

# Κριτική ανάλυση ερευνητικών δεδομένων σχετικά με την ανάπτυξη της ισορροπίας του σώματος και του ελέγχου του χεριού από τη νηπιακή ηλικία μέχρι την ενηλικίωση

Γεώργιος Αγγελακόπουλος<sup>1</sup>, Geert Savelsbergh<sup>2</sup>, Simon Bennett<sup>3</sup>, Keith Davids<sup>4</sup>, Τσορμπατζούδης Χαράλαμπος<sup>1</sup> και Κοΐδου Ειρήνη<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Εργαστήριο Αθλητικής Ψυχολογίας, Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής & Αθλητισμού, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

<sup>2</sup> Faculteit der Bewegingswetenschappen, Vrije Universiteit Amsterdam

<sup>3</sup> Research Institute for Exercise & Sport Sciences, Liverpool John Moores University

<sup>4</sup> School of Human Movement Studies, Queensland University of Technology, Brisbane

## Περίληψη

ΑΓΓΕΛΑΚΟΠΟΥΛΟΣ Γ., SAVELSBERGH G., BENNET S., DAVIDS K., ΤΣΟΡΜΠΑΤΖΟΥΔΗΣ Χ. και ΚΟΪΔΟΥ Ε. Κριτική ανάλυση ερευνητικών δεδομένων σχετικά με την ανάπτυξη της ισορροπίας του σώματος και του ελέγχου του χεριού από τη νηπιακή ηλικία μέχρι την ενηλικίωση. *Κινησιολογία*, Τομ. 5, Τεύχος 1, Σελ. 67-74. Ο επιδέξιος χειρισμός, το πιάσιμο ενός αντικειμένου καθώς και ο ικανοποιητικός έλεγχος της στάσης του σώματος και της ισορροπίας απαιτούν υψηλά επίπεδα νευρομυϊκού συντονισμού. Το θεωρητικό υπόβαθρο της κριτικής ανάλυσης βασίζεται στις εργασίες των Bernstein (1967), Gibson (1979). Σύμφωνα με αυτό το θεωρητικό πλαίσιο η ανάπτυξη του συντονισμού της κίνησης μπορεί να προκύψει από τους διαφορετικούς περιορισμούς που επιβάλλονται στο σύστημα οργανισμός-περιβάλλον. Από την κριτική ανάλυση των βιβλιογραφικών δεδομένων συμπεραίνεται ότι η ισορροπία του σώματος είναι αποφασιστικός παράγοντας ανάπτυξης της ικανότητας στο πιάσιμο ενός αντικειμένου και ότι βρίσκεται σε συνάρτηση με την υπόθεση που διατυπώθηκε για τους βαθμούς ελευθερίας (degrees of freedom), (π.χ., τις αρθρώσεις που συμμετέχουν στην κίνηση) που πρέπει να ελεγχθούν. Σημειώνεται ότι οι βαθμοί ελευθερίας του σώματος ορίζονται ως οι λειτουργικές ενώσεις των μελών που συμμετέχουν στην κίνηση και που βελτιώνονται βαθμιαία με την ανάπτυξη της ηλικίας. Επιπλέον, προκύπτει ότι στα αρχικά στάδια της εκμάθησης μιας δεξιότητας, οι βαθμοί ελευθερίας της κίνησης πρέπει να είναι περιορισμένοι (πάγωμα (freezing) των βαθμών ελευθερίας). Στη συνέχεια, με την εκμάθηση της δεξιότητας ακολουθεί η απελευθέρωση (freeing) των βαθμών ελευθερίας και έπεται η εκμετάλλευση (exploiting) των υπολοίπων βαθμών ελευθερίας για την εκμάθηση της δεξιότητας. Από τα ερευνητικά δεδομένα, τα οποία παρουσιάζονται σε αυτή την ανασκόπηση, διαφαίνεται ότι όταν οι αρθρώσεις του σώματος γίνονται πιο άκαμπτες το σώμα είναι σχετικά πιο σταθερό και μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερο έλεγχο του χεριού και κατά συνέπεια σε καλύτερο έλεγχο των κινήσεων που απαιτούν λεπτό χειρισμό, όπως είναι το πιάσιμο ενός αντικειμένου. Τα δημοσιευμένα άρθρα που παρουσιάζονται στην παρούσα ανασκόπηση συλλέχθηκαν από βάσεις δεδομένων σχετικές με την ψυχολογία, την κινητική συμπεριφορά, την αντίληψη-κίνηση και την νευροψυχολογία. Ειδικότερα, χρησιμοποιήθηκαν οι βάσεις δεδομένων PubMed, Sport Discus, Science Direct, Sportscience. Επιπλέον έγινε ελεύθερη αναζήτηση στο διαδίκτυο με τη βοήθεια των μηχανών αναζήτησης google και yahoo. Οι λέξεις κλειδιά που χρησιμοποιήθηκαν για την αναζήτηση σε διάφορους συνδυασμούς ήταν οι όροι 'postural stability, manual control, life span development, motor control'. Στη συνέχεια, με την μέθοδο της χιονοστιβάδας, από τις υπάρχουσες βιβλιογραφικές πηγές έγινε αναζήτηση και ανεύρεση και άλλων σχετικών ερευνών.

**Λέξεις κλειδιά:** ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΣΩΜΑΤΟΣ, ΕΛΕΓΧΟΣ ΧΕΡΙΟΥ, ΑΝΑΠΤΥΞΗ, ΚΙΝΗΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Στην πορεία της οντογένεσής του, ο άνθρωπος περνάει από τη χρήση ολικών αντιδράσεων στα εξειδικευμένα συστήματα αντίδρασης. Από το αδιάκριτο άπλωμα των χεριών οποτεδήποτε και οπουδήποτε και από το πιάσιμο χωρίς διακρίσεις διέρχεται στην εξειδικευμένη εξερεύνηση του περιβάλλοντος (Salkind, 2004). Η ταυτόχρονη κινητοποίηση και αλληλεπίδραση πολλών συστημάτων κατά την διάρκεια μιας περίπλοκης κίνησης, όπως είναι το πιάσιμο ενός αντικειμένου το οποίο βρίσκεται σε κίνηση, αποδεικνύεται αντιοικονομική και αναποτελεσμα-

τική, αν τόσο οι ολόσωμες όσο και οι μερικές κινήσεις δεν γίνουν πιο εξειδικευμένες και δεν αποκτήσουν ακρίβεια και σταθερότητα (Reed, 1982).

Για την περιγραφή και εξήγηση αυτών των αλληλεπιδράσεων διατυπώθηκαν διάφορα μοντέλα και απόψεις (βλ. σύνοψη Salkind, 2004). Ένα πλαίσιο με σημαντικά πλεονεκτήματα είναι αυτό της οικολογίας της ανθρώπινης ανάπτυξης που προβλέπει την προοδευτική αμοιβαία προσαρμοστικότητα στη διάρκεια της ζωής, ανάμεσα στον εξελισσόμενο ανθρώπινο οργανισμό και τις αλλαγές που συντελούνται στο άμεσο περιβάλλον μέσα στο οποίο ζει αυτός (Bronfenbrenner & Morris, 2000).

Οι αμοιβαίες αυτές προσαρμοστικότητες γίνονται εμφανείς τόσο στο πιάσιμο και το χειρισμό αντικειμένων, όσο και στο συνδυασμό με το στοιχείο της ισορροπίας. Ωστόσο

### Συγγραφέας επικοινωνίας

Αγγελακόπουλος Γ: georgios.angelakopoulos@gmail.com

συνδυαστικά ερευνητικά δεδομένα και νεότερα θεωρητικά πλαίσια επιτρέπουν την καλύτερη περιγραφή και εξήγηση τόσο των ατομικών διαφορών στην απόδοση, όσο και των διαφορών στο ρυθμό και το σχήμα της ανάπτυξης. Από τα παραπάνω διαφαίνεται η αναγκαιότητα εξειδικευμένης μελέτης και ανάλυσης στις διάφορες ηλικιακές βαθμίδες προκειμένου να αναδειχθούν χρήσιμα επαναλαμβανόμενα πρότυπα για τη φυσική αγωγή, τον αθλητισμό, αλλά και την ανθρώπινη ανάπτυξη εν γένει.

### **Χειριστικές δεξιότητες και ισορροπία στη βρεφική και νηπιακή ηλικία**

Ο επιδέξιος χειρισμός ενός αντικείμενου και η προσπάθεια για να φτάσει το άτομο ένα αντικείμενο απαιτούν τον ικανοποιητικό έλεγχο της στάσης του σώματος και της ισορροπίας. Επιτυγχάνεται με μια σειρά από ενέργειες οι οποίες περιλαμβάνουν τον έλεγχο της όρασης, της κεφαλής και του κορμού και οι οποίες συμμετέχουν στο νευρομυϊκό συντονισμό του ατόμου (Von Hofsten, 1983). Ο Von Hofsten (1983), υιοθετώντας την αναπτυξιακή προσέγγιση, διαπίστωσε ότι τα νήπια (1-19 εβδομάδων) που το σώμα τους υποστηρίζονταν επαρκώς σε επικλινές επίπεδο, μπορούσαν να εκτελέσουν επιτυχημένες κινήσεις των χεριών τους προς ένα αντικείμενο που ήταν τοποθετημένο μπροστά τους. Ο ερευνητής κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η υποστήριξη που παρείχε στα νήπια το σταθερό επικλινές επίπεδο βοήθησε στον καλύτερο έλεγχο της ισορροπίας, η οποία με τη σειρά της είχε ως συνέπεια τον καλύτερο έλεγχο και συντονισμό των χεριών τους.

Στηριζόμενος σε πρωτόκολλα παρατήρησης, ο Grenier (1981) κατέγραψε πιο οργανωμένες κινήσεις των χεριών σε νήπια (2-4 μηνών), στα οποία υποστηρίζονταν το σώμα τους και ειδικότερα όταν σταθεροποιούνταν το κεφάλι τους. Έτσι οδηγήθηκε στο συμπέρασμα ότι τα νήπια περνούσαν στην ηλικία των τεσσάρων μηνών αρχίζουν να φτάνουν ένα αντικείμενο με επιτυχία. Στην ίδια κατεύθυνση, ο Rochat (1992) αξιολογώντας τα δεδομένα που προέκυψαν μέσω παρατήρησης ανέφερε ότι όταν τα νήπια (5-8 μηνών) αρχίζουν να κάθονται μόνα τους, χωρίς να υποστηρίζονται, οι προσπάθειες να προσεγγίσουν ένα αντικείμενο γίνονται με το ένα χέρι. Η ερμηνεία που δόθηκε ήταν ότι αυτό συμβαίνει γιατί χρησιμοποιούν το άλλο τους χέρι προκειμένου να διατηρήσουν την ισορροπία τους. Όταν τα ίδια νήπια τοποθετήθηκαν σε άλλη στάση χωρίς υποστήριξη, τότε έπεφταν προς τα εμπρός στην προσπάθειά τους να φτάσουν ένα αντικείμενο με τα δύο χέρια. Συνολικά οι μελέτες έδειξαν ότι η κλίση του ανθρώπινου σώματος προς τα εμπρός συνδέεται με δυσκολίες στο πιάσιμο.

Σε μια άλλη μελέτη οι Rochat και Goubet (1995) διαπίστωσαν ότι μόνο τα νήπια ηλικίας πέντε έως έξι μηνών, που μπορούσαν να καθίσουν μόνα τους, μπόρεσαν να ενσωματώσουν στην κίνησή τους την κλίση προς τα εμπρός για να πιάσουν ένα αντικείμενο, χωρίς να υποστηρίζεται το σώμα τους. Όταν στη συνέχεια υποστηρίχθηκαν από τα ισχία τους, ακόμη και τα νήπια που δεν μπορούσαν να σταθούν μόνα τους συντόνιζαν την κίνησή τους για να φτάσουν το αντικείμενο με κλίση του άνω μέρους του σώματος προς τα εμπρός. Διαφαίνεται λοιπόν ότι η ανάπτυξη

της ικανότητας στο πιάσιμο ενός αντικείμενου εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από την ισορροπία του σώματος.

Για να διατηρηθεί η ισορροπία κατά τη διάρκεια μιας κίνησης πρέπει να προβλεφθούν οι διάφοροι περιορισμοί που υφίστανται. Προκειμένου να διατηρηθεί η ισορροπία κατά τη διάρκεια των κινήσεων των άκρων, το άτομο πρέπει να έχει την αίσθηση όλων των επιμέρους δυνάμεων που προκύπτουν κατά τη διάρκεια της κίνησης, καθώς και πώς μετατοπίζεται το κέντρο βάρους του σώματός τους. Οι Von Hofsten και Woollacott (1989) διαπίστωσαν ότι όταν νήπια εννέα μηνών κάθονται στα γόνατα των γονέων τους και υποστηρίζονται από τα ισχία στην προσπάθειά τους να φτάσουν ένα αντικείμενο, οι μύες του κορμού έκαναν ορισμένες προπαρασκευαστικές ρυθμίσεις. Διαπιστώθηκε ότι οι εκτεινόμενες μύες του κορμού προετοιμάζονταν αρχικά για να φτάσουν το αντικείμενο. Από τα δεδομένα προέκυψε ότι οι κοιλιακοί μύες συμμετείχαν κυρίως στην προετοιμασία της προσέγγισης του αντικείμενου και ιδιαίτερα στη φάση που αφορούσε την κάμψη του σώματος προς τα εμπρός προς το τέλος της προσέγγισης του αντικείμενου. Ωστόσο, είναι πιθανό οι ξεχωριστές αυτές ρυθμίσεις σε αυτήν την ηλικία να είναι συνάρτηση της φύσης της συγκεκριμένης δεξιότητας.

Οι Van der Fits και Hadders-Algra (1998) υπέβαλλαν τις παραπάνω διαπιστώσεις σε νέα εξέταση σε νήπια ηλικίας 3 έως 18 μηνών (διαφορετικές ηλικίες-νηπιακή καρέκλα), τα οποία κάθονταν σε νηπιακή καρέκλα και ανάσκελα. Τα ευρήματά τους δεν ανέδειξαν στοιχεία για τέτοιου είδους προπαρασκευαστικές ρυθμίσεις. Τέτοιου είδους ρυθμίσεις στην εκτέλεση λεπτών κινητικών δεξιοτήτων εξαρτώνται κυρίως από την ανάπτυξη των κορτικονευρολογικών (corticomotoneuronal) συνδέσεων του εγκεφάλου (Lawrence & Hopkins, 1976).

Τα παραπάνω δεδομένα οδηγούν στο συμπέρασμα ότι για την επίτευξη ενός επιτυχημένου πιασίματος απαιτείται εξειδικευμένος έλεγχος της ισορροπίας του σώματος και στη συνέχεια λεπτός χειρισμός του χεριού ή των χεριών που συμμετέχουν στο πιάσιμο του αντικείμενου. Με άλλα λόγια, διαπιστώνεται ότι ο έλεγχος της στάσης και της ισορροπίας του σώματος γίνεται σημαντικότερος σε κινήσεις που απαιτούν λεπτό χειρισμό. Τέλος, υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις ότι οι δεξιότητες λεπτού χειρισμού μορφοποιούνται προς το τέλος του πρώτου έτους της ανάπτυξης.

### **Χειριστικές δεξιότητες και ισορροπία στην παιδική και εφηβική ηλικία**

Μία άρτιου σχεδιασμού έρευνα είναι αυτή των Hay και Redon (2001), οι οποίοι μελέτησαν την ανάπτυξη του συντονισμού μεταξύ της στάσης του σώματος και της κίνησης. Μέτρησαν τη μετατόπιση του κέντρου της πίεσης των ποδιών (Centre Of Pressure) σε σχέση με την κίνηση του βραχίονα σε παιδιά ηλικίας 3-5, 6-8 και 9-10 ετών καθώς και σε ενήλικες. Τα δεδομένα τις έρευνάς τους έδειξαν ότι το κέντρο πίεσης των ποδιών (COP) μετατοπίστηκε προς τα εμπρός κατά τη διάρκεια της κίνησης του βραχίονα από τη στάση της προσοχής στη στάση της πρότασης. Η ερμηνεία που δόθηκε ήταν ότι το πρόσθετο φορτίο του μετατοπισμένου χεριού προκάλεσε τη μετατόπιση του κέντρου

**Πίνακας 1. Χειριστικές δεξιότητες και ισορροπία στη βρεφική και νηπιακή ηλικία**

Συγγραφείς	Δείγμα	Συνοπτικά Αποτελέσματα	Εργαλεία
Von Hofsten, 1983	Νήπια	Η υποστήριξη του σώματος βοηθά στον καλύτερο έλεγχο των χεριών.	Επικλινές επίπεδο
Grenier, 1981	Νήπια	Η σταθεροποίηση της κεφαλής οδηγεί σε οργανωμένες κινήσεις των χεριών.	Υποστήριξη του σώματος και της κεφαλής
Rochat, 1992	Νήπια	Στην καθιστή θέση τα νήπια χρησιμοποιούν το ένα χέρι για την προσέγγιση του αντικειμένου και το άλλο για την υποστήριξη του σώματος	Παρατήρηση συμπεριφοράς προσέγγισης ενός αντικειμένου
Rochat, & Goubet, 1995	Νήπια (5-6 μηνών)	Τα νήπια ενσωματώνουν στην κίνησή τους την κλίση του σώματος προς τα εμπρός προκειμένου να πιάσουν ένα αντικείμενο.	Παρατήρηση συμπεριφοράς προσέγγισης ενός αντικειμένου
Von Hofsten, & Woollacott, 1989	Νήπια (9 μηνών)	Αρχικά γίνεται προετοιμασία των εκτεινόντων μυών του κορμού για την προσέγγιση του αντικειμένου και ακολουθεί η κίνηση του χεριού στα πόδια των γονιών τους	Παρατήρηση προσπάθειας προσέγγισης ενός αντικειμένου ενώ τα νήπια υποβαστάζονταν
Van der Fits, & Hadders-Algra, 1998	Νήπια (3-18 μηνών)	Ο έλεγχος της στάσης και της ισορροπίας του σώματος γίνεται σημαντικότερος σε κινήσεις που απαιτούν λεπτό χειρισμό	Παρατήρηση προσέγγισης ενός αντικειμένου ενώ κάθονταν σε νηπιακή καρέκλα

σε όλες τις ηλικίες, και ότι το σχετικό εύρος της μετατόπισης μειώνονταν όσο αυξάνονταν η ηλικία. Οι μεγαλύτερες αλλαγές εμφανίστηκαν μεταξύ των 3-5 και 6-8 ετών. Η στάση σώματος που παρουσίασαν τα παιδιά ηλικίας 9-10 ετών και οι ενήλικες αναφορικά με την κίνηση του βραχίονα υποδηλώνει ότι διατηρείται η ισορροπία του σώματος, όταν η ταλάντωσή του δε δημιουργεί προβλήματα στη στατική ισορροπία.

Επιπρόσθετα, μελέτες σε παιδιά ηλικίας από 15 μηνών έως 10 ετών έδειξαν ότι υπάρχουν ορισμένες μεταβατικές φάσεις, οι οποίες σχετίζονται με τον έλεγχο της ισορροπίας και καθορίζονται ως ένα βαθμό από την ανάπτυξη και τη βελτίωση της ικανότητας ισορροπίας (Forssberg & Nashner, 1982; Shumway-Cook & Woollacott, 1985; Woollacott, Shumway-Cook, & Williams, 1990). Η ομάδα των παιδιών ηλικίας 7 έως 10 ετών εμφάνισε ουσιαστικά παρόμοια συμπεριφορά στη διατήρηση της ισορροπίας του σώματος με τους ενήλικες. Φαίνεται ότι για κινήσεις σε δυναμοδάπεδο αυτές οι ηλικίες δεν παρουσίασαν καμία σημαντική διαφορά ως προς το χρόνο (την χρονική στιγμή) που ξεκινούν την κίνηση, τη μεταβλητότητα και ως προς το χρονικό συντονισμό των μυών των ποδιών. Από τα ευρήματα αυτά διαφαίνεται ότι αφενός μεν οι αντιδράσεις των παιδιών στις μεταβαλλόμενες κινήσεις του δυναμοδάπεδου έδωσαν την ευκαιρία στα παιδιά να προσαρμοστούν στις νέες απαιτήσεις για τη διατήρηση της ισορροπίας και αφετέρου ότι οι κινήσεις αυτές ήταν όμοιες με αυτές των ενηλίκων (Shumway-Cook & Woollacott, 1985). Οι Forssberg και Nashner (1982) παρατήρησαν ότι οι ρυθμιστικές αντιδράσεις ενεργοποιήθηκαν γρηγορότερα μεταξύ των παιδιών ηλικίας 7 έως 10 ετών και ότι η μεταβλητότητα της κίνησης του σώματός τους παρουσίασε ομοιότητες με το πρότυπο

της κίνησης του σώματος των ενηλίκων.

Έρευνες σχετικές με το πιάσιμο μπάλας του τένις υπογραμμίζουν τη σημασία της διατήρησης της ισορροπίας του σώματος σε σχέση με την εκτελούμενη κινητική δεξιότητα (Angelakopoulos, Davids, Bennett, Tsoarbatzoudis, & Grouios, 2005; Davids, Bennett, Kingsbury, Jolley, & Brain, 2000; Savelsbergh, Bennett, Angelakopoulos, & Davids, 2005). Πιο αναλυτικά, ο Davids και οι συνεργάτες του (2000) μελέτησαν την ικανότητα στο πιάσιμο μιας μπάλας του τένις σε παιδιά ηλικίας 9 - 10 ετών, από όρθια και καθιστή στάση. Από τα αποτελέσματά τους προέκυψε ότι η απόδοση των παιδιών που είχαν χαρακτηριστεί ως αδέξιοι (με βάση την ικανότητά τους στο πιάσιμο μιας μπάλας) από την όρθια θέση, όταν κάθονταν βελτίωναν σημαντικά την απόδοσή τους. Το εύρημα αποδόθηκε από τους ερευνητές στο ότι τα άτομα αυτά έπρεπε να διατηρήσουν ταυτόχρονα την ισορροπία τους στην όρθια στάση και συγχρόνως να κάνουν όλες τις απαραίτητες ρυθμιστικές ενέργειες προκειμένου να πιάσουν την μπάλα. Αντίθετα, οι επιδέξιοι στο πιάσιμο της μπάλας απέδωσαν εξίσου επιτυχημένα τόσο στην όρθια θέση όσο και όταν κάθονταν. Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι τα επιδέξια άτομα στο πιάσιμο της μπάλας, όταν βρίσκονταν σε καθιστή θέση, αντιμετώπιζαν δυσκολίες σχετικά με την τοποθέτηση του χεριού στη γραμμή πτήσης και το πιάσιμο της μπάλας.

Με βάση τη θεωρία των Δυναμικών Συστημάτων (Dynamical Systems) ο Davids και οι συνεργάτες του (2000) συμπέραναν ότι η στάση και η ισορροπία του σώματος αποτελούν βασικούς περιορισμούς στην απόδοση των παιδιών που επιχειρούν να πιάσουν μια μπάλα με το ένα χέρι. Στην ίδια κατεύθυνση ήταν και τα αποτελέσματα της μελέτης των Angelakopoulos και συν. (2005), όπου εξετά-

**Πίνακας 2. Χειριστικές δεξιότητες και ισορροπία στην παιδική και εφηβική ηλικία**

Συγγραφείς	Δείγμα	Συνοπτικά Αποτελέσματα	Εργαλεία
Forsberg & Nashner, 1982	7-10 ετών	Όμοια συμπεριφορά στην διατήρηση της ισορροπίας του σώματος με τους ενήλικες	Δυναμοδάπεδο
Shumway-Cook & Woollacott, 1985	7-10 ετών	Οι κινήσεις των παιδιών στις μεταβαλλόμενες κινήσεις του δυναμοδάπεδου ήταν όμοιες με αυτές των ενηλίκων	Δυναμοδάπεδο
Woollacott et al, 1990	15 μηνών έως 10 ετών	Ο έλεγχος της ισορροπίας εξαρτάται από την ανάπτυξη και την βελτίωση της δεξιότητας ισορροπίας και είναι ανάλογος του επιπέδου ανάπτυξης.	Δυναμοδάπεδο
Hay & Readon, 2001	3-5, 6-8, 9-10 ετών και ενήλικες	Το κέντρο πίεσης των ποδιών μετατοπίστηκε προς τα εμπρός κατά τη διάρκεια της κίνησης του χεριού από τη στάση της προσοχής στη στάση της πρότασης.	Δυναμοδάπεδο
Davids et al, 2000	9-10 ετών	Η ισορροπία του σώματος αποτελεί βασικό περιορισμό στην απόδοση των παιδιών να πιάσουν μια μπάλα. Στην καθιστή θέση βελτιώνεται αισθητά η ικανότητα στο πιάσιμο της μπάλας	Πιάσιμο μιας μπάλας του τένις από όρθια και καθιστή στάση
Angelakopoulos et al. 2005	9-10 ετών	Η καθιστή θέση επέφερε μείωση των βαθμών ελευθερίας στο κινητικό σύστημα που ρυθμίζεται από το Κ.Ν.Σ.	Πιάσιμο μιας μπάλας του τένις από όρθια και καθιστή στάση με το προτιμώμενο και το μη-προτιμώμενο χέρι
Savelsbergh et al, 2005	9-10 ετών	Η μείωση των βαθμών ελευθερίας, η εκμετάλλευση της επιφάνειας στήριξης και η σωστή τοποθέτηση του χεριού στη σωστή στιγμή στη σωστή θέση οδηγεί σε επιτυχημένο πιάσιμο	Πιάσιμο μιας μπάλας του τένις από όρθια, Π.Σ.Υ.Ι και καθιστή στάση

στηκε το πιάσιμο μπάλας του τένις σε τρεις ομάδες που διέφεραν στο επίπεδο ικανότητας. Στην πειραματική διαδικασία επιδέξιοι, λιγότερο επιδέξιοι και αδέξιοι (με βάση την ικανότητα στο πιάσιμο μιας μπάλας του τένις), ηλικίας 9 και 10 ετών έπρεπε να πιάσουν μπάλες του τένις με το ένα χέρι από όρθια και καθιστή θέση με το προτιμώμενο και το μη-προτιμώμενο χέρι. Ο Angelakopoulos και οι συνεργάτες του (2005) διαπίστωσαν ότι η απόδοση των επιδέξιων δεν επηρεάστηκε από τους περιορισμούς της στάσης και της ισορροπίας που τους επιβλήθηκαν (όρθια στάση ή καθιστή), αλλά ότι στους λιγότερο επιδέξιους η απόδοση στο πιάσιμο βελτιώθηκε σημαντικά στην καθιστή έναντι της όρθιας θέσης, ανεξάρτητα από την προτίμηση χεριού. Τη μεγαλύτερη βελτίωση παρουσίασαν οι αδέξιοι στην καθιστή θέση, των οποίων η απόδοση έφτασε στο επίπεδο των επιδέξιων στην όρθια θέση. Μια πιθανή εξήγηση για αυτά τα συμπεράσματα είναι ότι η καθιστή θέση μείωσε τις απαιτήσεις ελέγχου της στάσης και της ισορροπίας του σώματος μέσω της μείωσης των βαθμών ελευθερίας στο κινητικό σύστημα, το οποίο με τη σειρά του απεικονίζει τη λειτουργία του κεντρικού νευρικού συστήματος (ΚΝΣ). Όταν το ΚΝΣ καλείται να συντονίσει λιγότερες αρθρώσεις, τότε προκύπτει καλύτερος έλεγχος των κινήσεων του σώματος, που με τη σειρά του οδηγεί στον καλύτερο έλεγχο του βραχίονα που συμμετέχει στο επιτυχημένο πιάσιμο. Μια άλλη ερμηνεία για τα αποτελέσματα είναι ότι η μείωση

των βαθμών ελευθερίας που ρυθμίζει το κινητικό σύστημα παρείχε στο ΚΝΣ τη δυνατότητα να αναδιοργανώσει τους υπόλοιπους βαθμούς ελευθερίας με πιο αποτελεσματικό τρόπο. Για παράδειγμα, το πιάσιμο μιας μπάλας στην καθιστή στάση μπορεί να δώσει στους εκτελεστές την ευκαιρία να αυξήσουν την κίνηση του κορμού στο προσθιοπίσθιο επίπεδο, επειδή η επιφάνεια στήριξης του σώματος είναι μεγαλύτερη από ό,τι είναι στην όρθια στάση (Savelsbergh et al., 2005). Στη συγκεκριμένη έρευνα ο Savelsbergh και οι συνεργάτες του (2005) μελέτησαν την ικανότητα στο πιάσιμο μιας μπάλας του τένις σε τρεις διαφορετικές θέσεις του σώματος: α) από όρθια θέση, β) από την όρθια θέση με επαφή του αριστερού χεριού σε ένα παράπλευρο σύστημα υποβοήθησης της ισορροπίας (Π.Σ.Υ.Ι) που περιόριζε την κίνηση του σώματος στον πλάγιο άξονα και γ) από την καθιστή θέση. Από τα αποτελέσματά τους διαπιστώθηκε ότι, οι παραλλαγές της θέσης του σώματος δεν επέφεραν καμία αλλαγή στη ικανότητα στο πιάσιμο της μπάλας των ατόμων, οι οποίοι είχαν χαρακτηριστεί ως 'επιδέξιοι' (με βάση την ικανότητά τους στο πιάσιμο της μπάλας του τένις). Όμως η συμπεριφορά των ατόμων που αρχικά στην όρθια στάση έπιασαν λιγότερες μπάλες και είχαν χαρακτηριστεί ως 'αδέξιοι' βελτιώθηκε στην καθιστή θέση καθώς και στη θέση με το σύστημα υποβοήθησης της ισορροπίας του σώματος. Η καθιστή θέση είχε ως αποτέλεσμα μεγαλύτερο εύρος κίνησης προς την κατεύθυνση της μπάλας (προσθιο-



πίσθιο άξονα) και μειωμένη ταλάντωση στον πλάγιο άξονα. Με άλλα λόγια, προκειμένου να πιάσει κάποιος τη μπάλα είναι αναγκαίο να ρυθμίσει τη θέση του σώματός του (με τη μείωση των βαθμών ελευθερίας), να εκμεταλλευτεί την επιφάνεια στήριξης, ενώ ταυτόχρονα να τοποθετήσει το χέρι του την κατάλληλη στιγμή στη σωστή θέση.

Από την συνολική ερμηνεία και αξιολόγησης των πειραματικών δεδομένων διαφαίνεται ότι η μείωση των βαθμών ελευθερίας και η μεγαλύτερη επιφάνεια στήριξης οδηγεί σε καλύτερο έλεγχο των κινήσεων του σώματος, ο οποίος έχει ως συνέπεια τον καλύτερο έλεγχο του βραχίονα που συμμετέχει στην κίνηση για το πιάσιμο και τον έλεγχο ενός αντικειμένου.

### Χειριστικές δεξιότητες και ισορροπία σε ενήλικα άτομα

Ο Gibson (1974) πρότεινε ότι οι κινήσεις ενός ατόμου εξαρτώνται από την ισορροπία του με αποτέλεσμα το σύστημα της κίνησης και της ισορροπίας είναι αλληλένδετα και αλληλοεπηρεαζόμενα. Επιπροσθέτως, ο Reed (1982) έδωσε έμφαση στο γεγονός ότι οι κινήσεις του σώματος μπορούν να χαρακτηριστούν ως το σύνολο των στάσεων και κινήσεων του σώματος, οι οποίες αλληλεπιδρούν με σκοπό να εξερευνηθούν όλες οι απαραίτητες πληροφορίες από το περιβάλλον προκειμένου να ολοκληρωθεί με επιτυχία μια κίνηση.

Όταν ένα άτομο κάνει λεπτές κινήσεις ελέγχου του σώματος, όπως για παράδειγμα στην ισορροπία και το πιάσιμο μιας μπάλας του τένις, τότε αυξάνουν οι βαθμοί ελευθερίας (π.χ., αρθρώσεις) που πρέπει να ελεγχθούν. Όταν ο βραχίονας κινείται γρήγορα, το σύστημα διατήρησης της ισορροπίας πρέπει να αντιδράσει, προκειμένου να αποφευχθεί μια μεγάλη ταλάντωση και να κρατηθεί το κέντρο βάρους του σώματος μέσα στην επιφάνεια στήριξης (Van der Fits, Klip, Van Eyken & Hadders-Algra, 1998). Ανάλογα με το επίπεδο που βρίσκεται η ικανότητα πιασίματος ενός αντικειμένου, τόσο οι απαιτήσεις για τη διατήρηση της ισορροπίας του σώματος όσο και ο έλεγχος του χεριού θα μπορούσαν να είναι, ως ένα βαθμό, περιοριστικός παράγοντας στην προσπάθεια ενός ατόμου να πιάσει το αντικείμενο. Έτσι, εάν η ταλάντωση του σώματος μεγαλώνει, δυσκολεύει και τον ακριβή προσδιορισμό της θέσης του χεριού που θα πραγματοποιήσει το πιάσιμο.

Της εκτέλεσης μιας βουλητικής κίνησης (όπως είναι η κίνηση των βραχιόνων από την όρθια στάση) προηγούνται μια σειρά από τροποποιήσεις της ισορροπίας του σώματος, οι οποίες αντικατοπτρίζονται στη συμμετοχή των μυών των ποδιών και του κορμού και συνδέονται άμεσα με τις επιταχύνσεις των διαφόρων μελών του σώματος (Bouisset, & Zattara, 1981; 1987a,b). Αυτές οι πρόδρομες ρυθμίσεις της ισορροπίας του σώματος (anticipatory postural adjustments) προπορεύονται των συγκεκριμένων κινήσεων και οργανώνονται πριν από την εκτέλεσή τους (Lee, Buchanan, & Rogers, 1987). Στόχος των ρυθμίσεων είναι να ελαχιστοποιήσουν την πιθανή διαταραχή της κίνησης που έπεται και να επιτρέψουν έτσι τη διατήρηση της ισορροπίας κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης της κίνησης. Οι προκαταρκτικές ρυθμίσεις της ισορροπίας του σώματος, που είναι δυναμικό φαινόμενο

της κίνησης, εξαρτώνται από τον τύπο της κίνησης καθώς και από τις διαφορετικές παραμέτρους της ισορροπίας. Για παράδειγμα, βρέθηκε ότι η διάρκεια των προκαταρκτικών ρυθμίσεων της ισορροπίας του σώματος ή το εύρος της κίνησης, το οποίο σχετίζεται με τις κινήσεις των άνω ή κάτω μελών του σώματος, αυξάνεται σε σχέση με την ταχύτητα της κίνησης (Béraud & Gahéry, 1995; Horak, Esselman, Anderson, & Lynch, 1984; Zattara & Bouisset, 1983), ή όταν μειώνεται η περίμετρος της βάσης στήριξης (Zattara & Bouisset, 1987), ή όταν η βάση στήριξης είναι ασταθής (Cordo & Nashner, 1982; Horak & Nashner, 1986). Για να εξηγηθούν αυτά τα αποτελέσματα, έχει προταθεί σε θεωρητικό επίπεδο ότι σε οποιαδήποτε κινητική δράση, η οποία προκαλεί κάποια διαταραχή στη διατήρηση της ισορροπίας, θα εκδηλωθεί και μια κίνηση αντίδρασης, η οποία θα επιτρέψει την ομαλή εκτέλεση της κίνησης. Κατά συνέπεια, η πρόδρομη ρύθμιση της ισορροπίας του σώματος συμβάλει στην ελαχιστοποίηση της αποσταθεροποίησης του σώματος και κατ' επέκταση στη διατήρηση της ισορροπίας (Bouisset, & Zattara, 1981). Μια άλλη ερμηνεία δίνουν οι Massion και Deat (1991) που υποστηρίζουν ότι αρθρώσεις του σώματος γίνονται πιο άκαμπτες έτσι ώστε το σώμα να είναι σχετικά πιο σταθερό και επομένως να χρησιμεύει ως σημείο αναφοράς για το χρονικό σημείο που ξεκινάει η κίνηση. Αυτή η άποψη αποδίδει σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της ισορροπίας του σώματος κατά τη διάρκεια μιας δραστηριότητας σε σχέση με την παραδοσιακή άποψη (Bouisset & Zattara, 1981), η οποία υποστηρίζει ότι η πρόδρομη ρύθμιση της ισορροπίας του σώματος αποτελεί μια αρχική αντίδραση για τη διατήρηση της κινητικής σταθερότητας του σώματος. Σύμφωνα με αυτήν την άποψη, η αντίδραση που προκύπτει κατά τη διάρκεια διατήρησης της ισορροπίας του σώματος είναι μέρος της κίνησης και όχι απλά μια προγραμματισμένη λεπτομέρεια στην αντίδραση αυτή. Κατά συνέπεια, η αντίδραση που προκύπτει κατά τη διάρκεια της διατήρησης της ισορροπίας του σώματος μπορεί να θεωρηθεί ως ένας καθοριστικός παράγοντας για την πρόβλεψη της ακρίβειας με την οποία εκτελείται η αντίδραση. Για να ερμηνευθεί αυτό το εύρημα έχει προταθεί ότι η πρόδρομη ρύθμιση της ισορροπίας του σώματος προκαλεί τη διατάραξη της ισορροπίας του, επειδή απαιτούνται κάποιες προπαρασκευαστικές κινήσεις (με την έναρξη της κίνησης) για τη ρύθμιση της ισορροπίας (Bouisset, 1991). Κατά συνέπεια, η απουσία ρύθμισης θα μπορούσε να αντικατασταθεί από μια προσαρμοστική ρύθμιση που θα εκπληγάζει από το κεντρικό νευρικό σύστημα και θα αφορά σε κινήσεις που εκτελέστηκαν σε καταστάσεις μειωμένης ισορροπίας όπως όταν είναι μικρή η βάση στήριξης των ποδιών (Aruin, Forrest, & Latash, 1998).

Ο Macpherson (1988) αξιολογώντας τα συμπεράσματα μελετών κατέληξε στην ίδια άποψη με τον Bernstein (1967), ο οποίος υποστήριξε ότι οι παράμετροι των κινητικών εκτελέσεων ελέγχονται με ένα σειριακό τρόπο (πάγωμα, απελευθέρωση και εκμετάλλευση των βαθμών ελευθερίας). Επιπλέον, οι Yang, Winter και Wells (1990) παρουσίασαν αποτελέσματα, που από κινηματική άποψη μπορούν να θεωρηθούν απλοί κανόνες, οι οποίοι καθορίζουν την

## Πίνακας 3. Χειριστικές δεξιότητες και ισορροπία σε ενήλικα άτομα

Συγγραφείς	Δείγμα	Συνοπτικά Αποτελέσματα	Εργαλεία
Béraud & Gahéry, 1995 Horak et al. 1984 Zattara & Buisset, 1983	Ενήλικες	Η διάρκεια των Προκαταρκτικών Ρυθμίσεων της Ισορροπίας -Π.Ρ.Ι. (Α.Ρ.Α.) που σχετίζεται με τις κινήσεις των άνω και κάτω άκρων αυξάνεται σε σχέση με την ταχύτητα της κίνησης	Γρήγορες κινήσεις άνω και κάτω άκρων
Zattara & Buisset, 1987	Ενήλικες	Στην διάρκεια των Προκαταρκτικών Ρυθμίσεων της Ισορροπίας -Π.Ρ.Ι. (Α.Ρ.Α.) που σχετίζεται με τις κινήσεις των άνω και κάτω άκρων μειώνεται η περιμετρος της βάσης στήριξης σε σχέση με την ταχύτητα της κίνησης	Γρήγορες κινήσεις άνω και κάτω άκρων
Cordo & Nashner, 1982 Horak & Nashner, 1986	Ενήλικες	Στην διάρκεια των Προκαταρκτικών Ρυθμίσεων της Ισορροπίας -Π.Ρ.Ι. (Α.Ρ.Α.) που σχετίζεται με τις κινήσεις των άνω και κάτω άκρων η βάση στήριξης παραμένει ασταθής σε σχέση με την ταχύτητα της κίνησης	Γρήγορες κινήσεις άνω και κάτω άκρων
Van der Fits et al. 1998	Ενήλικες	Στην γρήγορη κίνηση του βραχίονα, το σύστημα της ισορροπίας αντιδρά για να κρατήσει το κέντρο μάζας του σώματος μέσα στην επιφάνεια στήριξης	Γρήγορες κινήσεις του χεριού Ηλεκτρομυογράφημα Ορθια-καθιστή-καθιστή με τεντωμένα γόνατα -καθιστή με κλίση 450- Ανάσκελα
Bousset & Zattara, 1981 Bousset & Zattara, 1987a Bousset & Zattara, 1987b	Ενήλικες	Ελαχιστοποίηση της αποσταθεροποίησης του σώματος και κατ'έπείταση της ισορροπίας Σε γρήγορες κινήσεις του βραχίονα προηγούνται μια σειρά κινήσεων με συμμετοχή των μυών των ποδιών και του κορμού	Ηλεκτρομυογράφημα Γρήγορες κινήσεις του βραχίονα
Lee at al. 1987	Ενήλικες	Οι ρυθμίσεις της ισορροπίας του σώματος οργανώνονται πριν από την εκτέλεση της κίνησης (Π.Ρ.Ι.-Α.Ρ.Α.)	Μέτρηση της επιτάχυνσης του βραχίονα από την έκταση στην κάμψη
Massion & Deat, 1991	Ενήλικες	Στην διάρκεια των Προκαταρκτικών Ρυθμίσεων της Ισορροπίας οι αρθρώσεις του σώματος γίνονται πιο "άκαμπτες" και αυτό το σημείο χρησιμεύει ως αναφορά για τον χρόνο κατά το οποίο ξεκινά η κίνηση	Γρήγορες κινήσεις άνω και κάτω άκρων
Bouisset, 1991	Ενήλικες	Η προκαταρκτική ρύθμιση της ισορροπίας του σώματος (ΑΡΑ) προκαλεί την διατάραξη της ισορροπίας του επειδή αυτή είναι δυναμικό φαινόμενο	Ηλεκτρομυογράφημα Γρήγορες κινήσεις του βραχίονα
Aruin et al. 1998	Ενήλικες	Σε καταστάσεις όπως η μικρή βάση στήριξης των ποδιών η μη διατήρηση της ισορροπίας μπορεί να αντιπροσωπεύσει μια προσαρμοστική ρύθμιση από το κεντρικό νευρικό σύστημα	Ηλεκτρομυογράφημα
Macpherson, 1988	Ενήλικες	Οι παράμετροι των κινητικών δεξιοτήτων ελέγχονται ιεραρχικά και η άποψη αυτή υπάρχει συμφωνία με το πλαίσιο που διατύπωσε ο Bernstein (1967)	Ηλεκτρομυογράφημα
Yang et al. 1990	Ενήλικες	Διατύπωση κανόνων, οι οποίοι μειώνουν τον αριθμό των πιθανών λύσεων για την εκτέλεση μιας κίνησης με τρόπο που να απλοποιούνται οι διαδικασίες ελέγχου σύμφωνα με το πλαίσιο του Bernstein (1967)	Δυναμοδάπεδο
Gibson, 1974	Ενήλικες	Οι κινήσεις ενός ατόμου και η διατήρηση της ισορροπίας είναι αλληλένδετες και αλληλοεπηρεαζόμενες	Κινήσεις άνω και κάτω άκρων
Reed, 1982	Ενήλικες	Οι στάσεις και οι κινήσεις του σώματος αλληλεπιδρούν με σκοπό την εύρεση των απαραίτητων πληροφοριών από το περιβάλλον για την ολοκλήρωση της κίνησης.	Κινήσεις άνω και κάτω άκρων

εκτέλεση των κινητικών προτύπων. Οι συγκεκριμένοι κανόνες μειώνουν τον αριθμό των πιθανών λύσεων για την εκτέλεση μιας κίνησης, περιορίζοντας το άτομο με τέτοιο

τρόπο ώστε να απλοποιούν τη διαδικασία ελέγχου μιας κίνησης. Αυτοί οι κανόνες συμβαδίζουν με τις διατυπώσεις του Bernstein (1967) σχετικά με τον σειριακό τρόπο ελέγχου

των κινήσεων.

Συμπερασματικά, στις έρευνες σε δείγματα ενηλίκων διαπιστώνεται ότι το σύστημα διατήρησης της ισορροπίας αντιδρά άμεσα προκειμένου να αποφευχθεί κάποια μεγάλη ταλάντωση και να κρατηθεί το κέντρο βάρους του σώματος μέσα στην επιφάνεια στήριξης και έτσι να διατηρηθεί η ισορροπία του σώματος. Όταν κάποιος προσπαθεί να πιάσει ένα αντικείμενο απαιτείται ο ταυτόχρονος έλεγχος τόσο της ισορροπίας όσο και ο έλεγχος κίνησης του χεριού ή των χεριών που συμμετέχουν στην κίνηση. Διαφαίνεται ότι το σύστημα της διατήρησης της ισορροπίας του σώματος και το σύστημα ελέγχου της κίνησης των άνω άκρων είναι αλληλένδετα και αλληλεπιδρούν.

## Σύνοψη

Στην κριτική ανάλυση των βιβλιογραφικών δεδομένων που προηγήθηκε έγινε προσπάθεια να δοθούν απαντήσεις στα ερωτήματα πώς αναπτύσσεται η ισορροπία και η στάση του σώματος καθώς και πώς αυτές οι ικανότητες επηρεάζουν την απόδοση του πιασίματος ενός αντικείμενου από την νηπιακή ηλικία ως την ενηλικίωση του ατόμου. Από τα δεδομένα των μελετών γίνεται κατανοητό ότι ο έλεγχος του χεριού εξαρτάται από τον έλεγχο της ισορροπίας του σώματος. Επίσης προέκυψε ότι είναι συνάρτηση της ισχυρής σύζευξης του περιβάλλοντος με τις διαθέσιμες πληροφορίες, καθώς και τον ταυτόχρονο έλεγχο των βαθμών ελευθερίας κατά τη διάρκεια της κίνησης.

Η συνολική εκτίμηση και αξιολόγηση των ευρημάτων δείχνει ότι: α) Ο έλεγχος της στάσης και της ισορροπίας του σώματος γίνεται σημαντικότερος σε κινήσεις που απαιτούν λεπτό χειρισμό και ο οποίος αναπτύσσεται προς το τέλος του πρώτου έτους των νηπίων. β) Η μείωση των βαθμών ελευθερίας του σώματος, οδηγεί σε καλύτερο έλεγχο των κινήσεων του σώματος που στη συνέχεια οδηγεί στον καλύτερο έλεγχο του χεριού που συμμετέχει στην κίνηση για το πιάσιμο και τον έλεγχο ενός αντικείμενου από το πρώτο έτος των νηπίων ως την ηλικία των δέκα ετών. γ) Από την ηλικία των δέκα ετών έως την ενηλικίωση εμφανίζεται όμοια συμπεριφορά στον έλεγχο της στάσης του σώματος και της ισορροπίας κατά τη διάρκεια κινήσεων που απαιτούν λεπτό χειρισμό. δ) Στους ενήλικες, το σύστημα της διατήρησης της ισορροπίας αντιδρά άμεσα προκειμένου να αποφευχθούν μεγάλες ταλαντώσεις ώστε να κρατηθεί το κέντρο βάρους του σώματος μέσα στην επιφάνεια στήριξης και, επομένως, να διατηρηθεί η ισορροπία του σώματος.

Τα ευρήματα αυτά υποστηρίζουν σημαντικές θέσεις της θεωρίας του Bernstein (1967), σύμφωνα με την οποία η ανάπτυξη του συντονισμού της κίνησης μπορεί να προκύψει από τους διαφορετικούς περιορισμούς που επιβάλλονται στο σύστημα οργανισμός-περιβάλλον, ενώ αναδεικνύονται σημαντικά πλεονεκτήματα από την εφαρμογή της θεωρίας στη μελέτη της ανθρώπινης κίνησης.

Σε πρακτικό επίπεδο οι θεωρίες που παρουσιάστηκαν σε αυτή τη βιβλιογραφική ανασκόπηση θα μπορούσαν να αποτελέσουν χρήσιμα εργαλεία για εισαγωγή διδακτικών παρεμβάσεων στην αποτελεσματική εκμάθηση μιας δεξιότητας. Επισημαίνεται ότι στα αρχικά στάδια εκμάθη-

σης μιας δεξιότητας, οι 'βαθμοί ελευθερίας' της κίνησης θα μπορούσαν να είναι περιορισμένοι. Σε μετέπειτα στάδια εκμάθησης ακολουθεί η απελευθέρωση των 'βαθμών ελευθερίας' και η εκμετάλλευσή τους για την απόκτηση της δεξιότητας. Για παράδειγμα, στην εκμάθηση της κίνησης σλάλομ στην χιονοδρομία στο αρχικό στάδιο της κίνησης μπορεί να εφαρμοστεί το πάγωμα των βαθμών ελευθερίας των κάτω άκρων και στα μεταγενέστερα στάδια να γίνει η απελευθέρωση των βαθμών ελευθερίας και η ενσωμάτωσή τους σε ένα δυναμικό ελέγξιμο σύστημα (Vereijken, van Emmerik, Whiting, & Newell, 1992). Με άλλα λόγια, στα πρώτα στάδια της εκμάθησης οι γωνίες που σχηματίζουν οι αρθρώσεις των κάτω άκρων και του κορμού είναι μικρές (πάγωμα των βαθμών ελευθερίας) και συμμετέχουν περισσότερες αρθρώσεις (απελευθέρωση των βαθμών ελευθερίας). Με την εξάσκηση, η κίνηση των κάτω άκρων και του κορμού αυξάνεται σε όλες τις αρθρώσεις (απελευθέρωση των βαθμών ελευθερίας), ενώ οι κινήσεις των αρθρώσεων μειώνονται (πάγωμα των βαθμών ελευθερίας). Έτσι επιτυγχάνεται ο έλεγχος και στα δύο επίπεδα (κάτω άκρα και κορμός του σώματος) του συστήματος ελέγχου της κίνησης.

Ένα άλλο παράδειγμα είναι η εκμάθηση του backhand στην επιτραπέζια αντισφαίριση. Στην εκμάθηση αυτής της κίνησης ο προπονητής μπορεί να ζητήσει από τον αρχάριο να ξεκινήσει με ένα απλό χτύπημα, χωρίς ανάποδο φάλτσο (backspin). Για να το κάνει αυτό, θα πρέπει να ελέγξει τους βαθμούς ελευθερίας του καρπού (πάγωμα των βαθμών ελευθερίας) με την σταθεροποίηση της άρθρωσης του καρπού. Στη συνέχεια ο προπονητής μπορεί να ζητήσει από το άτομο να βάλει ανάποδο φάλτσο (backspin) στην μπάλα ή να προσπαθήσει να πετύχει ένα στόχο ο οποίος μπορεί να επιτευχθεί μόνο αν προστεθεί στην κίνηση το ανάποδο φάλτσο. Για να γίνει αυτό θα πρέπει το άτομο να χτυπήσει με τέτοιο τρόπο την μπάλα, έτσι ώστε να απελευθερώσει τους βαθμούς ελευθερίας του καρπού και να τοποθετήσει την ρακέτα κάτω από την μπάλα.

## Μελλοντική έρευνα

Ερευνητικό ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η μελέτη της οργάνωσης των βαθμών ελευθερίας σε κινήσεις, οι οποίες απαιτούν την ρύθμιση της ισορροπίας του σώματος και το πιάσιμο μιας μπάλας, η οποία θα εκτελούνται με διαφορετικές ταχύτητες. Οι περισσότεροι βαθμοί ελευθερίας (με την προσθήκη διαφορετικών ταχυτήτων) θα μπορούσαν να μας δώσουν πληροφορίες για το πώς λειτουργούν οι βαθμοί ελευθερίας κάτω από αυτές τις συνθήκες. Επίσης, σε αθλητικό περιβάλλον, για την εκμάθηση της ντρίπλας στην καλαθοσφαίριση τόσο με το δεξί όσο και με το αριστερό χέρι, η εκμάθηση πάσας στο ποδόσφαιρο τόσο με το δεξί όσο και με το αριστερό πόδι, ή στην ενόργανη γυμναστική θα μπορούσαν να μελετηθούν κινήσεις οι οποίες θα συνάδουν με την ιδέα των βαθμών ελευθερίας. Παράλληλα θα μπορούσε να μελετηθεί πως οργανώνονται οι βαθμοί ελευθερίας όταν το σύστημα της ισορροπίας μεταβάλλεται (κινήσεις οι οποίες απαιτούν την μετατόπιση του κέντρο βάρους του σώματος από το κέντρο ισορροπίας, ή ο περιορισμός της όρασης).



## Βιβλιογραφία

- ANGELAKOPOULOS GT, DAVIDS K, BENNETT SJ, TSORBATZOUZDIS H & GROUIOS G. Postural stability and hand preference as constraints on one-handed catching performance in children. *Journal of Motor Behavior* 37: 377-385, 2005.
- ARUIN AS, FORREST WR & LATASH ML. Anticipatory postural adjustments in conditions of postural instability. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 109: 350-359, 1998.
- BÉRAUD P & GAHÉRY Y. Relationships between the force of voluntary leg movements and the associated postural adjustments. *Neuroscience Letters* 194: 170-177, 1995.
- BERNSTEIN NA. *The coordination and regulation of movement*. Oxford: Pergamon Press, 1967.
- BOUISSET S & ZATTARA M. A sequence of postural movements precedes voluntary movement. *Neuroscience Letters* 22: 263-270, 1981.
- BOUISSET S & ZATTARA M. Biomechanical study of the programming of anticipatory postural adjustments associated with voluntary movement. *Journal of Biomechanics* 20: 735-742, 1987a.
- BOUISSET S & ZATTARA M. Postural muscular activities and intentional movements. *Medical Sport Science* 26: 163-173, 1987b.
- BOUISSET S. Relation entre support postural et mouvement intentionnel: Approche biomécanique. *Archives Internationales de Physiologie, de Biochimie et de Biophysique* 99: A77-A92, 1991.
- BRONFENBRENNER U & MORRIS P. Die oekologie des entwicklungsprozesses. In: A Lange & W Lauterbach (Eds), *Kinder in familie und gesellschaft zu begin des 21 jahrhunderts* (pp. 29-59). Stuttgart, 2000.
- CORDO PJ & NASHNER LM. Properties of postural movements related to a voluntary movement. *Journal of Neurophysiology* 47: 287-303, 1982.
- DAVIDS K, BENNETT S, KINGSBURY D, JOLLEY L & BRAIN T. Effects of postural constraints on children's catching behavior. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 71: 69-73, 2000.
- FORSSBERG H & NASHNER LM. Ontogenetic development of postural control in man: adaptation to altered support and visual conditions during stance. *Journal of Neuroscience* 2: 545-552, 1982.
- GIBSON JJ. Notes on action. In: E Reed & R Jones (Eds), *Reasons for realism: Selected essays of James J. Gibson* (pp. 385-392). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates 1974.
- GIBSON JJ. *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton Mifflin, 1979.
- GRENIER A. La "motricité libérée" par fixation manuelle de la nuque au cours des premières semaines de la vie ["Liberated motricity" by manual fixation of the neck in the course of the first weeks of life]. *Archives Française de Pédiatrie* 38: 557-561, 1981.
- HAY L & REDON C. Development of postural adaptations to arm raising. *Experimental Brain Research* 139: 224-232, 2001.
- HORAK FB, ESSELMAN PE, ANDERSON ME & LYNCH M. The effects of movement velocity, mass displaced and task certainty on associated postural adjustments made by normal and hemiplegic individuals. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry* 47: 1020-1028, 1984.
- HORAK FB & NASHNER LM. Central programming of postural movements: adaptation to altered support-surface configurations. *Journal of Neurophysiology* 55: 1369-1381, 1986.
- KUGLER PN, KELSO JAS & TURVEY MT. (1982). On coordination and control in naturally developing systems. In: JAS Kelso & JE Clark (Eds), *The development of movement coordination and control* (pp. 5-78). London, UK: Wiley.
- LAWRENCE DG & HOPKINS DA. The development of the motor control of the rhesus monkey. Evidence concerning the role of the corticomotoneuronal connections. *Brain* 99: 235-254, 1976.
- LEE WA, BUCHANAN TS & ROGERS MW. Effects of arm acceleration and behavioral conditions on the organization of postural adjustments during arm flexion. *Experimental Brain Research* 66: 257-270, 1987.
- MASSION J & DEAT A. Two modes of coordination between movement and posture. In: J Requin & G Stelmach (Eds), *Tutorials in motor neuroscience* (pp. 199-208). Dordrecht: Kluwer, 1991.
- MACPHERSON JM. Strategies that simplify the control of quadrupedal stance. II. Electromyographic activity. *Journal of Neurophysiology* 60: 218-231, 1988.
- NEWELL KM. Constraints on the development of co-ordination. In: MG Wade & HTA Whiting (Eds), *Motor development in children: Aspects of coordination and control* (pp. 341-360). Dordrecht: Nijhoff, 1986.
- REED ES. An outline of a theory of action systems. *Journal of Motor Behavior* 14: 98-134, 1982.
- ROCHAT P. Self-sitting and reaching in 5- to 8-month-old infants: The impact of posture and its development on early eye and coordination. *Journal of Motor Behavior* 24: 210-220, 1992.
- ROCHAT P & GOUBET N. Development of sitting and reaching in 5- to 6-month-old infants. *Infant Behavior & Development* 18: 53-68, 1995.
- SALKIND N. *An introduction to theories of human development*. Thousand Oaks: Sage, 2004.
- SAVELSBERGH GJP, BENNETT SJ, ANGELAKOPOULOS GT & DAVIDS K. Perceptual-motor organization of children's catching behaviour under different postural constraints. *Neuroscience Letters* 373: 153-158, 2005.
- SHUMWAY-COOK A, & WOOLLACOTT MH. The growth of stability: Postural control from a developmental perspective. *Journal of Motor Behavior*, 17: 131-147, 1985.
- VAN DER FITS IB & HADDERS-ALGRA M. The development of postural response patterns during reaching in healthy infants. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 22: 521-526, 1998.
- VAN DER FITS IB, KLIP AW, VAN EYKERN LA & HADDERS-ALGRA M. Postural adjustments accompanying fast pointing movements in standing, sitting and lying adults. *Experimental Brain Research* 120, 202-216, 1998.
- VEREIJKEN B, VAN EMMERIK RE, WHITING HTA & NEWELL KM. Free(z)ing degrees of freedom in skill acquisition. *Journal of Motor Behavior* 24: 133-142, 1992.
- VON HOFSTEN C. Catching skills in infancy. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance* 9: 75-85, 1983.
- VON HOFSTEN C & WOOLLACOTT MH. Anticipatory postural adjustments during infant reaching. *Neuroscience Abstracts* 15: 1199, 1989.
- WOOLLACOTT M, SHUMWAY-COOK A & WILLIAMS HG. *Development of posture and gait across the life span*. University of South Carolina Press, 1990.
- YANG JF, WINTER DA & WELLS RP. Postural dynamics in the standing human. *Biological Cybernetics* 62: 309-320, 1990.
- ZATTARA M & BOUISSET S. Influence de la vitesse d'exécution du mouvement volontaire sur les accelerations locales anticipatrices. *Résumé Descommunications* 8: 113-114, 1983.
- ZATTARA M & BOUISSET S. Posturo-kinetic organization during upper limb movement performed from varied foot positions. *Neuroscience Letters* 22: 1969, 1987.