δυνατότητα της αύξησης των ορίων της επίδοσης τόσο μέσω μιας βελτίωσης των αθλητικών οργάνων όσο και μιας καλυτέρευσης της ατομικής τεχνικής των αθλητών. Δείχθηκε ότι και στην περίπτωση της βελτίωσης των μηχανικών ιδιοτήτων των αθλητικών οργάνων αλλά και της βελτίωσης της ατομικής τεχνικής τα απόλυτα όρια της επίδοσης δεν έχουν ακόμα επιτευχθεί στο μέγιστο βαθμό. Εάν επιτεύχθηκαν σε περιπτώσεις εξαιρετικά σπάνιες, όπου παρατηρήθηκαν σπουδαίες επιδόσεις όπως π.χ. στο άλμα του αιώνα από τον Bob Beamon, δεν είναι δυνατόν να εξεταστεί σήμερα. Μια βελτίωση της ρύθμισης της σκληρότητας των εκτεινόντων μυών στα κάτω άκρα μπορεί να επηρεάσει τη δυνατότητα αποθήκευσης στα βιολογικά στοιχεία και, επομένως, την εκμετάλλευση της αρχικής ενέργειας των αθλητών, ώστε να υπάρξει μία μεγαλύτερη αύξηση της επίδοσης. Είναι αυτονόητο ότι τέτοιου είδους μετατοπίσεις των ορίων στις επιδόσεις δεν θα έχουν ευθύγραμμη πορεία. Τα όρια των επιδόσεων θα παρουσιάζουν πάντα και μία στασιμότητα. Εντούτοις, μπορεί να υποστηριχθεί ότι σε αρκετά αγωνίσματα μια μετατόπιση των ορίων επίδοσης είναι ρεαλιστική και ότι από βιομηχανικής-βιοκινητικής πλευράς, ακόμη και σε αγωνίσματα όπου τα τελευταία χρόνια παρατηρήθηκαν πολύ μικρές βελτιώσεις, όπως π.χ. στους δρόμους ταχύτητας, μία αύξηση των επιδόσεων σε ποσοστό 1 μέχρι 2%

είναι πιθανή. Στα άλματα, όπως άλμα σε μήκος και άλμα σε ύψος, είναι εφικτή μία βελτίωση κατά 5-10%.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Arampatzis, D. and G.-P. Brüggemann. Mathematical model of the high bar in gymnastics - optimization of the giant swing prior to release. In: *XVth Congress of International Society of Biomechanics*. Hakkinen, H., K.L. Keskinen, P.V. Komi and A. Mero (Eds.) Book of Abstracts, July 2-6, Jyväskylä, Finland, pp. 62-63, 1995.
- Arampatzis, A. and G.-P. Brüggemann. The influence of energy transfer between the human body and the horizontal bar or upper asymmetric bar upon the gymnastic performance. In: *XVIth Congress of the International Society of Biomechanics*, Book of Abstracts, August 25-29, Tokyo, Japan, pp. 275, 1997.
- Brüggemann, G.-P. and A. Arampatzis. Men's High Jump. Biomechanical Research Project at the VIth World Championships in Athletics, Athens 1997: Preliminary Report. Muller, H. and H. Hommel (eds.) *New Studies in Athletics*, 13:66-69, 1997.
- Dapena, J. Mechanics of rotation in the Fosbury-flop. *Med. Sci. Sport Exerc.* 1:45-53, 1980b.
- Dapena, J. and C.S. Chung. Vertical and radial motion of the body during the take-off phase of high jumping. *Med. Sci. Sport Exerc.* 3:290-302, 1988.
- Dapena, J. Mechanics of translation in the Fosbury-flop. *Med. Sci. Sport Exerc.* 1:37-44, 1980a.
- Dapena, J. McDonald, C. and J. Cappaert. A Regression Analysis of High Jumping Technique. *Int. J. Sport Biomechanics* 6:246-261, 1990.
- Dapena, J. Contributions of Angular Momentum and Catting to the Twist Rotation in High Jumping. *J. Appl. Biomechanics* 13:239-253, 1997.
- Cuin, D.E. Design and construction of a tuned track. In: *Sport shoes and playing surfaces - Biomechanical properties*. Frederick, E.C. (ed.) Human Kinetic Publishers, Champaign, YLL, pp. 163-165, 1984.
- Hay, J.G. and J.A. Miller. Techniques Used in the Transition From Approach to Takeoff in the Long Jump. *Int. J. Sport Biomechanics* 1:174-184, 1985.
- Hay, J.G., J.A. Miller, and R.W. Canterna. The Techniques of Elite Male Long Jumpers. *J. Biomechanics* 19:855-866, 1986.
- Hay, J.G. and H. Nohara. Techniques used by Elite Long Jumpers in Preparation for Takeoff. *J. Biomechanics* 23:229-239, 1990.
- Koh, T.J. and J.G. Hay. Landing Leg Motion and Performance in the Horizontal Jumps I: The Long Jump. *International J. Sport Bio-mechanics* 6:343-360, 1990.
- Lees, A., N. Fowler, and D. Derby. A biomechanical analysis of the last stride, touch-down and take-off characteristics of the women's long jump. *J. Sports Sci.* 11:303-314, 1993.
- Lees, A., P. Graham-Smith, and N. Fowler. A Biomechanical Analysis of the Last Stride, Touchdown, and Takeoff Characteristics of the Men's Long Jump. *J. Appl. Biomechanics* 10:61-78, 1994.
- McMahon, T.A. and P.R. Greene. The influence of track compliance on running. In: *Sport shoes and playing surfaces - Biomechanical properties*. Frederick, E.C. (ed.) Human Kinetic Publishers, Champaign, YLL, pp. 138-162, 1984.
- Müller, H. and G.-P. Brüggemann. Long Jump. Biomechanical Research Project at the VIth World Championships in Athletics, Athens 1997: Preliminary Report. Muller, H. and H. Hommel (eds.) *New Studies in Athletics*, 13:56-59, 1997.
- Nigg, B.M. *The sport shoe - injury protection-performance enhancement*. Proceeding of the 4th IOC world Congress on Sport Science. IOC (eds.) Monaco, pp. 29, 1997.
- Nixdorf, E. and G.-P. Brüggemann. Take-off Preparation Techniques of Elite Male and Female Long Jumpers. Brüggemann, G.-P., Ruhl, J.H. (eds.) *Techniques in Athletics - The First International Conference*. Koln 1990.
- Shorten, M.R. The energetics of running and running shoes. *J. Biomechanics* 26:41-51, 1993.
- Witters, J., Bohets, W. and H. Van Coppenolle. A model of the elastic take-off energy in the long jump. *J. Sports Sci.* 10:533-540, 1992.