



## Εμβιομηχανική Ανάλυση του Άλματος σε Μήκος

Ιωάννης Κουτσιώρας, Παναγιώτης Τσιμέας, & Αθανάσιος Τσιόκανος  
ΤΕΦΑΑ, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

### Περίληψη

Σκοπός της παρούσας ανασκόπησης ήταν η μελέτη των δεδομένων της βιβλιογραφίας σχετικά με τα κινηματικά και δυναμικά χαρακτηριστικά του άλματος σε μήκος. Η φάση της απογείωσης αποτελεί τη σημαντικότερη φάση του άλματος σε μήκος. Τα εμβιομηχανικά χαρακτηριστικά της ταχύτητα απογείωσης, γωνία απογείωσης, στροφορμή και απόσταση απογείωσης έχουν τη μεγαλύτερη συνεισφορά στην τελική επίδοση. Κατά τους τελευταίους τρεις διασκελισμούς οι άλτες ρυθμίζουν τη φορά τους λαμβάνοντας υπόψη οπτικά ερεθίσματα και πληροφορίες τόσο για τη θέση της βαλβίδας όσο και τη θέση του ίδιου του αθλητή. Η τοποθέτηση του ποδιού στήριξης στη βαλβίδα μπορεί να γίνει είτε ενεργητικά είτε με μπλοκάρισμα. Στην πρώτη περίπτωση οι απώλειες οριζόντιας ταχύτητας ελαχιστοποιούνται, ενώ στη δεύτερη ενισχύεται η ανάπτυξη κατακόρυφης ταχύτητας. Υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ της ταχύτητας και της γωνίας απογείωσης με την τελευταία να κυμαίνεται από 15° έως 27°. Κατά τη φάση της απογείωσης αναπτύσσεται στροφορμή στο σώμα του άλτη, η επίδραση της οποίας περιορίζεται κατά τη φάση της πτήσης με την εκτέλεση εξισορροπητικών κινήσεων. Η μη μείωση της στροφορμής θα έχει ως αποτέλεσμα την πρόωρη πτώση των ποδιών στην άμμο και τη μείωση της επίδοσης. Οι περισσότερες μελέτες εμβιομηχανικής του άλματος σε μήκος αναφέρονται στα κινηματικά χαρακτηριστικά της φάσης τηςφοράς και της φάσης της απογείωσης ανδρών και γυναικών υψηλού επιπέδου, ενώ ελάχιστες μελέτες εξετάζουν τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά νεαρών αθλητών. Επιπλέον, δεν έχει διερευνηθεί ο ρόλος των δυναμικών ικανοτήτων των νεαρών αθλητών. Οι μελλοντικές ερευνητικές προσπάθειες θα πρέπει να στραφούν τόσο στα κινηματικά όσο και στα δυναμικά χαρακτηριστικά νεαρών αθλητών.

Λέξεις κλειδιά: *άλμα σε μήκος, κινηματική, δυναμική, βλητική, τεχνική.*

## Biomechanical Analysis of Long Jump

Ioannis Koutsioras, Panagiotis Tsimeas, & Athanasios Tsiokanos  
Department of Physical Education and Sports Sciences, University of Thessaly, Trikala, Hellas

### Abstract

The purpose of this review was to concentrate and synthesize the existent knowledge relating to kinematic and dynamic characteristics of the long jump. The take off phase is the most important of the long jump. The projection velocity, the projection angle, the angular momentum and take off distance, are the main biomechanical characteristics of long jumping. The jumpers regulate their running approach using visual regulation during the last three strides. The placement of the supporting leg on the take-off board could be energetic or in blocking manner. The first way of placement minimizes the horizontal velocity loss, while the second way boost the development of the vertical velocity. There is an interaction between projection velocity and projection angle while the last one ranging from 15° to 27°. During the take-off phase angular momentum is developed. During the flight phase, various balancing movements are being executed limiting the effect of the angular momentum. No reduction of the quantity of angular momentum results in an early falling of legs on the sand and reduces the long jump distance. Most of the biomechanical studies for long jump are related to kinematic characteristics of the approach and take-off phase of elite male and female athletes, while few studies examine the corresponding characteristics of young athletes. In addition, the role of dynamic abilities of young athletes has not been researched. Future research should be focused both on kinematic and dynamic characteristics of young athletes.

Key words: *long jump, kinematics, kinetics, projectiles, technique*

## Εισαγωγή

Το 1997, ο William Harris έθεσε το ερώτημα πώς η κινητική ενέργεια που έχει αποκτηθεί κατά τη φάση τηςφοράς μετατρέπεται σε άλμα σε μήκος ή σε ύψος. Συγκεκριμένα, τέθηκε το ζήτημα εάν οι αθλητές θα μπορούσαν να εκτελέσουν άλμα υπό τη θεωρητικά ιδανική γωνία απογείωσης των 45°, διατηρώντας το επίπεδο της αποκτηθείσας οριζόντιας ταχύτητας. Σε μια τέτοια περίπτωση ένας αθλητής υψηλού επιπέδου, έχοντας αποκτήσει οριζόντια ταχύτητα 10 m/s, θα έπρεπε να έχει επίδοση στα 10.2 m στο άλμα σε μήκος και 3.5 m στο άλμα σε ύψος. Στην παραπάνω ερώτηση δόθηκαν τρεις αρνητικές απαντήσεις (Barrow, 2001; Hanzely, 2001; Rex, 2001), δηλαδή ότι δεν είναι δυνατό να μετατραπεί η οριζόντια ταχύτητα σε κατακόρυφη χωρίς ενεργειακές απώλειες. Ο Barrow (2001), εξήγησε την αδυναμία αυτή αναφέροντας ότι είναι αδύνατο να αναπτυχθεί η απαιτούμενη ισχύς για την καθεμιά από αυτές τις δύο κινητικές δεξιότητες. Παράλληλα ο Rex (2001), δίνοντας την δική του εξήγηση, αναφέρει ότι οι αθλητές αδυνατούν να αξιοποιήσουν την οριζόντια ταχύτητα πλήρως, μη μπορώντας να διατηρήσουν τα επίπεδα της οριζόντιας επιτάχυνσης στην προσπάθειά τους να αποκτήσουν την απαραίτητη κατακόρυφη ταχύτητα. Με δεδομένη την ύπαρξη περιοριστικών παραγόντων για την επίτευξη καλύτερων επιδόσεων, όπως είναι η αδυναμία ανάπτυξης υψηλής δρομικής ταχύτητας (Hay, 1993) και υψηλότερων τιμών δύναμης (Alexander, 1990), προκύπτει η ανάγκη για διερεύνηση τόσο των κινηματικών όσο και των δυναμικών χαρακτηριστικών του άλματος σε μήκος, με σκοπό την βέλτιστη εκμετάλλευση των σωματικών ικανοτήτων του αθλητή.

Η ανάγκη διερεύνησης τόσο των κινηματικών όσο και των δυναμικών χαρακτηριστικών του άλματος σε μήκος οδήγησε πολλούς ερευνητές του χώρου της εμβιομηχανικής τα τελευταία χρόνια στη μελέτη των παραπάνω χαρακτηριστικών, χρησιμοποιώντας διαφορετικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις. Κάποιοι χρησιμοποίησαν απλά μαθηματικά μοντέλα (Alexander, 1990; Seyfarth, Friedrichs, Wank, & Blickhan, 1999) και άλλοι περισσότερο σύνθετα (Hatze, 1981; Pandey, Zajac, Sim, & Levine, 1990).

Ο σκοπός της παρούσας ανασκόπησης ήταν να συγκεντρώσει και να συνθέσει την υπάρχουσα γνώση σχετικά με τα κινηματικά και δυναμικά χαρακτηριστικά του άλματος σε μήκος.

## Σχετικές θεωρίες

Στη διεθνή βιβλιογραφία έχουν προταθεί δυο μοντέλα τα οποία προσδιορίζουν τη σχέση των μεταβλητών που επηρεάζουν την επίδοση στο άλ-

μα σε μήκος. Το πρώτο παρουσιάστηκε από τους Hay, Miller, και Canterna (1986), αναφέρεται ως «μοντέλο της απόδοσης» (Hay & Reid, 1988) και συσχετίζει διάφορες μηχανικές παραμέτρους με την τελική επίδοση του άλματος. Το δεύτερο μοντέλο παρουσιάστηκε από τον Alexander (1990) και εξετάζει τη φάση της απογείωσης (από τη στιγμή του τελευταίου πατήματος έως και τη στιγμή της απόσπασής από το έδαφος). Και τα δύο μοντέλα συμφωνούν ότι η φάση της απογείωσης αποτελεί την σημαντικότερη φάση του άλματος σε μήκος, δεδομένου ότι κατά τη φάση αυτή παράγεται η κατακόρυφη ταχύτητα.

Υπάρχει επίσης μια κλασική μελέτη (Hay, 1986) που παρουσιάζει μια ανασκόπηση των απόψεων προπονητών και ερευνητών σχετικά με την τεχνική του άλματος σε μήκος, χωρίζοντάς το σε τέσσερις φάσεις: α) τη φάση τηςφοράς, β) τη φάση της απογείωσης, γ) τη φάση της πτήσης και δ) τη φάση της προσγείωσης.

## Ανασκόπηση σχετικών ερευνών

### Φορά

Η φάση τηςφοράς διαρκεί από τη στιγμή της εκκίνησης του αθλητή μέχρι την στιγμή που ο αθλητής θα τοποθετήσει το πόδι ώθησης στη βαλβίδα ή μέχρι το σημείο της τελευταίας επαφής με το έδαφος πριν την εκτέλεση του άλματος. Στόχος αυτής της φάσης είναι να εξασφαλιστεί η εκτέλεση του τελευταίου πατήματος με ακρίβεια πάνω στη βαλβίδα, με παράλληλη ελαχιστοποίηση των απωλειών ταχύτητας και η απόκτηση κατάλληλης θέσης του σώματος του αθλητή για απογείωση (Hay, 1988). Κατά τη διάρκεια τηςφοράς ο αθλητής θα πρέπει να πετύχει τρεις δύσκολους στόχους: α) απόκτηση μέγιστης ταχύτητας μέχρι τη στιγμή της απογείωσης, β) προσαρμογή της θέσης του σώματος κατά τη διάρκεια των τελευταίων διασκελισμών προκειμένου να αποκτηθεί η κατάλληλη θέση για απογείωση και γ) με ακρίβεια τοποθέτηση του ποδιού προτίμησης στη βαλβίδα με όσο το δυνατό μικρότερη απώλεια της αποκτηθείσας ταχύτητας (Hay, 1988; Hay, 1993).

Το γεγονός ότι σε έναν αγώνα άλματος σε μήκος, οι αθλητές θα πρέπει να εκτελέσουν έξι άλματα σε συνθήκες ανταγωνισμού, δημιουργεί την ανάγκη για αξιόπιστηφορά (επαναληψιμότητα τηςφοράς). Η προπόνηση της φάσης τηςφοράς, έχει ως στόχο την ανάπτυξη κινηματικών στερεότυπων (Scott, Li, & Davids, 1997). Ωστόσο οι Lee et al. (1982) μελετώντας την οπτική πληροφόρηση και τις επιδράσεις της στον έλεγχο της κίνησης έδειξαν ότι η φάση τηςφοράς τριών διεθνών αλτών του άλματος σε μήκος ήταν περισσότερο μεταβαλλόμενη μεταξύ των προσπαθειών, αναφορικά με την τοποθέτηση του ποδιού (footfall), απ' ό,τι πιστευό-

ταν μέχρι τότε. Συγκεκριμένα, το τυπικό σφάλμα ως προς το σημείο τοποθέτησης του ποδιού αυξανόταν συνεχώς μέχρι και πέντε διασκελισμούς πριν το τελευταίο πάτημα στη βαλβίδα, ενώ κατά τους τελευταίους πέντε διασκελισμούς η μεταβλητότητα μειωνόταν. Ο Hay (1988), ερευνώντας μια στρατηγική οπτικού ελέγχου της φοράς αθλητών υψηλού επιπέδου, βρήκε ότι η μεταβλητότητα πήρε τη μέγιστη τιμή της από τον 1<sup>ο</sup> πριν το τέλος διασκελισμό μέχρι και τον 8<sup>ο</sup> πριν το τέλος διασκελισμό, ενώ οι περισσότεροι αθλητές παρουσίασαν τη μέγιστη μεταβλητότητα στον 5<sup>ο</sup> πριν το τέλος διασκελισμό. Αντίστοιχη μελέτη πραγματοποιήθηκε σε νεαρούς αθλητές (Omura, Liboshi, Koyama, Muraki, & Ae, 2005) και η μέγιστη μεταβλητότητα παρουσιάστηκε από τον 3<sup>ο</sup> από το τέλος διασκελισμό έως τον 12<sup>ο</sup> από το τέλος, ενώ οι περισσότεροι αθλητές παρουσίασαν τη μέγιστη μεταβλητότητα στον 3<sup>ο</sup> διασκελισμό. Οι συγγραφείς της τελευταίας μελέτης έδωσαν ως πιθανή εξήγηση της ύπαρξης των διαφορών μεταξύ των νεαρών αθλητών (Omura et al., 2005) και των αθλητών υψηλού επιπέδου (Hay, 1988) τις διαφορετικές σωματικές ικανότητες, την ταχύτητα προσέγγισης και το επίπεδο απόδοσης. Στις παραπάνω μελέτες, παρά τις διαφορές που παρουσιάζουν, παρατηρείται ένα κοινό χαρακτηριστικό κατά τη διάρκεια ανάπτυξης της φοράς. Το χαρακτηριστικό αυτό είναι η μείωση της μεταβλητότητας κατά τους τελευταίους διασκελισμούς. Η μείωση αυτή υποδηλώνει ότι οι άλτες ρυθμίζουν την φορά τους λαμβάνοντας υπόψη οπτικά ερεθίσματα και πληροφορίες σχετικά με τη θέση της βαλβίδας και τη θέση του ίδιου του αθλητή (Hay, 1988). Οι Glize και Laurent (1997), μελετώντας τη μεταφορική κίνηση κατά τη φάση επιτάχυνσης στο δρόμο ταχύτητας και στο άλμα σε μήκος, κατέληξαν ότι προκειμένου οι αθλητές του άλματος σε μήκος να προσεγγίσουν με ακρίβεια τη βαλβίδα πραγματοποιούν διορθωτικές κινήσεις τόσο κατά τους πρώτους διασκελισμούς όσο και κατά τους τελευταίους 3-4 διασκελισμούς. Στην ίδια μελέτη, από τη σύγκριση των κινηματικών προτύπων έμπειρων και άπειρων νεαρών αθλητών του άλματος σε μήκος προέκυψε ότι, αν και τα κινηματικά πρότυπα ήταν παρόμοια, το αθροιστικό σφάλμα ήταν μικρότερο για τους έμπειρους αθλητές, οι οποίοι πραγματοποιούσαν νωρίτερα τις απαιτούμενες διορθωτικές κινήσεις απ' ό,τι οι άπειροι αθλητές.

*Τρόποι εκκίνησης:* Χρησιμοποιούνται δύο τρόποι εκκίνησης που διευκολύνουν την ανάπτυξη της ταχύτητας:

1. Σταθερή εκκίνηση, στην οποία ο άλτης τοποθετεί το ένα του πόδι εμπρός στο σημείο εκκίνησης και το άλλο πίσω ή και με τα δύο πόδια παράλληλα στο σημείο εκκίνησης.

2. Ελεύθερη εκκίνηση, στην οποία ο άλτης αποκτά αρχική ταχύτητα με περπάτημα ή τρέξιμο (flight start) πριν από το σημείο εκκίνησης.

*Μήκος φοράς:* Το μήκος της φοράς εξαρτάται από την ηλικία, το φύλο και τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά. Πολλοί ερευνητές αναφέρουν ότι το μήκος της φοράς στους άλτες υψηλού επιπέδου κυμαίνεται από 38 έως 50 m και διανύεται με 18-24 διασκελισμούς για τους άνδρες και 16 έως 22 για τις γυναίκες (Φαφούτης & Ευθυμίου, 1994).

*Ταχύτητα φοράς:* Θεωρείται ο πιο σημαντικός παράγοντας για την τελική επίδοση (Nigg, 1974). Πολλοί ερευνητές έχουν συσχετίσει την ταχύτητα της φοράς με την επίσημη ή την πραγματική απόσταση του άλματος (Luhtanen & Komi, 1979; Siluyanon & Maximov, 1978). Τα αποτελέσματα των συσχετίσεων αυτών, που αναφέρονται κυρίως στους πρωταθλητές, είναι αντικρουόμενα. Μερικές έρευνες (Hay et al., 1986; Hay & Nohara, 1990; Nixdorf & Bruggemann, 1990) αναφέρουν σημαντικές θετικές συσχετίσεις, άλλες (Bruggemann & Susanka, 1987) αναφέρουν ασθενείς θετικές συσχετίσεις, και άλλες (Koh & Hay, 1990; Lees, Fowler, & Derby, 1993; Nixdorf & Bruggemann, 1990) αναφέρουν μη σημαντικές συσχετίσεις. Όμως όλα τα αποτελέσματα δεν είναι συγκρίσιμα, λόγω των διαφορετικών τρόπων μέτρησης της οριζόντιας ταχύτητας (οριζόντια ταχύτητα μετρούμενη στην προσγείωση του ποδιού, «μέγιστη ταχύτητα», ή μέση ταχύτητα στους τελευταίους διασκελισμούς ή στα τελευταία μέτρα). Επίσης, άλλοι ερευνητές έχουν δομήσει εξισώσεις παλινδρόμησης μεταξύ της ταχύτητας φοράς και της πραγματικής απόστασης του άλματος (Siluyanon & Maximov, 1978; Tiura, Aleshinskii, & Pereverzev, 1982). Η μέγιστη ταχύτητα των αλτών υψηλού επιπέδου στη φάση της φοράς επιτυγχάνεται στο τέλος της (τελευταία 5 m), ωστόσο σε πολλούς άλτες υπάρχει μείωση της ταχύτητας στα τελευταία μέτρα.

Η επίτευξη της μέγιστης ταχύτητας μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους :

1. Με σταθερή επιτάχυνση καθ' όλη τη διάρκεια της φοράς. Ο άλτης ξεκινά με μεγάλους διασκελισμούς και αυξάνει προοδευτικά την ταχύτητά του μέχρι τη βαλβίδα.
2. Με γρήγορη επίτευξη της μέγιστης ταχύτητας και διατήρησή της μέχρι τη βαλβίδα. Ο άλτης ξεκινά ως αθλητής δρόμου ταχύτητας επιτυγχάνοντας τη μέγιστη ταχύτητά του πριν τους τέσσερις έως έξι τελευταίους διασκελισμούς και τη διατηρεί μέχρι τη βαλβίδα.
3. Με γρήγορο ενεργητικό ξεκίνημα με ομαλή αύξηση της ταχύτητας στο μέσο της φοράς και ενεργητική αύξηση της ταχύτητας στους τελευταίους διασκελισμούς.

*Σημεία ελέγχου:* Τα σημεία ελέγχου είναι σημεία τοποθετημένα πάνω στο διάδρομο της φοράς, στο ύψος του έκτου ή του τέταρτου διασκελισμού πριν το πάτημα στην βαλβίδα. Στο σημείο έλεγχου ο άλτης περνά πάντα με το πόδι ώθησης. Ιδιαίτερη σημασία για την ακρίβεια της φοράς έχει η σταθερότητα του μήκους διασκελισμού.

*Δομή των τριών τελευταίων διασκελισμών:* Ένας από τους παράγοντες που επηρεάζουν την επίδοση στο άλμα σε μήκος είναι η ικανότητα του αθλητή να μετατρέπει την οριζόντια ταχύτητα σε κατακόρυφη (Hay, 1988). Η προετοιμασία του σώματος για την αλλαγή της διεύθυνσης της ταχύτητας του άλτη πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια των τριών τελευταίων διασκελισμών. Κατά τη διάρκεια αυτών των διασκελισμών ο αθλητής α) προσαρμόζει τα μήκη τους για να διορθώσει προηγούμενα λάθη κατά την ανάπτυξη της φοράς (Hay, 1988; Lee et al., 1982), β) προσαρμόζει τη θέση του σώματός του προετοιμάζοντάς το για τη φάση της απογείωσης (Derse & Stolley, 1995) και γ) προσπαθεί να αυξήσει την οριζόντια ταχύτητα για να φτάσει στη βαλβίδα με όσο το δυνατό μεγαλύτερη και ελεγχόμενη ταχύτητα (Hay et al., 1986).

Στη διεθνή βιβλιογραφία έχει γίνει πολύ συζήτηση για τους τελευταίους 3-4 τελευταίους διασκελισμούς της φοράς (Dick, 1978; Doolittle, 1982; Hay & Miller, 1985; Hay et al., 1986; Hay & Nohara, 1990; Jarver & Boase, 1984; Koh & Hay, 1990; Schmolinsky, 1983), ενώ το μήκος των διασκελισμών καθ' όλη τη διάρκεια της φοράς μελετήθηκε από τους Berg και Greer (1995). Η πλειονότητα των συγγραφέων υποστηρίζει ότι στους περισσότερους άλτες παρατηρείται μια βράχυνση του τελευταίου διασκελισμού σε σχέση με τον προτελευταίο και επιμήκυνση του προτελευταίου σε σχέση με τον 3<sup>ο</sup> από το τέλος. Για παράδειγμα, τα μήκη του 4<sup>ου</sup>, 3<sup>ου</sup> και 2<sup>ου</sup> πριν το τέλος, καθώς και του τελευταίου διασκελισμού των 12 συμμετεχουσών γυναικών στον τελικό της Ολυμπιάδας του 1984 ήταν 2.15 m, 2.19 m, 2.24 m και 2.09 m αντίστοιχα (Hay & Miller, 1985). Ωστόσο, υπάρχουν και άλλες με εξαιρετικές επιδόσεις, που παρουσιάζουν μακρύτερο τον τελευταίο διασκελισμό σε σχέση με τον προτελευταίο (Nigg, 1974).

Ο ρόλος της παραπάνω παρατηρούμενης τάσης (σχετικά με τα μήκη των τελευταίων διασκελισμών) στην επίδοση στο άλμα σε μήκος μπορεί να ελεγχθεί μόνο με την ταυτόχρονη εξέταση της τροχιάς του κέντρου βάρους του σώματος (ΚΒΣ) και της προς τα μπροστά και πίσω κλίσης του σώματος στη διάρκεια των τελευταίων διασκελισμών. Στους τελευταίους διασκελισμούς της φοράς παρατηρούνται μεταβολές στο ύψος του ΚΒΣ των αθλητών. Αυτές οι μεταβολές γίνονται για να επιτυγχάνεται υψηλή κατακόρυφη ταχύτητα στη φάση της απογείωσης, με τη διατήρηση της κατακόρυφης ταχύτητας στην προσγείωση σε όσο το δυνατό χαμηλό-

τερα επίπεδα και με την επιμήκυνση του κατακόρυφου διαστήματος επιτάχυνσης του ΚΒΣ στη διάρκεια της φάσης απογείωσης. Η μεταβολή στο ύψος του ΚΒΣ επιτυγχάνεται με το χαμήλωμα του ΚΒΣ στους δύο τελευταίους διασκελισμούς της φοράς. Η χαμηλή θέση του ΚΒΣ κατά τους τελευταίους διασκελισμούς εξασφαλίζει χαμηλή προς το έδαφος κατακόρυφη ταχύτητα (αρνητική) τη στιγμή του πατήματος, έτσι ώστε να μην απαιτείται μεγάλη προσπάθεια για την αντιστροφή της κατακόρυφης ταχύτητας προς τα πάνω (θετική), προκειμένου να πραγματοποιηθεί η απογείωση. Επιπλέον, αυτό δίνει τη δυνατότητα στο πόδι στήριξης να τοποθετηθεί μπροστά από το σώμα του αθλητή επιτρέποντας στη συνέχεια το ΚΒΣ να περάσει πάνω από το πόδι για ανάπτυξη της απαραίτητης κατακόρυφης ταχύτητας (Nolan & Lees, 2000). Οι Hay & Nohara (1990) εξετάζοντας την απόδοση 20 ελίτ αθλητών και 26 αθλητριών του άλματος σε μήκος, από αρχεία σε φιλμ πέντε αγώνων που πραγματοποιήθηκαν από το 1983 μέχρι το 1985, βρήκαν ότι το ΚΒΣ των εξετασθέντων αθλητών χαμήλωνε κατά τη διάρκεια της πτήσης του 2<sup>ου</sup> από το τέλος διασκελισμού. Στη συνέχεια, το ΚΒΣ παρέμενε χαμηλά τόσο στη φάση στήριξης του τελευταίου διασκελισμού όσο και στο πρώτο μέρος της φάσης της απογείωσης, προετοιμάζοντας τον αθλητή για την επόμενη φάση του πατήματος. Τα δεδομένα των Nixdorf και Bruggemann (1983) αναφέρουν ένα χαμήλωμα της τάξης του 10% «του ύψους της φοράς» μεταξύ της απογείωσης στον προτελευταίο διασκελισμό και της επόμενης προσγείωσης του ποδιού.

Οι τροποποιήσεις και ρυθμίσεις των κινηματικών χαρακτηριστικών στους τελευταίους διασκελισμούς της φοράς γίνονται για τη δημιουργία ευνοϊκών προϋποθέσεων για ανάπτυξη κατακόρυφης ταχύτητας στη φάση απογείωσης (Lees, Graham-Smith, & Fowler, 1994). Στις ρυθμίσεις αυτές αναφέρονται πολλές μελέτες (Bruggemann & Susanka, 1987; Hay & Nohara, 1990; Lees et al., 1993; Nixdorf & Bruggemann, 1990). Παρατηρούνται και άλλες μεταβολές στις κινηματικές παραμέτρους, όπως για παράδειγμα μια γενική τάση αύξησης του χρόνου πτήσης στον προτελευταίο διασκελισμό, που συνδέεται άμεσα με τις μεταβολές του μήκους των διασκελισμών στο σημείο αυτό της τροχιάς.

#### *Απογείωση*

Η φάση απογείωσης οριοθετείται χρονικά από τη στιγμή που το προτιμώμενο πόδι έρχεται σε επαφή με τη βαλβίδα ή με το έδαφος πριν την εκτέλεση του άλματος έως τη στιγμή που χάνεται αυτή η επαφή. Η φάση της απογείωσης θεωρείται ως η πιο κρίσιμη φάση του άλματος, διότι οι ενέργειες του άλτη κατά τη φάση αυτή επηρεάζουν τόσο τη φάση της πτήσης όσο και τη φάση της προσγείωσης που ακολουθούν (Larkins, 1989). Κύριος στόχος

αυτής της φάσης είναι η όσο το δυνατό μεγαλύτερη αύξηση της κατακόρυφης ταχύτητας με παράλληλη διατήρηση της οριζόντιας ταχύτητας την στιγμή της απογείωσης. Η ανάγκη για επίτευξη υψηλών τιμών κατακόρυφης ταχύτητας τη στιγμή της απογείωσης προκύπτει από το γεγονός ότι η κατακόρυφη ταχύτητα τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή παρουσιάζει θετική συσχέτιση με την τελική επίδοση (Luhtanen & Komi, 1979). Σύμφωνα με τους Hay και Reid (1988) η συνολική επίδοση μπορεί να διαιρεθεί στην απόσταση απογείωσης (οριζόντια απόσταση του ΚΒΣ από τη βαλβίδα), στην απόσταση πτήσης (οριζόντια μετατόπιση του ΚΒΣ κατά την πτήση) και στην απόσταση προσγείωσης (οριζόντια απόσταση του σημείου προσγείωσης από το σημείο της τελικής επαφής του σώματος του άλτη με την άμμο). Κάθε μια από αυτές τις αποστάσεις αλλά και η τελική επίδοση επηρεάζονται σημαντικά από τις μεταβλητές απογείωσης (Larkins, 1989). Η απόσταση απογείωσης καθορίζεται από τα σωματομετρικά χαρακτηριστικά του αθλητή και τη θέση του σώματος του τη στιγμή της απογείωσης. Αν και κατά την φάση της απογείωσης δεν είναι δυνατόν να μεταβληθούν τα σωματομετρικά χαρακτηριστικά του άλτη, η απόσταση απογείωσης μπορεί να επηρεαστεί από τη θέση του κεφαλιού, του λαιμού και του κορμού του (Hay & Reid, 1988).

Οι Chow και Hay (2005), χρησιμοποιώντας δεδομένα από τη διεθνή βιβλιογραφία και εφαρμόζοντας μια τεχνική προσομοίωσης της φάσης απογείωσης σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, βρήκαν ότι η επίδοση στο άλμα σε μήκος επηρεαζόταν περισσότερο από τις μεταβολές της οριζόντιας ταχύτητας (10% αύξησή της απέδωσε 10% αύξηση στην επίδοση) παρά από τις μεταβολές της κατακόρυφης δύναμης αντίδρασης του εδάφους (VGRF) (10% αύξησή της απέδωσε 7.2% αύξηση στην επίδοση). Στην ίδια μελέτη βρέθηκε επιπλέον ότι η ταυτόχρονη θετική μεταβολή και των δυο παραμέτρων κατά 10% απέδωσε 20.4% αύξηση στην επίδοση, υποδηλώνοντας ότι αυτές οι δυο παράμετροι δεν είναι ανεξάρτητες αλλά υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ τους.

Σε μια προσπάθεια για τη σύνδεση όλων των μεταβολών των κινηματικών χαρακτηριστικών που προηγήθηκαν της φάσης στήριξης για απογείωση και για την ερμηνεία της σχέσης τους με την παραγωγή κατακόρυφης ταχύτητας, οι Lees et al., (1993) διακρίνουν τέσσερις μηχανισμούς. Οι μηχανισμοί αυτοί συμμετέχουν στην παραγωγή κατακόρυφης ταχύτητας κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης για απογείωση, που απαρτίζεται από δύο μικρότερες φάσεις: φάση συμπίεσης, οριζόμενη από τη στιγμή της επαφής του ποδιού με το έδαφος στην τελευταία στήριξη ως τη στιγμή της μέγιστης κάμψης του γονάτου - ΜΚΓ, και από τη φάση ανύψωσης, που ορίζεται από τη στιγμή της ΜΚΓ

μέχρι τη στιγμή της απογείωσης. Σύμφωνα με αυτή τη μελέτη, στη φάση συμπίεσης το ΚΒΣ στρέφεται («πιβοτάρει») γύρω από το άκρο πόδι, παράγοντας κατακόρυφη ταχύτητα διαμέσου μιας καθαρά μηχανικής διαδικασίας. Στη διάρκεια της φάσης ανύψωσης παράγεται κατακόρυφη ταχύτητα από την προς τα πάνω ορμή των χεριών, του ποδιού αιώρησης και του κορμού, από την απελευθέρωση ελαστικής ενέργειας και από την έκλυση μυϊκής ενέργειας κατά τη διάρκεια της ομόκεντρης συστολής. Οι τρεις τελευταίοι μηχανισμοί δεν έχουν μελετηθεί επαρκώς, αλλά ο πρώτος, του «πιβοταρισματος», φέρεται ως υπεύθυνος για την παραγωγή του 60% της κατακόρυφης ταχύτητας κατά τη φάση απογείωσης. Αυτός ο μηχανισμός ενισχύεται από την ικανότητα του ποδιού στήριξης να αντιστέκεται στην κάμψη του γονάτου κατά την προσγείωση (Lees et al., 1993). Οι Hay, Thorson, και Kirpenhan (1999), μελετώντας τις μεταβολές του μήκους των μυών και των τενόντων των κάτω άκρων 11 αθλητριών υψηλού επιπέδου στο άλμα σε μήκος, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η ενισχυμένη χρήση του κύκλου διάτασης-βράχυνσης κατά την φάση της απογείωσης δεν συνεισφέρει σημαντικά στην επίτευξη υψηλότερων τιμών κατακόρυφης ταχύτητας. Ωστόσο στην ίδια μελέτη βρέθηκε ότι όσο περισσότερο διατεινόταν οι πρόσθιοι μηριαίοι τόσο μεγαλύτερο ήταν το όφελος στην κατακόρυφη ταχύτητα. Επίσης όσο περισσότερο και γρηγορότερα διατεινόταν οι μύες της κνήμης τόσο μεγαλύτερο ήταν το όφελος στην κατακόρυφη ταχύτητα.

Τέλος, από πολλές μελέτες προκύπτει ότι οπυδαίο ρόλο στην επίδοση του άλματος παίζει ο τρόπος τοποθέτησης (προσγείωσης) του άκρου ποδιού στο έδαφος στο τέλος του καθενός από τους τρεις τελευταίους διασκελισμούς της φοράς. Γενικά υπάρχουν δύο σχολές σχετικά με τον χρησιμοποιούμενο τρόπο προσγείωσης του άκρου ποδιού. Η πρώτη υποστηρίζει μια ενεργητική (με κίνηση προς τα πίσω) προσγείωση του άκρου ποδιού (Ozolin, 1965; Schmolinsky, 1983; Seyfarth et al., 1999; Wilt, 1974; Young & Marino, 1984). Η ενεργητική προσγείωση περιορίζει την προς τα μπροστά οριζόντια ταχύτητα του άκρου ποδιού στην επαφή με το έδαφος, και έτσι μειώνει την οριζόντια και αντίθετη προς την πορεία της κίνησης δύναμη ανάσχεσης (GRF), σε αντίθεση με μια μη ενεργητική προσγείωση. Έτσι, αφού ασκείται μικρότερη ανασχετική δύναμη στο ΚΒΣ, οι απώλειες σε οριζόντια ταχύτητα του ΚΒΣ ελαχιστοποιούνται κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης. Οι εκπρόσωποι αυτής της σχολής πιστεύουν ότι η ελαχιστοποίηση των απωλειών σε οριζόντια ταχύτητα στην αρχή καθεμιάς από τις τελευταίες τρεις στήριξεις είναι καθοριστικός παράγων επίδοσης στο άλμα.

Η δεύτερη σχολή υποστηρίζει ότι στο τέλος του

τελευταίου διασκελισμού της φοράς (στήριξη για απογείωση), το άκρο πόδι στην προσγείωσή του πρέπει να τοποθετείται στο έδαφος με μικρή κίνηση σε σχέση με το ΚΒΣ (Tiura et al., 1982). Έτσι το άκρο πόδι στην τελευταία στήριξη συναντά το έδαφος με μεγάλη οριζόντια ταχύτητα (Hay, 1986). Έτσι το άκρο πόδι στην τελευταία στήριξη συναντά το έδαφος με μεγάλη οριζόντια ταχύτητα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή μεγάλης οριζόντιας δύναμης ανάσχεσης (GRF), που οδηγεί σε μεγάλη μείωση της οριζόντιας ταχύτητας του ΚΒΣ στην αρχή της τελευταίας στήριξης. Οι υποστηρικτές αυτού του τρόπου προσγείωσης του άκρου ποδιού, πιστεύουν ότι έτσι ενισχύεται η ανάπτυξη κατακόρυφης ταχύτητας του ΚΒΣ στη διάρκεια της στήριξης για απογείωση, και ότι αυτό είναι σπουδαιότερος παράγοντας από την αναπόφευκτη μείωση της οριζόντιας ταχύτητας του ΚΒΣ.

Η τοποθέτηση του ποδιού στήριξης για την απογείωση, σύμφωνα με τους Lees et al., (1994) πρέπει να γίνεται αρκετά μπροστά από το σώμα για να μπορούν οι μύες του ποδιού να προδιαταθούν για αποθήκευση ελαστικής ενέργειας και για να αυξηθεί η μυϊκή δύναμη διαμέσου της έκκεντρης δράσης του ποδιού. Η συνεισφορά του μηχανισμού αποθήκευσης ελαστικής ενέργειας δεν έχει εξετασθεί λεπτομερώς, αλλά η σπουδαιότητά του στην επίδοση στο άλμα σε μήκος είναι αναμφίβολη (Witters, Bohets, & Coppennolle, 1992). Η τοποθέτηση του ποδιού στήριξης για την απογείωση γίνεται με το γόνατο ελαφρώς λυγισμένο, ενώ στη συνέχεια τεντώνει πλήρως. Η διαδικασία αυτή, συμπληρωματικά με τις κινήσεις των χεριών και του ποδιού αιώρησης, αυξάνει την απόσταση εφαρμογής των κατακόρυφων δυνάμεων και κατά συνέπεια του διαστήματος επιτάχυνσης του ΚΒΣ, ενώ παράλληλα αντισταθμίζει τις απώλειες σε ταχύτητα που αναπόφευκτα συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της τοποθέτησης του ποδιού. Μολονότι είναι αδύνατο να αποφευχθεί η αρνητική επίδραση της τοποθέτησης του ποδιού (απώλεια οριζόντιας ταχύτητας), πολλοί αθλητές αποκτούν πλεονέκτημα τοποθετώντας ενεργητικά το πόδι στη βαλβίδα, με αποτέλεσμα οι δυνάμεις αντίδρασης του εδάφους στην κατακόρυφη συνιστώσα να αυξάνονται (Seyfarth et al., 1999). Αν και η ανάπτυξη αυτών των δυνάμεων απορροφά πολύτιμη ενέργεια, αυξάνει την κατακόρυφη ορμή η οποία είναι απαραίτητη για την επίτευξη υψηλών επιδόσεων. Ο βαθμός αξιοποίησης της οριζόντιας ταχύτητας και η μετατροπή της σε κατακόρυφη με όσο το δυνατό μικρότερες απώλειες ενέργειας πιθανόν να εξαρτάται από τις σωματικές ικανότητες του αθλητή (Arampatzis, Walsh, & Brüggemann, 1998). Προκειμένου να μειωθούν οι αρνητικές επιδράσεις κατά την τοποθέτηση του ποδιού στήριξης οι Muraki, Ae, Yokozawa, και Koyama (2005) προτείνουν ελαφριά

κάμψη του κορμού εμπρός, λίγο πριν το τελευταίο πάτημα. Επιπλέον, είναι γνωστό, ότι κατά την τοποθέτηση του ποδιού στήριξης στη βαλβίδα απαιτείται σχετική ακαμψία του ποδιού στήριξης (Seyfarth, Blickhan, & Van Leeuwen, 2000; Seyfarth et al., 1999). Ωστόσο υπάρχει περιορισμός στο βαθμό ακαμψίας, ανάλογα με τις σωματικές ικανότητες του αθλητή, καθώς έχει βρεθεί ότι περαιτέρω αύξηση του βαθμού ακαμψίας δεν οδηγεί σε καλύτερες επιδόσεις (Seyfarth et al., 1999). Η ακαμψία του ποδιού στήριξης αποτελεί μέρος της συνολικής ακαμψίας του σώματος, που απαιτείται προκειμένου να επιτευχθούν οι μικρότερες δυνατές απώλειες μηχανικής ενέργειας τόσο ενδομυϊκά όσο και ενδοαρθρικά (Seyfarth, Bobbert, & Blickhan R., 2008).

*Γωνία απογείωσης:* Είναι γενικά αποδεκτό ότι η ταχύτητα απογείωσης αποτελεί παράγοντα θεμελιώδους σημασίας για καλή επίδοση στο άλμα σε μήκος και είναι επίσης γνωστό ότι το μεγάλο ύψος του ΚΒΣ, τη στιγμή της απογείωσης, συνεισφέρει στην τελική επίδοση (Hay, 1993). Ωστόσο, η βέλτιστη γωνία απογείωσης που συντελεί στη μέγιστη επίδοση δεν έχει διερευνηθεί πλήρως. Οι Tan και Zumerchic (2000) υπολόγισαν τη βέλτιστη γωνία απογείωσης, υποθέτοντας ότι ο άλτης χάνει ορισμένη ποσότητα κινητικής ενέργειας κατά τη διάρκεια της φάσης της απογείωσης, όμως δεν αιτιολόγησαν επαρκώς την υπόθεση αυτή (Linthorne, Guzman, & Bridgett, 2005). Παράλληλα, η προβλεπόμενη ιδανική γωνία απογείωσης για κορυφαίο αθλητή ήταν μεγαλύτερη από αυτές που παρατηρήθηκαν σε αθλητές παγκόσμιας κλάσης (15-27°) (Arampatzis, Brüggemann, & Walsch, 1999; Hay et al., 1986; Lees et al., 1993; Lees et al., 1994; Nixdorf & Brüggemann, 1988; Nixdorf & Brüggemann, 1990). Μια καλή εξήγηση για την ύπαρξη της διαφοράς αυτής είναι ότι οι Tan και Zumerchic δεν έλαβαν υπόψη ότι η ταχύτητα απογείωσης και η γωνία απελευθέρωσης πιθανόν να παρουσιάζουν αλληλεπίδραση. Οι Red και Zogaib (1977) μελέτησαν τα δυναμικά χαρακτηριστικά, βρήκαν ότι η ταχύτητα απελευθέρωσης και η γωνία απελευθέρωσης δεν είναι ανεξάρτητες ποσότητες και ότι η αλληλεπίδρασή τους θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό της ιδανικής γωνίας απελευθέρωσης. Παρόλα αυτά, υπάρχουν δύο παραδείγματα αθλητών παγκόσμιοι επιπέδου που στον ίδιο αγώνα (Τρίτο Παγκόσμιο Πρωτάθλημα, 1991) σημείωσαν παραπλήσιες επιδόσεις επιτυγχάνοντας διαφορετικές κατακόρυφες ταχύτητες και διαφορετικές γωνίες απογείωσης. Οι Fukushima, Wakayama, Kojima, και Arai (1993) αναφέρουν ότι ο Mike Powel (επίδοση: 8.95 μ) πέτυχε μεγαλύτερη κατακόρυφη ταχύτητα και γωνία απογείωσης (23.2°) λόγω της κλίσης του κορμού, τεντώνοντας περισσότερο το πόδι στήριξης και κάμπτοντας περισσό-

τερο το ισχίο. Αντίθετα ο Carl Lewis (επίδοση: 8.91 μ) διατήρησε την οριζόντια ταχύτητα περιορίζοντας την έκταση του ποδιού στήριξης που είχε ως αποτέλεσμα την απογείωση με μικρότερη γωνία απογείωσης (18.3°).

*Στροφορμή:* Γενικά, θεωρείται ότι οι αθλητές φτάνουν στην βαλβίδα με μηδενική στροφορμή ή με αμελητέα ποσότητα στροφορμής και ότι η στροφορμή που έχουν αποκτήσει στο τέλος της φάσης του πατήματος για απογείωση είναι αποτέλεσμα των δυνάμεων που ασκούνται κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης. Ωστόσο οι Hinrichs, Munkasy, και Chinworth (1989) έδειξαν ότι αυτό δεν ισχύει. Συγκεκριμένα, βρέθηκε ότι η μισή σχεδόν στροφορμή, που αποκτά ο αθλητής με άξονα περιστροφής τον εγκάρσιο άξονα που περνά από το ΚΒΣ, αναπτύσσεται κατά τη διάρκεια της φοράς. Σύμφωνα με τον Hay (1993), κατά τη διάρκεια του πατήματος ο αθλητής δέχεται την επίδραση οριζόντιων και κατακόρυφων δυνάμεων αντίδρασης του εδάφους οι οποίες τείνουν να τον περιστρέψουν γύρω από τον εγκάρσιο άξονα που περνά από το ΚΒΣ κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού. Οι οριζόντιες δυνάμεις συνεισφέρουν στην αύξηση της στροφορμής με φορά όμοια των δεικτών του ρολογιού. Οι κατακόρυφες δυνάμεις αρχικά συνεισφέρουν στην αύξηση της στροφορμής με φορά αντίθετη εκείνης των δεικτών του ρολογιού, ωστόσο, μόλις το ΚΒΣ περάσει μπροστά από το κέντρο πίεσης συνεισφέρουν στην αύξηση της στροφορμής με φορά όπως εκείνη των δεικτών του ρολογιού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η τελική τιμή της στροφορμής, στο τέλος της φάσης του πατήματος, να τείνει να περιστρέψει τον αθλητή προς τα μπροστά.

### *Πτήση*

Η φάση πτήσης ξεκινά τη στιγμή που το πόδι ώθησης χάνει την επαφή με τη βαλβίδα ή το έδαφος και ολοκληρώνεται τη στιγμή που ο αθλητής έρχεται και πάλι σε επαφή με το έδαφος (οκάμμα). Ο αθλητής μετά την απογείωση έχει ήδη αποκτήσει τέτοια ποσότητα στροφορμής, που αν αυτή δεν μειωθεί κατά τη φάση της πτήσης θα έχουμε ως αποτέλεσμα την πρόωρη πτώση των ποδιών στην άμμο και κατά συνέπεια τη μείωση της επίδοσης. Κατά τη διάρκεια της πτήσης, ανεξάρτητα από την τεχνική που χρησιμοποιείται, εκτελούνται εξισορροπητικές κινήσεις που περιορίζουν ως ένα βαθμό την αρχική στροφορμή (Ramey, 1973), διατηρώντας την ισορροπία του αθλητή, στα πλαίσια της προετοιμασίας του για μια αποτελεσματική προσγείωση.

Υπάρχουν τρεις διαφορετικές τεχνικές πτήσης στο άλμα σε μήκος, η δρομική, η συσπειρωτική και η εκτατική. Στη δρομική τεχνική πραγματοποιούνται δρομικοί διασκελισμοί και περιφορές των χεριών προς τα μπροστά. Η τεχνική αυτή μπορεί να εφαρμοστεί με 1 ½, 2 ½ και 3 ½ διασκελισμούς.

Στη συσπειρωτική τεχνική κατά τη διάρκεια της πτήσης το πόδι ώθησης έρχεται μπροστά και μαζί με το πόδι αιώρησης τεντώνουν μπροστά για την προσγείωση. Στην εκτατική τεχνική το πόδι αιώρησης κατεβαίνει και ο κορμός εκτελεί έκταση. Στη συνέχεια ο αθλητής εκτελεί συσπείρωση φέρνοντας τα πόδια και τον κορμό μπροστά.

Σύμφωνα με τους Seyfarth et al. (1999) η ίδια επίδοση μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας διαφορετικές τεχνικές. Ως καλύτερη τεχνική, σε ό,τι αφορά τον εξισορροπητικό της ρόλο (συνέχεια του δρόμου), θεωρείται η δρομική τεχνική με 2 ½ διασκελισμούς. Ωστόσο, ανεξάρτητα από την τεχνική που υιοθετείται κάθε φορά, η απόσταση πτήσης εξαρτάται από τις δυνάμεις που ασκούνται στη φάση της απογείωσης και την ταχύτητα που αποκτά ο αθλητής. Επίσης, είναι γνωστό ότι για να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή απόσταση πτήσης είναι αναγκαίο όλες οι κινήσεις να γίνουν με ακρίβεια και νευρομυϊκό συντονισμό (Larkins, 1989).

### *Προσγείωση*

Η φάση προσγείωσης ξεκινά τη στιγμή που ο αθλητής (μετά την πτήση) έρχεται σε επαφή με το έδαφος (οκάμμα) και ολοκληρώνεται με την παύση της κίνησης του σώματος και την αποχώρησή του από το οκάμμα. Κύριος στόχος αυτής της φάσης είναι η όσο το δυνατό καλύτερη εκμετάλλευση των εξισορροπητικών κινήσεων με σκοπό την μεγιστοποίηση της επίδοσης.

Αν και η προσγείωση αποτελεί την τελευταία φάση του άλματος, η απόσταση προσγείωσης καθορίζεται τόσο από τα σωματομετρικά χαρακτηριστικά του αθλητή όσο και από τη θέση του σώματος του τη στιγμή της προσγείωσης (Linthorne, 2006). Η κατάλληλη θέση του σώματος στη φάση της προσγείωσης είναι αυτή που επιτρέπει στον αθλητή να μεγιστοποιήσει την απόσταση προσγείωσης εκτείνοντας τα πόδια του όσο πιο μακριά μπορεί, μπροστά από το ΚΒΣ, χωρίς όμως αυτό να προκαλέσει το κάθισμα προς τα πίσω (Dyson, 1977). Η παραπάνω θέση του σώματος κατά τη διάρκεια της προσγείωσης θεωρείται ως ιδανική για τη μεγιστοποίηση της απόστασης προσγείωσης και από τον Ecker (1996). Ο Hay (1993) μελετώντας υψηλού επιπέδου αθλητές πρότεινε ως βέλτιστη θέση προσγείωσης αυτή κατά την οποία οι αρθρώσεις των ισχίων βρίσκονται σε πλήρη κάμψη και ο κορμός πάνω από τα πόδια.

Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τρόποι προσγείωσης στο άλμα σε μήκος.

1. Με βαθύ κάθισμα και παράλληλη ενεργητική κίνηση των χεριών προς τα κάτω και κατόπιν προς τα πάνω και μπροστά.
2. Με βαθύ κάθισμα και ανοικτά πόδια - πέρασμα πάνω από τα πόδια χωρίς άλλη επαφή του σώματος με την άμμο.

3. Πλάγια προσγείωση. Σε αυτή την τεχνική ο αθλητής τη στιγμή της επαφής των ποδιών του με την άμμο στρέφει το σώμα του δεξιά ή αριστερά.

### Σχόλια και συζήτηση

Στο άλμα σε μήκος διακρίνουμε τέσσερις διαδοχικές φάσεις: α) τη φάση της φοράς, β) τη φάση της απογείωσης, γ) τη φάση της πτήσης και δ) τη φάση της προσγείωσης. Τα τεχνικά και τα δυναμικά χαρακτηριστικά του αθλητή σε καθένα από αυτές τις φάσεις καθορίζουν την τελική επίδοσή του άλματος σε μήκος. Ωστόσο, ιδιαίτερη συνεισφορά στην τελική επίδοση παρουσιάζουν τα τεχνικά και τα δυναμικά χαρακτηριστικά του αθλητή στην κρίσιμη φάση της απογείωσης. Ο Hay (1986) και ο Alexander (1990) συμφωνούν για την κρίσιμότητα της φάσης αυτής. Στη φάση της απογείωσης οι εμβιομηχανικοί δείκτες που φαίνεται να επιδρούν περισσότερο στην τελική επίδοση είναι η ταχύτητα απογείωσης, η γωνία απογείωσης και η θέση του κέντρου βάρους σε σχέση με τη θέση του ποδιού στήριξης (απόσταση απογείωσης). Ένας επιπλέον σημαντικός παράγοντας που συνεισφέρει σημαντικά στην τελική επίδοση είναι η στροφορμή που εμφανίζεται αναγκαστικά κατά τη διάρκεια του άλματος, καθώς και η αντιμετώπιση της, χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνικές τόσο κατά τη φάση απογείωσης όσο και κατά τη φάση της πτήσης.

Από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας φαίνεται ότι οι περισσότερες μελέτες αναφέρονται στα κινηματικά χαρακτηριστικά της φοράς και της φάσης απογείωσης ανδρών και γυναικών με σημαντικές επιδόσεις σε μεγάλους αγώνες, ενώ ελάχιστες μελέτες εξετάζουν τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά νεαρών αθλητών (Berg & Greer, 1995; Lees et al., 1994; Omura et al., 2005). Υπάρχουν όμως μελέτες και για τα ενεργειακά χαρακτηριστικά (Avela, Kyrolainen, & Komi, 1988; Stefanyshyn & Nigg, 1998) καθώς και για την ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα των συμμετεχόντων μυών του ποδιού στήριξης κατά τη φάση απογείωσης (Carpentier & Duchateau, 1990; Kakihana & Suzuki, 2001; Kyrolainen, Avela, & Komi, 1989).

Πολλοί προπονητές και σύγχρονοι μελετητές υποστηρίζουν ότι χρειάζεται ισορροπία μεταξύ της ταχύτητας, της δύναμης και της τεχνικής (Graham-Smith & Lees, 2005). Οι μελέτες που έχουν γίνει μέχρι σήμερα ασχολούνται κυρίως με τα τεχνικά χαρακτηριστικά (μηχανικές παράμετροι) ανδρών και γυναικών πρωταθλητών του άλματος σε μήκος, ενώ υπάρχουν μόνο τρεις μελέτες για αθλητές μικρότερων ηλικιών (Berg & Greer, 1995; Lees et al., 1994; Omura et al., 2005). Επίσης, δεν έχει μελετηθεί ο ρόλος των δυναμικών ικανοτήτων στην επί-

δοση στο άλμα σε μήκος νεαρών αθλητών.

### Πρακτικές εφαρμογές και προτάσεις

Για την καλύτερη αξιοποίηση των φυσικών ικανοτήτων του αθλητή του άλματος σε μήκος απαιτείται η βελτίωση της τεχνικής εκτέλεσης. Η τελευταία, θα πρέπει να στοχεύει στην όσο το δυνατό καλύτερη αξιοποίηση της αποκτηθείσας κινητικής ενέργειας κατά τη φάση της φοράς, μειώνοντας τις δυνάμεις ανάσχεσης κατά τη φάση του πατήματος ή και αντισταθμίζοντας τις ενεργειακές απώλειες με ενεργητικές κινήσεις όπως η ενεργητική τοποθέτηση του ποδιού στη φάση απογείωσης. Η βέλτιστη αξιοποίηση της αποκτηθείσας κινητικής ενέργειας έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη υψηλών τιμών ταχύτητας απογείωσης, σε συνδυασμό με μια καλύτερη γωνία απογείωσης, συνεισφέροντας έτσι στη βελτίωση της τελικής επίδοσης.

### Προτάσεις για μελλοντικές έρευνες

Με δεδομένο ότι είναι ελάχιστες οι μελέτες που αφορούν νεαρούς αθλητές του μήκους και ακόμα πιο λίγες αυτές που εξετάζουν τις δυναμικές ικανότητές τους, προτείνεται η διερεύνηση του ρόλου των δυναμικών ικανοτήτων στην επίδοση στο άλμα σε μήκος νεαρών αθλητών.

Τέλος, θεωρώντας ότι η φάση της απογείωσης είναι η σημαντικότερη φάση του άλματος σε μήκος, για τους λόγους που προαναφέρθηκαν, προτείνεται η διερεύνηση νέων τεχνικών μειώσης της απώλειας της κινητικής ενέργειας κατά τη φάση αυτή, προκειμένου να υπάρξει η βέλτιστη αξιοποίηση της αποκτηθείσας κινητικής ενέργειας.

### Επίλογος

Από την παρούσα ανασκόπηση της βιβλιογραφίας προκύπτει ότι η πλειονότητα των μελετών ασχολούνται με κινηματικά χαρακτηριστικά αθλητών υψηλού επιπέδου. Τα χαρακτηριστικά αυτά περιγράφουν κυρίως τις φάσεις της φοράς και της απογείωσης. Η βιβλιογραφία είναι εξαιρετικά φτωχή σε μελέτες που να αναφέρονται σε τεχνικά χαρακτηριστικά αθλητών της αναπτυξιακής φάσης. Επίσης, δεν υπάρχουν βιβλιογραφικά δεδομένα σε ότι αφορά σε στοιχεία της φυσικής κατάστασης αθλητών του μήκους και στη σύνδεσή τους με τα στοιχεία της τεχνικής και της τελικής επίδοσης. Οι μελλοντικές προσπάθειες των ερευνητών θα πρέπει να στραφούν τόσο στη μελέτη εμβιομηχανικών παραμέτρων που αφορούν νεαρούς αθλητές του μήκους όσο και στη μελέτη της σχέσης των φυσικών ικανοτήτων με την τεχνική εκτέλεση και την τελική επίδοση.



### Σημασία για τον Αγωνιστικό Αθλητισμό

Η παρούσα ανασκόπηση παρέχει πληροφορίες σχετικά με την βέλτιστη αξιοποίηση της αποκτηθείσας κινητικής ενέργειας αναπτύσσοντας υψηλές τιμές ταχύτητας απογείωσης, σε συνδυασμό με μια καλύτερη γωνία απογείωσης. Οι πληροφορίες αυτές θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν από τους προπονητές για τη βελτίωση της τεχνικής και της τελικής επίδοσης των αθλητών τους.

### Βιβλιογραφία

- Alexander, R. M. (1990). Optimum take-off techniques for high and long jumps. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 329, 3-10.
- Arampatzis, A., Bruggemann, G. P., & Walsch, M. (1999). *Long jump*. Oxford: Meyer & Meyer Sport
- Arampatzis, A., Walsh, M., & Brüggemann, G.-P. (1998). *Biomechanical analysis of the long jump at the WAC Athens 1997*. Paper presented at the ISBS- XI Symposium, Konstanz -Germany.
- Avela, J., Kyrolainen, H., & Komi, P. V. (1988). Changes in mechanical energy transfer and moment analysis during long jump take-off. *Scandinavian journal of sports sciences*, 10, 1-5.
- Barrow, J. D. (2001). Answer to Question #58. Is a good long jumper a good high jumper? *American Journal of Physics*, 69, 105-106.
- Berg, W. P., & Greer, N. L. (1995). A kinematic profile of the approach run of novice long jumpers. *Journal of Applied Biomechanics*, 11, 142-162.
- Bruggemann, P., & Susanka, P. (1987). *The long jump*. London: International Athletic Foundation.
- Carpentier, A., & Duchateau, J. (1990). A biomechanical study on the long jump: comparisons between take-offs performed from different heights. *Science et motricite*, 10, 21-26.
- Chow, J. W., & Hay, J. G. (2005). Computer simulation of the last support phase of the long jump. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37, 115-123.
- Derse, E., & Stolley, S. (1995). *Track & field*. Los Angeles: Health for Life.
- Dick, F. (1978). Horizontal jumps. *Track and Field Quarterly Review*, 78, 60-61.
- Doolittle, D. (1982). The long jump-demonstrated by Carl Lewis. *Track and Field Quarterly Review*, 82, 10-11.
- Dyson, G. H. G. (1977). *The Mechanics of Athletes*. New York: Holmes & Meier.
- Ecker, T. (1996). *Basic track & field biomechanics* (2nd ed.). Mountain View, CA: Tafnews Press.
- Fukashiro, S., Wakayama, A., Kojima, T., & Arai, T. (1993). *World record long jump: Three dimensional analysis of take of motion of Powel and Lewis*. Paper presented at the XIVth Congress of the International Society of Biomechanics, Paris, France.
- Glize, D., & Laurent, M. (1997). Controlling locomotion during the acceleration phase in sprinting and long jump. *Journal of Sports Sciences*, 15, 181-189.
- Graham-Smith, P., & Lees, A. (2005). A three-dimensional kinematic analysis of the long jump take-off. *Journal of Sports Science and Medicine*, 23, 891-903.
- Hanzely, S. (2001). Answer to Question #58. Is a good long jumper a good high jumper? *American Journal of Physics*, 69, 105.
- Hatze, H. (1981). A comprehensive model for human motion simulation and its application to the take-off phase of the long jump. *Journal of Biomechanics*, 14, 135-142.
- Hay, J. G. (1986). The biomechanics of the long jump. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 14, 401-446.
- Hay, J. G. (1988). Approach Strategies in the Long Jump. *International Journal of Sport Biomechanics*, 4, 114-129.
- Hay, J. G. (1993). Citius, altius, longius (faster, higher, longer): the biomechanics of jumping for distance. *Journal of Biomechanics*, 26 Suppl 1, 7-21.
- Hay, J. G., & Miller, J. A. (1985). Techniques used in the transition from approach to takeoff in the long jump. *International Journal of Sport Biomechanics*, 174-184.
- Hay, J. G., Miller, J. A., & Canterna, R. W. (1986). The techniques of elite male long jumpers. *Journal of Biomechanics*, 19, 855-866.
- Hay, J. G., & Nohara, H. (1990). Techniques used by elite long jumpers in preparation for take-off. *Journal of Biomechanics*, 23, 229-239.
- Hay, J. G., & Reid, J. G. (1988). *Anatomy, mechanics, and human motion* (2nd ed.). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Hay, J. G., Thorson, E. M., & Kippenhan, B. C. (1999). Changes in muscle-tendon length during the take-off of a running long jump. *Journal of Sports Sciences*, 17, 159-172.
- Hinrichs, R. N., Munkasy, B. A., & Chinworth, S. A. (1989). *An analysis of angular momentum during the run-up and take off in long jumping*. Paper presented at the XII International Congress of Biomechanics, Los Angeles.
- Jarver, J., & Boase, G. (1984). Helsinki observa-

- tions-horizontal jumps. *Modern Athlete and Coach*, 22, 3-7.
- Kakahana, W., & Suzuki, S. (2001). The EMG activity and mechanics of the running jump as a function of takeoff angle. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 11, 365-372.
- Koh, T., & Hay, J. (1990). Landing leg motion and performance in the horizontal jumps: 1. The long jump. *International Journal of Sports Biomechanics*, 6, 343-360.
- Kyrolainen, H., Avela, J., & Komi, P. V. (1989). *Regulation of muscle and stiffness during long jump take-off*. Paper presented at the Biomechanics XII, Los Angeles, USA.
- Larkins, C. (1989). The take of drill for the long jump. *Track Technique*, 107, 3415-3572.
- Lee, D. N., Lishman, J. R., & Thomson, J. A. (1982). Regulation of gait in long jumping. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 448-459.
- Lees, A., Fowler, N., & Derby, D. (1993). A biomechanical analysis of the last stride, touch-down and take-off characteristics of the women's long jump. *Journal of Sports Sciences*, 11, 303-314.
- Lees, A., Graham-Smith, P., & Fowler, N. (1994). A biomechanical analysis of the last stride, touchdown, and takeoff characteristics of men's long jump. *Journal of Applied Biomechanics*, 10, 79-88.
- Linthorne, N. P. (2006). Throwing and jumping for maximum horizontal range. *Arxiv preprint physics/0601148*.
- Linthorne, N. P., Guzman, M. S., & Bridgett, L. A. (2005). Optimum take-off angle in the long jump. *Journal of Sports Sciences*, 23, 703-712.
- Luhtanen, P., & Komi, P. V. (1979). Mechanical power and segmental contribution to force impulses in long jump take-off. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 41, 267-274.
- Muraki, Y., Ae, M., Yokozawa, T., & Koyama, H. (2005). Mechanical properties of the take-off leg as a support mechanism in the long jump. *Sports Biomechanics*, 4, 1-15.
- Nigg, B. M. (1974). *Sprung, Springen, Sprunge*. Zurich.
- Nixdorf, E., & Bruggemann, G. P. (1983 ). Zur Absprungvorbereitung beim Weitsprung - Eine biomechanische Untersuchung zum Problem der Körperschwerpunktsenkung [On the preparation for takeoff in the long jump-A biomechanical investigation into the problem of lowering the center of gravity]. *Die Lehre der Leichtathletik*, 41, 1539-1541.
- Nixdorf, E., & Bruggemann, G. P. (1988). *Biomechanical analysis of the long jump*. Monaco: International Athletic Foundation.
- Nixdorf, E., & Bruggemann, G. P. (1990). *Biomechanical analysis of the long jump*. Monaco: International Athletic Foundation.
- Nolan, L., & Lees, A. (2000). Touch-down and take-off characteristics of the long jump performance of world level above- and below-knee amputee athletes. *Ergonomics*, 43, 1637-1650.
- Omura, I., Liboshi, A., Koyama, H., Muraki, Y., & Ae, M. (2005). *Analysis of the approach run and the takeoff in the Japanese junior long jumpers* Paper presented at the ISB XXth Congress - ASB 29th Annual Meeting.
- Ozolin, N. G. (1965 ). *The fundamentals of jumping technique*. Moscow: Physical Culture and Sport.
- Pandy, M. G., Zajac, F. E., Sim, E., & Levine, W. S. (1990). An optimal control model for maximum-height human jumping. *Journal of Biomechanics*, 23, 1185-1198.
- Ramey, M. R. (1973). Significance of angular momentum in long jumping. *Research Quarterly*, 44, 488-497.
- Red, W. E., & Zogaib, A. J. (1977). Javelin dynamics including body interaction. *Journal of Applied Mechanics*, 44, 496-498.
- Rex, A. (2001). Answer to Question #58. Is a good long jumper a good high jumper? *American Journal of Physics*, 69, 104-105.
- Schmolinsky, G. (1983). *Track and field*. Berlin: Sportverlag.
- Scott, M. A., Li, F. X., & Davids, K. (1997). Expertise and the regulation of gait in the approach phase of the long jump. *Journal of Sports Sciences*, 15, 597-605.
- Seyfarth, A., Blickhan, R., & Van Leeuwen, J. L. (2000). Optimum take-off techniques and muscle design for long jump. *Journal of Experimental Biology*, 203, 741-750.
- Seyfarth, A., Bobbert, M. F., & Blickhan R. (2008). The origin of spring-like leg behaviour in Long Jump, *Journal of Biomechanics*, in press.
- Seyfarth, A., Friedrichs, A., Wank, V., & Blickhan, R. (1999). Dynamics of the long jump. *Journal of Biomechanics*, 32, 1259-1267.
- Siluyanov, V., & Maximov, R. (1978). Speed and strength in the long jump. *Yessis Review of Physical Education and Sports*, 13, 71-73.
- Stefanyshyn, D. J., & Nigg, B. M. (1998). Contribution of the lower extremity joints to mechanical energy in running vertical jumps and running long jumps. *Journal of Sports Sciences*, 16, 177-186.
- Tan, A., & Zumerchic, J. (2000). Kinematics of the long jump. *The Physics Teacher*, 38, 147-149.
- Tiupa, V. V., Aleshinskii, S. I., & Pereverzev, S. P. (1982 ). The biomechanics of the movement of the body's general center of mass during the long jump (in Russian). *Theoria i Praktika Fizicheskoi Kkulturi*, 2 11-14.

Wilt, F. (1974). Getting the "hang" in the long jump. *Athletic Journal*, 54, 28-29.

Witters, J., Bohets, W., & Coppenolle, H. V. (1992). A model of the elastic take-off energy in the long jump. *Journal of Sports Sciences*, 10, 533-540.

Young, W., & Marino, W. (1984). The takeoff in the long and triple jumps. *Modern Athlete and Coach*, 22, 11-14.

Φαφούτης, Ε., & Ευθυμίου, Δ. (1994). *Τα άλματα*. Αθήνα: Σ. Αθανασόπουλος -Σ. Παπαδάμης.

