

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Η Ωρίμανση της Βάδισης και ο Έλεγχος της Ισορροπίας σύμφωνα με το Οντογενετικό Μοντέλο

Ειρήνη Λιάπη¹, Α. Γεωργιάδου², Ν. Υφαντής¹

¹ Φυσιοθεραπευτής NDT

² Φυσιοθεραπεύτρια NDT, Καθηγήτρια Εφαρμογών, Τμήμα Φυσιοθεραπείας, ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης

Επικοινωνία: Ειρήνη Λιάπη, Κασσάνδρου 45, Κατερίνη 60100
email: menir@otenet.gr

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύμφωνα με τον Byers (1941) όλα τα νευρικά κύτταρα είναι παρόντα στις 7,5 εβδομάδες κύησης. Αν αυτή η πληροφορία είναι σωστή το ότι αργεί η βάδιση δεν οφείλεται σε ελλιπή νευρωνική ανάπτυξη. Το βάρος του εγκεφάλου του νεογνού είναι το 25% αυτό ενός ενήλικου εγκεφάλου, και ο τετραπλασιασμός του εγκεφάλου μετά οφείλεται σε εναποθέσεις μυελίνης, δονδριτικών διαδικασιών και σε μεγάλη αύξηση των αγγειακών ιστών (Rabinowitz 1964).

Η αύξησή του λοιπόν θα προέλθει από την αύξηση του μεγέθους των νευρικών κυττάρων και του πολλαπλασιασμού τους. Οι διαδικασίες ανάπτυξης δονδριτών των φλοιωδών νευρώνων ξεκινούν λίγους μήνες μετά τη γέννηση, ενώ είναι ακόμη ατελείς και ανώριμοι στον εγκέφαλο του νεογέννητου. Κατά τη διάρκεια του πρώτου έτους της μετεμβρυϊκής ζωής αυτές οι διαδικασίες αναπτύσσονται με σκοπό τη δημιουργία συνδέσεων με άλλους νευρώνες.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το τελικό κινητικό πρότυπο της βάδισης του ενήλικα είναι αποτέλεσμα συγκεκριμένων αναπτυξιακών διεργασιών σε διάφορα στάδια. Μέσω των σταδίων αυτών το πρότυπο ωριμάζει και επιτυγχάνεται ο έλεγχος της ισορροπίας.

Οι Assaiante & Amblard προτείνουν ένα οντογενετικό μοντέλο ερμηνείας για τις διεργασίες της ισορροπίας στα παιδιά κι αργότερα στον ενήλικα. Στο μοντέλο τους οι ερευνητές υποθέτουν ότι οι δύο κύριοι τρόποι ελέγχου της ισορροπίας (ανιούσα και κατιούσα προσωρινή οργάνωση) λειτουργούν ταυτόχρονα και σχετίζονται και με τους δύο τρόπους σύνδεσης του σώματος (“**en bloc**”- καθήλωσης και “**articulated**”- αρθρωτός) κατά τη διάρκεια 4 διαδοχικών περιόδων της πορείας της οντογένεσης.

Είναι σημαντικό ότι το προτεινόμενο αυτό οντογενετικό μοντέλο μπορεί να συνδυαστεί με τη νευροβιολογική προοπτική. Στην κινητική ανάπτυξη οι δύο κατευθύνσεις ωρίμανσης (κεφαλοουριαία ή ουριαοκεφαλικά) λειτουργούν εναλλακτικά κατά τη διάρκεια της ζωής.

Στους σκοπούς της ανασκόπησης δεν συγκαταλέγεται η επίδραση της αισθητικής πληροφορίας για τον έλεγχο της ισορροπίας και την κίνηση, αλλά η απόδοσή τους με βάση την ανάπτυξη ενός σχηματικού μοντέλου ανάπτυξης.

Λέξεις κλειδιά: πρότυπο βάδισης, νεογνικά αντανακλαστικά, έλεγχος ισορροπίας, ωρίμανση.

The Maturation of Gait and the Control of Balance according to the Ontogenetic Model

ABSTRACT

Walking like normal adults do, presupposes intervening developmental stages. Through these stages the gait pattern matures and balance control is achieved.

Assaiante & Amblard suggest an ontogenetic model of balance control in children and adults. In their model the researchers hypothesize that the two main modes of balance control (ascending and descending temporal organization) operate alternately and are associated with either of two modes of body joint linkage (“**en bloc**” and **articulated**) during four successive periods in the course of ontogenesis.

It is worth noting that the proposed ontogenetic model can be related to a neurobiological perspective. In motor development, two maturational gradients (cephalocaudal or caudocephalic) operate alternatively during the life span.

The sensory contribution to balance control and movement is not included in this review, and the way they process result from a schematic model of development.

Key words: gait pattern, primitive reflexes, balance control, maturation.

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

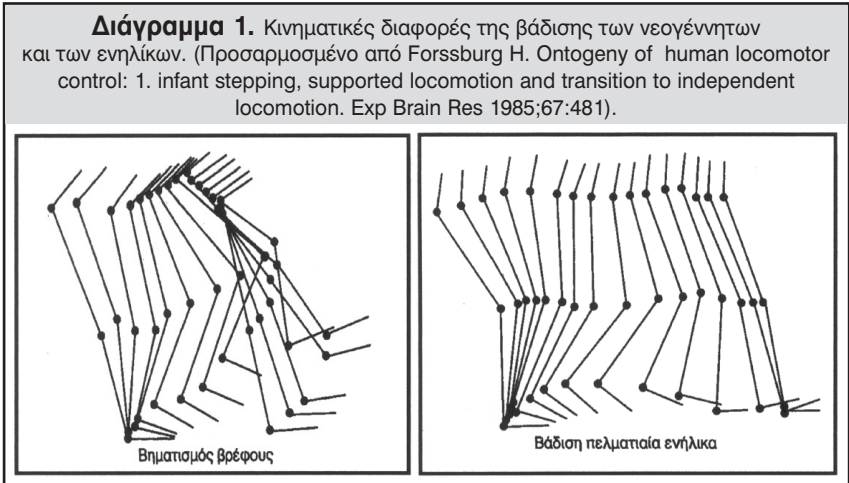
Στην ηλικία των 6 μηνών, καθώς το βρέφος αποκτά πιο φλοιώδη έλεγχο των δραστηριοτήτων του, ο μετωπιαίος και ο κροταφικός λοβός ωριμάζουν περισσότερο. Τα περισσότερα τμήματα της σπονδυλικής στήλης είναι μυελωμένα και το οπτικό νεύρο είναι πλήρως μυελωμένο. Η ανωριμότητα της παρεγκεφαλίδας σε αυτή τη φάση αποδεικνύεται από τον ελλιπή έλεγχο της σύλληψης (Dekeban 1970).

Η λειτουργία και η εμπειρία φαίνεται να παίζουν σημαντικό ρόλο στην μετεμβρυϊκή ωρίμανση των μηχανισμών (Bishop 1982). Έχει ανακαλυφθεί ότι στα γατάκια οι μετεμβρυϊκές αλλαγές στους σπονδυλικούς κινητικούς νευρώνες σχετίζονται με αλλαγές στη λειτουργία και στη συμπεριφορά (Huizar et al 1975). Επίσης, οι νευρώνες στον εγκεφαλικό φλοιό αναπτύσσουν δένδριτες καθώς ωριμάζουν και η ανάπτυξη αυτών των δομών υποδοχής στα πυραμιδικά κύτταρα επηρεάζεται από το περιβάλλον.

Κινήσεις εναλλαγής των κάτω άκρων, παρόμοιες με τις κινήσεις βάδισης που παρατηρούνται μετά τη γέννηση, αναπτύσσονται κατά την εμβρυϊκή ηλικία των 10-12 εβδομάδων κύησης (Fedrizzi, Avanzini, Crenna 1994) ή σύμφωνα με άλλους ερευνητές στις 16 εβδομάδες κύησης (Prechtl 1984, De Vries, Visser, Prechtl 1982).

Το νευρικό δίκτυο για το βηματισμό πρέπει να οργανώνεται στο επίπεδο του εγκεφαλικού στελέχους ή κάτω από αυτό (Reiper 1961).

Τα αποτελέσματα των ερευνών που έχουν γίνει τα τελευταία χρόνια έχουν δείξει ότι οι κεντρικοί γεννήτορες προτύπων (central pattern generators) μέσα στον νωτιαίο μυελό παίζουν σπουδαίο ρόλο



στην παραγωγή των κινήσεων της βάδισης (Grillner 1973, Smith 1980). (Με τον όρο κεντρικοί γεννήτορες προτύπων εννοούνται νευρωνικά δίκτυα στον νωτιαίο μυελό, τα οποία διαθέτουν τη δυνατότητα να παράγουν τα ερεθίσματα που είναι απαραίτητα για την εκτέλεση μιας επαναλαμβανόμενης κινητικής δραστηριότητας, π.χ. βάδιση, χωρίς καν την ύπαρξη ερεθισμάτων από ανώτερα εγκεφαλικά κέντρα).

Ένα από τα νεογνικά αντανακλαστικά, που εμφανίζει το βρέφος, είναι και η πρωτογενής βάδιση και η τοποθέτηση, αντανακλαστικά κινησιολογικά παρόμοια με τα κινητικά πρότυπα που χρησιμοποιούνται για τη βάδιση. Παρά τη μεγάλη σημασία της αξιολόγησης των νεογνικών αντανακλαστικών, όσον αφορά στην κινητική ανάπτυξη του παιδιού, δεν υπάρχει κοινή συμφωνία για τη σπουδαιότητά τους στην ανθρώπινη οντογένεση.

Η οντογένεση της ανθρώπινης κινητικής λειτουργίας είναι ο πυρήνας για την κατανόηση της κινητικής ανάπτυξης και των διαταραχών της (Smidt 1990).

Ο Zelazo et al. (1972) αναφέρουν ότι 8 λεπτά καθημερινή εξάσκηση του νεογνικού βηματισμού είχε ως

αποτέλεσμα όχι μόνο τη μη εξαφάνισή του, αλλά αύξηση της συχνότητας των βημάτων, από 12 βήματα ανά λεπτό σε 30 βήματα ανά λεπτό, καθώς και ποιοτικές αλλαγές αυτού (το εύρος της φάσης κάμψης του κύκλου βάδισης αυξήθηκε, καθώς και η συχνότητα και η ταχύτητα), υποστηρίζοντας ότι μπορεί να λάβει χώρα μάθηση (instrumental learning).

Σε μια έρευνα, που συμμετείχαν 156 βρέφη, βρέθηκε ότι το 98-99% αυτών χάνουν προσωρινά το πρότυπο αυτό βάδισης (Forssberg 1985). Σύμφωνα με την ιεραρχική θεωρία ερμηνείας του κινητικού ελέγχου ο βηματισμός των νεογέννητων θεωρείται ότι προέρχεται από ένα αντανακλαστικό βηματισμού, και η εξαφάνισή του θεωρείται ότι οφείλεται κυρίως σε αναστολή που καθορίζεται από πιο ώριμα, υψηλότερα νευρικά κέντρα.

Σύμφωνα με τη θεωρία των δυναμικών συστημάτων, η καταστολή αυτή λαμβάνει χώρα μάλλον λόγω εμβιομηχανικών αλλαγών, όπως μια αύξηση στο σχετικό βάρος του σώματος. Τα βρέφη προσθέτουν πολύ λίπος στους 2 πρώτους μήνες της ζωής και στη συνέχεια αδυνατίζουν αρκετά προς το τέλος του 1ου

χρόνου. Είναι δυνατόν να υποθέσουμε ότι το πρότυπο νεογνικής βάδισης εξαφανίζεται στο 2ο μήνα, επειδή τα βρέφη δεν έχουν αρκετή δύναμη να σηκώσουν το βαρύτερο πόδι στη διάρκεια του κύκλου βάδισης (Thelen, Ulrich, Jensen 1989). Ακόμη έχει παρατηρηθεί ότι όταν βυθίζονται στο νερό βρέφη 4 εβδομάδων, μέχρι τον κορμό τους κι επομένως γίνονται πιο ελαφριά, ο βηματισμός τους αυξάνει σε συχνότητα (Thelen, Fisher, Ridley-Johnson 1984). Αυτό αποδεικνύει ότι το βάρος τους είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει τον κύκλο βάδισης.

Η νεογνική βάδιση διαφέρει από τη μετέπειτα ώριμη βάδιση σε αρκετές παραμέτρους (Διάγραμμα 1).

Η νεογνική βάδιση φαίνεται να οδηγείται από μια διάταξη στην άρθρωση του ισχίου καθώς φέρεται το βρέφος προς τα εμπρός για να αρχίσει τη βάδιση (Thelen 1986). Η κάμψη του ισχίου είναι αξιοσημείωτα μεγάλη ενώ ενεργοποιούνται και οι ανταγωνιστές μύες (Forssberg 1980, 1985, 1986). Στα βρέφη απαιτείται εξωτερική υποστήριξη για να παραμείνουν όρθια. Τέλος η νεογνική βάδιση είναι μάλλον δακτυλοβάμουσα παρά πελματοβάμουσα.

Τα έμφυτα κινητικά πρότυπα διαφοροποιούνται κατά τη βρεφική ηλικία έτσι ώστε να διαμορφώσουν τις «σκαλωσιές» για την ανάπτυξη επιδέξιων κινήσεων.

Η διαδικασία της εξέλιξης των κινητικών ικανοτήτων από απλά αντανάκλαστικά σε επιδέξια κινητική συμπεριφορά ακόμα ερευνάται (Zelazo 1983, Zelazo 1988, Leonard 1988).

Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ

Η ανεξάρτητη κίνηση της βάδισης μπορεί αρχικά να φαίνεται μια απλή και αυτόματη επιδεξιότητα, αλλά είναι πραγματικά μια πολύ περίπλοκη κινητική αποστολή. Υπάρχουν 3 βασικές προϋποθέσεις για μια επιτυχημένη μετακίνηση:

I. Ένα βασικό κινητικό πρότυπο το οποίο μπορεί να οδηγήσει το σώμα στην επιθυμητή κατεύθυνση και το οποίο αναφέρεται ως προϋπόθεση προόδου-προώθησης,

II. Η ικανότητα να διατηρείται η σταθερότητα, συγκεκριμένα η δυνατότητα υποστήριξης του σώματος ενάντια στη βαρύτητα, η οποία αναφέρεται ως προϋπόθεση σταθερότητας, και

III. Η ικανότητα να προσαρμόζεται η βάδιση στους στόχους του ατόμου και στις απαιτήσεις του περιβάλλοντος, η οποία αναφέρεται ως προϋπόθεση προσαρμογής (Thelen, Ulrich 1991, Patla 1991).

Πολλά από τα στοιχεία που συνεισφέρουν στην ανεξάρτητη κίνηση είναι σε λειτουργία πριν ακόμα το παιδί κάνει αυτόνομα βήματα. Υπάρχει δραστηριοποίηση του εγγενούς προτύπου κίνησης, με περιορισμένη ικανότητα κατά τη γέννηση, η οποία βελτιώνεται στη διάρκεια του δεύτερου μισού του πρώτου χρόνου, καθώς οι σφιχτές ενδοσκελικές συνέργειες διαχωρίζονται και γίνονται ικανές για πιο σύνθετες ρυθμίσεις και έλεγχο.

Τα βρέφη, καθώς ωριμάζουν, αποκτούν την ικανότητα να χρησιμοποιούν την οπτική ροή πληροφοριών για να ρυθμίσουν τις κινήσεις της κεφαλής από τη γέννηση, και στον 5^ο-6^ο μήνα για να ρυθμίσουν τη θέση τους.

Το κίνητρο για να βρουν το δρόμο

τους προς ένα μακρινό αντικείμενο υπάρχει ξεκάθαρα κατά την έναρξη του μπουσουλήματος, κι ο εκούσιος έλεγχος στα άκρα υπάρχει αναμφισβήτητα σε αυτή την ηλικία και εκφράζεται σε πολλές συμπεριφορές (Thelen, Ulrich, Jensen 1989).

Παρόλα αυτά, η εμφάνιση της αυτόνομης βάδισης γίνεται τον 9^ο-12^ο μήνα, και μέχρι τα 7 περίπου χρόνια ωριμάζει το πρότυπό της, με αποτέλεσμα να μοιάζει το παιδικό πρότυπο βάδισης με αυτό του ενήλικα. Απαιτείται αυτό το χρονικό διάστημα, γιατί μάλλον απαιτούνται διαδικασίες τόσο ωρίμανσης του κινητικού συστήματος όσο και μάθησης (Sutherland, Olshen, Biden, Wyatt 1988).

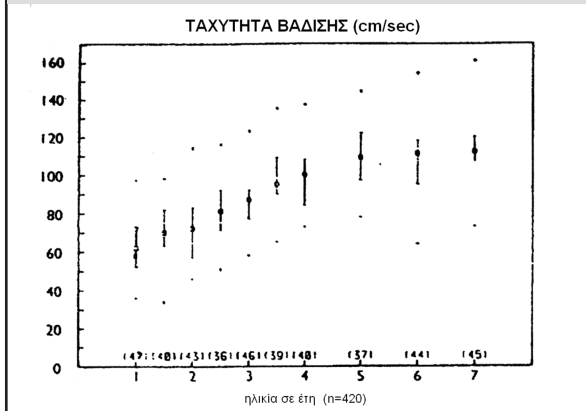
Στο τέλος του πρώτου χρόνου παρατηρούνται ουσιαστικές αλλαγές στην κινητική, γνωστική και γλωσσική ανάπτυξη (Zelazo 1982, Zelazo, Leonard 1983). Ο Zelazo υποστηρίζει ότι οι αλλαγές αυτές είναι συνάρτηση της θεμελιώδους τροποποίησης της ταχύτητας, με την οποία τα βρέφη μπορούν να κάνουν συνδέσεις και να ανακαλούν αποθηκευμένες πληροφορίες (Zelazo 1983, Zelazo, Weiss 1989). Η αλλαγή αυτή της ικανότητας επεξεργασίας της πληροφορίας είναι ιδιαίτερα σημαντική για την κινητική ανάπτυξη και επιτρέπει την ολοκλήρωση ικανοτήτων προσαρμογής του σώματος στο χώρο, των αντιληπτικών ικανοτήτων καθώς και των ικανοτήτων συντονισμού που θα δημιουργήσουν την προϋπόθεση της μετάβασης από το μπουσουλήμα στη βάδιση.

Κατά τον πρώτο χρόνο της ζωής το παιδί συνήθως κατακτά νέες, εκούσιες κινητικές δεξιότητες αργά, χρησιμοποιώντας περισσότερο τη διαδικασία της αισθητηριακής επα-

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

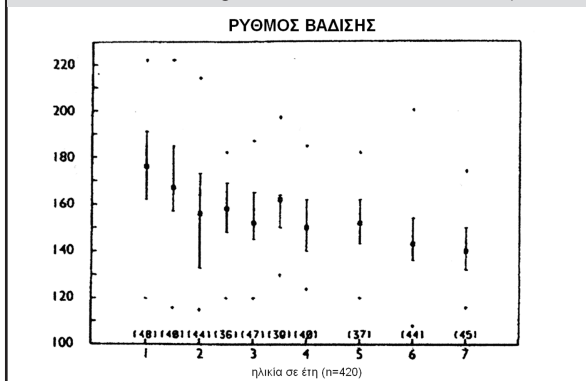
Διάγραμμα 2α.

Σύγκριση των μέσων τιμών για τις δυο δοκιμασίες πριν και μετά την εφαρμογή του προγράμματος ασκήσεων ενδυνάμωσης και ισορροπίας.



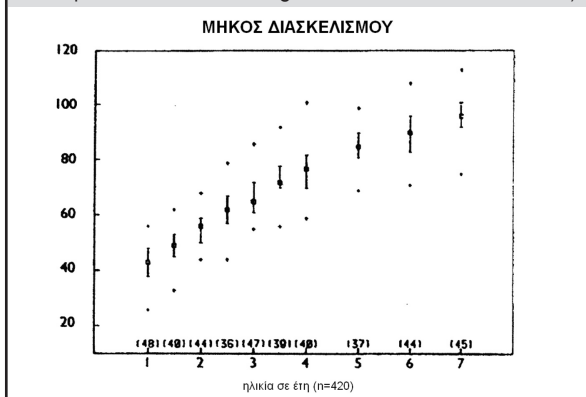
Διάγραμμα 2β.

Πώς διαμορφώνεται ο ρυθμός βάδισης σε δείγμα παιδιών N= 420, σε σχέση με την ηλικία. (David H. Sutherland, Richard A. Olshen, Edmund N. Biden, Marilyn P. Wyatt. The development of mature walking. London: Mac Keith Press 1988).



Διάγραμμα 2γ.

Πώς διαμορφώνεται το μήκος του διασκελισμού σε δείγμα παιδιών N= 420, σε σχέση με την ηλικία. (David H. Sutherland, Richard A. Olshen, Edmund N. Biden, Marilyn P. Wyatt. The development of mature walking. London: Mac Keith Press 1988).



νατροφοδότησης (ή μηχανισμό κλειστής βιοκινητικής αλυσίδας), συνθήκη κατά την οποία οι αισθητικές πληροφορίες δίνουν την έναρξη ή παίζουν καθοδηγητικό ρόλο στην ενέργεια των αρθρώσεων. Αυτός ο μηχανισμός χρησιμοποιείται για την έναρξη της απόκτησης μιας δεξιότητας, ιδίως εκείνων που απαιτούν σύνθετες και επιδέξιες κινήσεις. Με την εξάσκηση η δεξιότητα μπορεί να πραγματοποιηθεί χωρίς ιδιοδεκτική πληροφόρηση προσαρμοζόμενη με μεγαλύτερη επιτυχία στις επιταγές του περιβάλλοντος.

Το νεογέννητο τελειόμηνο μπορεί να εκτείνει τυχαία ένα ή και τα δύο κάτω άκρα. Με τυχαίες κινήσεις ξεκινάει η ανάπτυξη του κινητικού ελέγχου. Κατά την εξέλιξη του προτύπου βάδισης σαφώς αλλάζουν τα εύρη κίνησης των αρθρώσεων. Οι δυναμικές αλλαγές στην κάμψη και έκταση του ισχίου είναι μηδαμινές. Το εύρος κίνησης στον κύκλο βάδισης παιδιών 1-1,5 χρόνων είναι περίπου 90 μοίρες λιγότερο από τα παιδιά ηλικίας 2,5-7 ετών (Sutherland et al 1997).

Τα παιδιά ηλικίας 1-1,5 ετών εμφανίζουν μεγαλύτερη πρόσθια κλίση της λεκάνης που εξαφανίζεται στην ηλικία των 3 χρόνων. Το δυναμικό εύρος της κίνησης είναι βέβαια μικρό (3-6 μοίρες).

Μέχρι την ηλικία των 3 χρόνων υπάρχει μικρή ανύψωση της λεκάνης στην φάση στήριξης (ενέργεια των καμπτήρων του ισχίου). Τα παιδιά 3 χρόνων εμφανίζουν λιγότερη προσαγωγή του ισχίου κατά την φάση στήριξης (Sutherland et al 1997).

Το ενεργητικό εύρος στροφής της λεκάνης διαφοροποιείται πολύ λίγο από την ηλικία του 1 έτους έως των 7 ετών. Παρατηρείται μια τάση μείωσης του εύρους από την ηλικία των 3 ετών και μετά (Sutherland et al 1997).

Έχει αποδειχθεί ότι το μήκος των κάτω άκρων επηρεάζει την ταχύτητα, το ρυθμό και το μήκος του βήματος, κατά συνέπεια οι 3 αυτοί παράγοντες ωριμάζουν ταυτόχρονα με την ολοκλήρωση του μυοσκελετικού συστήματος. Η ταχύτητα αυξάνει ραγδαία με την ηλικία από 64 cm/s στην ηλικία του ενός έτους στα 99cm/s στα 4 χρόνια και στα 114 cm/s στα 7 (Διάγραμμα 2α).

Ο ρυθμός παιδιού ηλικίας 1 έτους που βαδίζει ανεξάρτητα μελετήθηκε και είναι 176 βήματα το λεπτό. Ο ρυθμός αυτός ελαττώνεται σημαντικά τα επόμενα 2,5-3 χρόνια (Διάγραμμα 2β).

Το μήκος του διασκελισμού αυξάνει σε μεγάλο βαθμό μέχρι την ηλικία των 4 χρόνων με αποτέλεσμα από 43cm στην ηλικία του ενός έτους να φτάνει στα 78 cm στη ηλικία των 4 ετών, και στη συνέχεια αυξάνεται πάλι αλλά με πιο ήπιο ρυθμό (στα 7 χρόνια φτάνει τα 97cm) (Διάγραμμα 2γ).

συνέχεια στη σελ. 41

Οι Bril και Breniere (1993) μελέτησαν την εμφάνιση του προτύπου της βάρδισης και υπέθεσαν ότι η εκμάθησή της είναι μια διαδικασία 2 σταδίων. Στην αρχική φάση τα νήπια μαθαίνουν να ελέγχουν την ισορροπία, ενώ στην δεύτερη φάση το πρότυπο κίνησης βαθμιαία γίνεται πιο αρμονικό.

Οι μεγαλύτερες αλλαγές συμβαίνουν στους πρώτους 4 μήνες αυτόνομης βάρδισης και φαίνεται να έχουν σχέση με την αρμονία στον έλεγχο της ισορροπίας, τότε που το παιδί μαθαίνει να ολοκληρώνει τη στασιική ισορροπία κατά τη διάρκεια της κίνησης. Κατά το πρώτο χρονικό διάστημα της αυτόνομης βάρδισης τα πρότυπα είναι ανώριμα. Η κίνηση από τη φάση της ώθησης στη φάση της στάσης απουσιάζει, ενώ τα άνω άκρα διατηρούνται σε κάμψη. Το παιδί φαίνεται να παράγει ώθηση για να πετύχει να κινήσει το σώμα προς τα εμπρός με κάμψη του κορμού. (Okamoto, Kumamoto 1972). Η φάση αιώρησης είναι σύντομη γιατί το παιδί αδυνατεί να ισορροπήσει στο ένα πόδι.

Το ποσοστό της μονοποδικής στήριξης κατά τη διάρκεια ενός κύκλου βάρδισης είναι μια χρήσιμη μέτρηση για την εκτίμηση της ωρίμανσης της βάρδισης. Μια φυσιολογικής διάρκειας μονοποδική στήριξη είναι ένδειξη σταθερότητας και παρέχει τον απαιτούμενο επαρκή χρόνο για τη φάση της αιώρησης. Το ποσοστό της μονοποδικής στήριξης είναι πολύ μικρό στα μικρά παιδιά και σταδιακά αυξάνει για να φτάσει τα επίπεδα του ενήλικα στην ηλικία των 3,5-4 χρόνων.

Συνήθη φυσιολογικά χαρακτηριστικά της βάρδισης στον πρώτο χρόνο είναι:

- 1) η υψηλή συχνότητα του βήματος
- 2) η απουσία αντίστροφων κινήσεων αιώρησης ανάμεσα στα άνω και κάτω άκρα

3) το γόνατο βρίσκεται σε κάμψη κατά την διάρκεια της φάσης στήριξης

4) υπάρχει αυξημένη κάμψη των ισχίων, κλίση της λεκάνης και απαγωγή των ισχίων κατά την διάρκεια της φάσης αιώρησης (εξαφανίζεται περίπου στον 2^ο χρόνο)

5) υπάρχει πελματιαία κάμψη της ποδοκνημικής κατά την επαφή της πτέρνας με το έδαφος και μείωση της κάμψης αυτής κατά τη διάρκεια της αιώρησης η οποία δίνει μια σχετική πτώση του ποδιού (εξαφανίζεται περίπου στο τέλος του 2^{ου} έτους) (Sutherland et al 1980).

Δεν υπάρχουν σημεία ωριμότητας ικανά να καθορίσουν εύκολα την ποιότητα της βάρδισης χωρίς να καταφύγει κάποιος σε εξελεγμένη ανάλυση βάρδισης. Η παρουσία:

της επαφής της πτέρνας
της μεταβολής της κάμψης
του γόνατος και
της αμοιβαίας αιώρησης
των άκρων

έχουν χρησιμοποιηθεί μερικές φορές ως κριτήριο ωριμότητας, αλλά επειδή όλοι αυτοί οι δείκτες εμφανίζονται πολύ νωρίς, έχουν περιορισμένη αξία (Sutherland et al., 1980). Η παρουσία τους δε σημαίνει απαραιτήτητα και ωρίμανση. Παρόλα αυτά επίμονη απουσία κάποιου απ' αυτά τα χαρακτηριστικά σε ένα παιδί 2 χρόνων ή μεγαλύτερο, μπορεί να είναι υψηλής σημασίας δείκτης μιας παθολογικής βάρδισης (Sutherland et al., 1988).

Δεν είναι εύκολο να καθοριστεί πότε ολοκληρώνονται οι αλλαγές στα κάτω άκρα και πότε ολοκληρώνεται η ωρίμανση του κεντρικού νευρικού συστήματος. Ο χρόνος του κύκλου βάρδισης, το μήκος διασκελισμού και η ταχύτητα βάρδισης συνεχίζουν να τροποποιούνται μέχρι την ηλικία των 15 ετών (Sutherland et al, 1997).

Πέντε βασικοί παράγοντες ώριμης

βάρδισης είναι:

1. η διάρκεια στήριξης στο ένα πόδι
2. η ταχύτητα βάρδισης
3. ο ρυθμός
4. το μήκος διασκελισμού
5. ο λόγος (το κλάσμα) της επιφάνειας της λεκάνης προς το εύρος του βήματος

Όλοι οι παράγοντες απαιτούν τη χρήση ειδικών τεχνικών μέτρησης.

Ο ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ

Ο έλεγχος της ισορροπίας απαιτείται τόσο κατά την στάση όσο και κατά τη μετακίνηση. Η συνθήκη διατήρησης της στασιικής ισορροπίας απαιτεί το κέντρο της μάζας σώματος να είναι εντός της βάσης στήριξης (Massion, 1984). Η διατήρηση της ισορροπίας κατά τη μετακίνηση είναι μια πιο πολύπλοκη δεξιότητα, αφού εμπλέκει την επίτευξη ενός «συμβιβασμού» μεταξύ της προς τα εμπρός προώθησης του σώματος, που είναι μια μεγάλη δύναμη αποσταθεροποίησης και την ανάγκη διατήρησης της σταθερότητας αυτού στο μετωπιαίο επίπεδο.

Γενικά στα δίποδα η δυσκολία διατήρησης της ισορροπίας κατά τη μετακίνηση ενισχύεται περαιτέρω από το γεγονός ότι το βάρος όλου του σώματος πρέπει να στηριχθεί στο ένα πόδι κατά τη διάρκεια της φάσης αιώρησης της βάρδισης. Αυτό είναι το πιο δύσκολο πρόβλημα που πρέπει να λύσουν τα παιδιά όταν μαθαίνουν να περπατούν (Thelen 1984, Keogh & Sugden 1985, Breniere et al 1989).

Υπάρχουν δύο βασικές λειτουργικές αρχές που έχουν άμεση σχέση με τις στρατηγικές που χρησιμοποιούνται από παιδιά και ενήλικες για τον έλεγχο της ισορροπίας. Η πρώτη αφορά την **επιλογή του πλαισίου αναφοράς**, πάνω στο οποίο βασίζεται ο έλεγχος της ισορροπίας. Ως τέτοιο πλαίσιο μπορεί να είναι είτε η στηρικτική επιφάνεια πάνω στην οποία στέκεται και κινείται το παιδί, είτε το διάνυσμα της βαρύτητας.

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Όταν το πλαίσιο αναφοράς είναι η επιφάνεια στήριξης, το παιδί χρησιμοποιεί κυρίως την ιδιοδεκτική και δερματική πληροφόρηση που μεταφέρεται από τα εκτελεστικά όργανα και προσωρινά οργανώνει την ισορροπία του από τα πόδια προς την κεφαλή (**ανιούσα οργάνωση**).

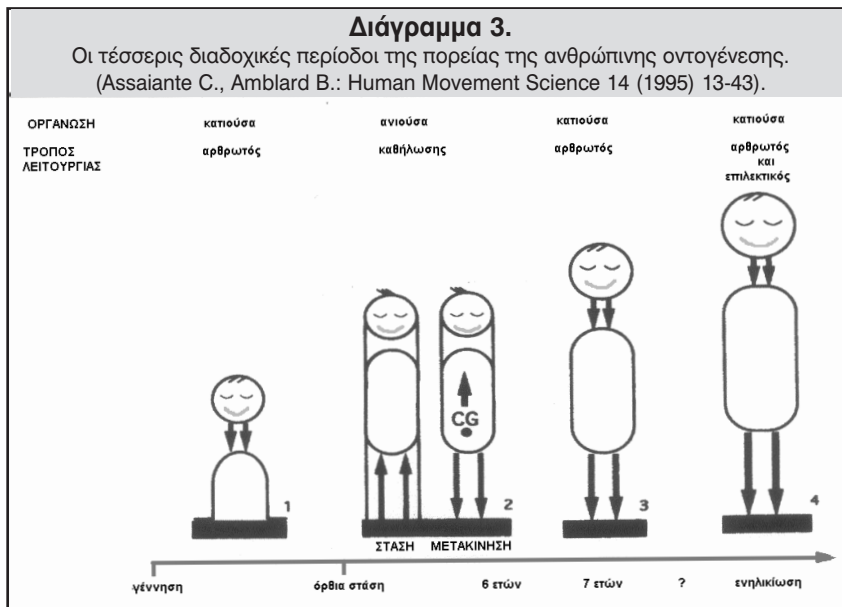
Όταν το πλαίσιο αναφοράς είναι το διάγραμμα της βαρύτητας, το παιδί χρησιμοποιεί τα δεδομένα από την κατακόρυφη έλξη της βαρύτητας για να σταθεροποιήσει είτε το ισχίο είτε την κεφαλή, οργανώνοντας προσωρινά τον έλεγχο της ισορροπίας από την κεφαλή προς τα πόδια (**κατιούσα οργάνωση**).

Παρόλα αυτά σε περιπτώσεις διαλείπουσας επαφής, όπως κατά τη λειτουργία της βάδισης είναι πιθανό και κάποιο άλλο ανατομικό τμήμα του σώματος να χρησιμοποιηθεί ως σημείο αναφοράς, όπως η λεκάνη ή το ισχίο.

Οι Assaiante και Amblard (1995) πιστεύουν ότι μια τέτοια σταθεροποίηση της λεκάνης ή του ισχίου, που βασίζεται στη βαρυντική πληροφόρηση, είναι δυνατή θεωρώντας ότι οι βαρεοϋποδοχείς (graviceptors) βρίσκονται στο επίπεδο του κάτω τμήματος του κορμού (Gurfinkel et al 1981, Massion 1984), ή στις αρθρώσεις που συμμετέχουν στη διατήρηση της στάσης (Dietz et al 1989).

Γίνονται υποθέσεις ότι αυτή η σταθεροποίηση του ισχίου συνδέεται με μία οργάνωση στασικού ελέγχου με κέντρο το ισχίο. Έχει αναπτυχθεί η άποψη ότι, καθώς σταθεροποιείται η κεφαλή στο χώρο, βασιζόμενη στην αιθουσαία πληροφόρηση (Roberts 1976), οργανώνεται προσωρινά η ισορροπία με δραστηριοποίηση προς τα κάτω, με φορά από την κεφαλή προς τα κάτω άκρα (κατιούσα οργάνωση). Μπορεί ακόμη να είναι και τα δύο τμήματα.

Η δεύτερη λειτουργική αρχή αφορά την **επιλογή των βαθμών ελευθερίας** των διαφόρων αρθρώσεων του σώματος που πρέπει να ελεγ-



χθούν ταυτόχρονα σε καταστάσεις δυναμικής ισορροπίας (Bernstein, 1967), κι ιδιαίτερα οι βαθμοί ελευθερίας των αρθρώσεων του αυχένα, σύμφωνα με τους περιορισμούς της δραστηριότητας και της κινητικής ικανότητας του παιδιού. Πολλές στασιοκινητικές δραστηριότητες όπως εμπλέκονται στον έλεγχο της σύνθετης μονάδας κεφαλής-κορμού, ώστε αξίζει να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση.

Η κεφαλή είναι το τμήμα που φέρει τους οπτικούς και αιθουσαίους υποδοχείς, οι οποίοι παίζουν σημαντικό ρόλο στον έλεγχο της στασικής ισορροπίας και της ισορροπίας κατά τη μετακίνηση. Ως ανταπόκριση σε μια κίνηση, που είναι πιθανόν να διαταράξει τη στασική ισορροπία, ή την ισορροπία κατά τη μετακίνηση, ο οργανισμός θα προβλέψει και θα γίνει η απαιτούμενη προσπάθεια να ελαχιστοποιηθούν οι κινήσεις της κεφαλής που προκαλούνται από τις ταλαντώσεις του κορμού έτσι, ώστε να βελτιωθεί η επεξεργασία της αισθητικής ανατροφοδότησης (feedback) από την κεφαλή, η οποία απαιτείται προκειμένου να διατηρηθεί η ισορροπία.

Ο συντονισμός μεταξύ της κεφαλής και του κορμού ελέγχεται στην

αυχενική μοίρα. Η περιοχή του αυχένα είναι πράγματι ένα πολυαρθρικό σύστημα που μπορεί να διαφοροποιήσει τον έλεγχο των στροφών της κεφαλής που συμβαίνουν στους τρεις βασικούς άξονες (de Waele et al 1988).

Αυτός ο έλεγχος μπορεί να γίνει σύμφωνα με έναν από τους παρακάτω τρόπους:

α) η κεφαλή είναι δυνατόν να σταθεροποιηθεί στον κορμό με την αυχενική μοίρα καθλωμένη, όπως στη «στρατηγική πρόσδεσης» («strap-down strategy») που προτάθηκε από τον Nashner (1985), ή όπως αλλιώς την αποκαλούν οι Assaiante & Amblard (1995) με «μαζική-συλλήβδην λειτουργία», «**en bloc operation**». Η στρατηγική αυτή ελαχιστοποιεί τους βαθμούς ελευθερίας που πρέπει να ελεγχθούν ταυτόχρονα κατά την κίνηση (Bernstein 1967). Αυτή η «en bloc» λειτουργία επιτρέπει πιο άμεσες και πιο ταχείες οπτικές και αιθουσαίες εισφορές στον έλεγχο της ισορροπίας.

β) η κεφαλή μπορεί να σταθεροποιηθεί στο χώρο, με την αυχενική μοίρα χαλαρή, όπως στην περίπτωση της «στρατηγικής σταθερής πλατφόρμας» («stable platform strategy») που προτάθηκε από τον Nashner

(1985). Αυτή τη διαδικασία οι Assaiante & Amblard (1995) την ονομάζουν «αρθρωτή λειτουργία» («**articulated** operation»). Αυτή η δεύτερη στρατηγική απαιτεί τον έλεγχο περισσότερων βαθμών ελευθερίας από τις αρθρώσεις του αυχένα και εμπλέκει και τον προσανατολισμό της κεφαλής και του κορμού ως μέσον ακριβούς ερμηνείας των οπτικών και αισουσαίων μηνυμάτων που σχετίζονται με τον έλεγχο της ισορροπίας (Lund & Broberg 1983).

ΟΝΤΟΓΕΝΕΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Έχοντας ως βάση τις δύο αυτές λειτουργικές αρχές, την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας και τις ίδιες τις πειραματικές τους μελέτες οι Assaiante & Amblard προτείνουν ένα οντογενετικό μοντέλο για την ερμηνεία της ανάπτυξης του ελέγχου της ισορροπίας στα παιδιά και στη συνέχεια στον ενήλικα. Σύμφωνα με το μοντέλο τους οι ερευνητές υποθέτουν ότι οι δύο κύριοι τρόποι ελέγχου της ισορροπίας (**ανιούσα** και **κατιούσα** προσωρινή οργάνωση) λειτουργούν ταυτόχρονα και έχουν άμεση σχέση με τους δύο τρόπους σύνδεσης του σώματος («**en bloc**» και «**αρθρωτός**») κατά τη διάρκεια 4 διαδοχικών περιόδων της πορείας της οντογένεσης (Διάγραμμα 3).

Είναι σημαντικό ότι το προτεινόμενο αυτό οντογενετικό μοντέλο μπορεί να συνδυαστεί με τη νευροβιολογική προοπτική. Στην κινητική ανάπτυξη οι δύο κατευθύνσεις ωρίμανσης (κεφαλοουριαία ή ουριαιοκεφαλικά) λειτουργούν με εναλλαγές κατά τη διάρκεια ζωής.

Πρώτη περίοδος: από τη γέννηση έως την κατάκτηση της όρθιας στάσης: *Μια κεφαλοουριαία πορεία*

Η πρώτη περίοδος καλύπτει αδρά τον πρώτο χρόνο ζωής, από τη γέννηση έως την κατάκτηση της όρθιας στάσης. Τα βρέφη εμφανίζουν σαφή

κεφαλοουριαία πορεία στην ανάπτυξη των στασιών τους αντιδράσεων, καθώς ο έλεγχος εμφανίζεται πρώτα στους μυς του αυχένα, στη συνέχεια σε αυτούς του κορμού και τέλος στα κάτω άκρα (Woollacott & Shumway-Cook 1990, Woollacott et al 1994).

Στα βρέφη ο έλεγχος της κεφαλής γενικά θεωρείται ότι αποτελεί την έναρξη της ανάπτυξης της ισορροπίας του σώματος. Αρχικά νωρίς στα βρέφη εκλύεται το αντανακλαστικό ανόρθωσης της κεφαλής ως αντίδραση σε αισουσαίο ερεθισμό (Jouen and Lerecq, 1990). Αυτή η βασική αντίδραση τείνει να διατηρεί την κατακόρυφη τοποθέτηση της κεφαλής άσχετα από τις αλλαγές της θέσης του σώματος.

Ως αντίδραση σε μετατόπιση προς τα εμπρός της επιφάνειας στήριξης τα βρέφη 5-6 μηνών προτιμούν να ενεργοποιούν αρχικά τους μυς του αυχένα τους κι ακολουθούν ο κορμός και τα κάτω άκρα, παράγοντας διαδοχικά σύσπαση, εκτελώντας μια επιστροφή από την κορυφή προς τα κάτω, που διαφέρει από την παραγωγή σύσπασης από κάτω προς τα πάνω που κάνουν οι ενήλικες είτε στην όρθια, είτε στην καθιστή θέση (Forssberg & Hirschfeld 1994), και τα μεγαλύτερα παιδιά όταν κάθονται.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ερευνών αυτών υποστηρίζουν ότι κατά το πρώτο έτος ζωής υπάρχει μια αρθρωτή λειτουργία της μονάδας κεφαλής-κορμού που συνδυάζεται με μια κατιούσα προσωρινή οργάνωση του στασικού ελέγχου. Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι αυτή η χρονολογικά κεφαλοουριαία εξέλιξη της ικανότητας ελέγχου ενός αυξανόμενου αριθμού τμημάτων του σώματος συμφωνεί με την κατιούσα διαδοχική σειρά του στασικού ελέγχου.

Με την κατάκτηση της όρθιας θέσης και της μετακίνησης τα βρέφη πρέπει να ελέγξουν όλο το σώμα ως

προς τη βαρύτητα. Άρα ο έλεγχος της ισορροπίας δεν είναι πια τμηματικός αλλά σφαιρικός. Χάρη σε αυτή τη θεμελιώδη αλλαγή, η κατάκτηση της διποδικής στήριξης μπορεί να θεωρηθεί ως ορόσημο στην ανάπτυξη του στασικού ελέγχου, υποδεικνύοντας τον δρόμο και ένα νέο τρόπο οργάνωσης της ισορροπίας κι οδηγώντας στην αρχή της δεύτερης περιόδου.

Δεύτερη περίοδος: Η κατάκτηση της όρθιας θέσης: *Ενάντια στη βαθμιαία κυριαρχία των περιορισμών της ισορροπίας*

Η δεύτερη περίοδος αρχίζει με την κατάκτηση της όρθιας στάσης και φτάνει ως την ηλικία των 6 ετών περίπου. Χαρακτηρίζεται από την κυριαρχία των εκτελεστικών οργάνων και την ανάπτυξη του συντονισμού μεταξύ των κάτω και άνω τμημάτων του σώματος.

Για να κατακτήσει το βρέφος την ικανότητα να στέκεται και να βαδίζει ανεξάρτητα, πρέπει να μάθει να συντονίζει τις κινήσεις δύο νέων αρθρώσεων, της ποδοκνημικής και του γόνατος ταυτόχρονα με το ισχίο και την κεφαλή. Το σώμα είναι λιγότερο σταθερό γιατί το κέντρο βάρους είναι ψηλότερα και η βάση στήριξης είναι μικρότερη από αυτή στις προηγούμενες θέσεις (κατάκλιση ή καθιστή). Στην πορεία τα βρέφη πρέπει να αναπτύξουν τη μυϊκή ισχύ στα κάτω άκρα και ταυτόχρονα πρέπει να μάθουν αφενός να ισορροπούν τις επιδράσεις των καμπτήρων και εκτεινόντων μυών, και αφετέρου να αυξήσουν τη δράση των εκτεινόντων (Thelen 1986).

Σύμφωνα με τον Forssberg (Forssberg, 1992) η έναρξη της αυτονομής βάδισης είναι πιθανώς το αποτέλεσμα της ωρίμανσης του συστήματος του στασικού ελέγχου, π.χ. της παρεγκεφαλίδας και του αισουσαίου συστήματος.

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Η ηλικία των 6 ετών φαίνεται να συνιστά ένα σημείο αλλαγής τόσο στο στατικό έλεγχο της ισορροπίας (Woollacott et al 1987), όσο και στον έλεγχο της ισορροπίας κατά τη μετακίνηση (Berger et al 1985, Assaiante et al 1988).

Στην περίπτωση της δεύτερης περιόδου ο έλεγχος της ισορροπίας, που δεν διαταράσσεται σε στατικές και δυναμικές καταστάσεις, πιθανώς οργανώνεται κατά ανιόντα τρόπο.

Τόσο η στατική, όσο και η δυναμική ισορροπία παρουσιάζουν συγκεκριμένα διακριτά χαρακτηριστικά. Η βάση στήριξης, πάνω στην οποία στέκεται το παιδί, αποτελεί το σταθερό πλαίσιο αναφοράς, βάσει του οποίου εκτιμάται ο έλεγχος της ισορροπίας. Σε αυτές τις συνθήκες γίνεται υποθέσεις ότι ο έλεγχος της ισορροπίας οργανώνεται από το πόδι προς την κεφαλή. Αντίθετα, στη μετακίνηση η επαφή του ποδιού με την επιφάνεια πάνω στην οποία βαδίζει το παιδί είναι διαλείπουσα, και δεν μπορεί να αποτελέσει ένα σταθερό πλαίσιο αναφοράς. Προκειμένου να ελεγχθεί το κέντρο βάρους, και να ελαχιστοποιηθεί η αποσταθεροποίηση του άνω μέρους του σώματος που προκαλείται από τις κινήσεις του κάτω άκρου, γίνεται η υπόθεση της αποδοχής της σταθεροποίησης στο επίπεδο του ισχίου. Αυτή η σταθεροποίηση του ισχίου μπορεί να αποτελεί το νέο πλαίσιο αναφοράς πάνω στο οποίο βασίζεται ο έλεγχος της ισορροπίας κατά τη μετακίνηση. Σε αυτές τις συνθήκες γίνεται η υπόθεση ότι ο έλεγχος της ισορροπίας οργανώνεται κατά ανιόντα τρόπο από το ισχίο προς την κεφαλή.

Αυτή η ανιούσα οργάνωση του ελέγχου της ισορροπίας, είτε από το ισχίο είτε από το άκρο πόδι προς την κεφαλή, είναι πιθανό να ανταποκρίνεται σε μια ανιούσα με την ηλικία εξέλιξη της ικανότητας άμεσου ελέγ-

χου αρκετών τμημάτων του σώματος κατά τη στάση ή τη μετακίνηση. Σύμφωνα με ερευνητικά δεδομένα σε δύσκολες συνθήκες ισορροπίας η απλούστερη στρατηγική κατά την περίοδο αυτή είναι πιθανό να είναι η καθήλωση της κεφαλής στον κορμό, με τον τρόπο λειτουργίας «en bloc» (Assaiante & Amblard, 1992a, 1993), προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί ο αριθμός των βαθμών ελευθερίας που θα πρέπει να ελεγχθούν ταυτόχρονα κατά την κίνηση (Bernstein 1967).

Τρίτη και τέταρτη περίοδος: σταθεροποίηση της κεφαλής στο χώρο, ένα βασικό μέσον της κατιούσας χρονικής οργάνωσης του ελέγχου της ισορροπίας

Η τρίτη περίοδος της ανάπτυξης συμβαίνει μεταξύ της ηλικίας των 7 ετών έως ένα ανώτερο όριο ηλικίας που είναι ακόμη άγνωστο. Χαρακτηρίζεται από μια επιστροφή σε έναν αρθρωτό τρόπο λειτουργίας της μονάδας κεφαλή-κορμός, κι έτσι μέσω της σταθεροποίησης της κεφαλής στο χώρο διασφαλίζεται η κατιούσα προσωρινή οργάνωση του ελέγχου της ισορροπίας.

Η τέταρτη περίοδος είναι αυτή των ενηλίκων. Συνδυάζει τα κύρια χαρακτηριστικά της τρίτης περιόδου (κατιούσα οργάνωση) με μια νέα δεξιότητα, που εμπλέκει έναν αρθρωτό τρόπο λειτουργίας της μονάδας κεφαλής-κορμού και έναν επιλεκτικό (selective) έλεγχο των βαθμών ελευθερίας στο επίπεδο του αυχένα, που πιθανώς εξαρτάται από τη δραστηριότητα (Assaiante & Amblard 1993).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Πολλά από τα στοιχεία που συνεισφέρουν στην ανεξάρτητη κίνηση είναι λειτουργικά πριν ακόμα το παιδί επιτύχει την αυτόνομη βάδιση. Παρόλα αυτά η εδραίωση της αυτόνομης βάδισης συντελείται τον 9ο-

12ο μήνα. Για να μεταλλαχθεί το πρότυπο βάδισης του βρέφους σε ένα ώριμο πρότυπο βάδισης του ενήλικα μεσολαβούν στάδια κατά τα οποία επιτυγχάνεται και ο έλεγχος της ισορροπίας.

Έχει αποδειχθεί ότι το μήκος των κάτω άκρων επηρεάζει τις χωροχρονικές παραμέτρους της βάδισης: ταχύτητα, ρυθμό και μήκος διασκελισμού. Κατά συνέπεια οι 3 αυτοί παράγοντες ωριμάζουν ταυτόχρονα με την ολοκλήρωση του μυοσκελετικού συστήματος.

Η διεργασία της ωρίμανσης που οδηγεί στην ανεξάρτητη ανθρώπινη βάδιση είναι πολύπλοκη. Η μάθηση, η τελειοποίηση φλοιϊκού ελέγχου και η αισθητηριακή ολοκλήρωση συμβαίνουν ταυτόχρονα, με αποτέλεσμα να καθίσταται ιδιαίτερα δύσκολο να αναγνωρισθεί ένα στοιχείο ως υπεύθυνο.

Για την κατανόηση της ανάπτυξης της βάδισης είναι απαραίτητο να γίνει διάκριση μεταξύ των απόλυτα βιομηχανικών παραγόντων και της ωριμότητας του ενεργητικού ελέγχου από το ΚΝΣ. Επίσης είναι απαραίτητο να γίνει ο καθορισμός του ποσοστού ή της διαδικασίας συμμετοχής τους στην αναπτυξιακή διεργασία. Σύμφωνα με τη θεωρία της οντογένεσης υφίσταται ένας συνεχής διάλογος μεταξύ του ΚΝΣ και των εξωτερικών παραγόντων.

Οι βιομηχανικοί περιορισμοί καθόλη τη διάρκεια της παιδικής ηλικίας εμπλέκονται συνέχεια στη διαδικασία της ωρίμανσης των προτύπων της βάδισης και ενσωματώνονται στις κινητικές εντολές.

Οι μηχανισμοί, βάσει των οποίων το ΚΝΣ διευθετεί την προσαρμογή των βιομηχανικών περιορισμών σε κάθε ηλικιακό στάδιο ανάπτυξης, είναι ήδη αντικείμενο επιστημονικής έρευνας, και σαφώς και στο μέλλον.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Assaiante C., Amblard B.: Human Movement Science 14 (1995) 13-43.
2. Assaiante, C.; Amblard, B., 1993. Ontogenesis of head stabilization in space during locomotion in children: Influence of visual cues. *Experimental Brain Research* 93, 499-515.
3. Assaiante, C.; Amblard, B.; 1992a. "Head - trunk coordination and locomotor equilibrium in 3 to 8 year old children". In: A. Berthoz, W. Graf and P.-P. Vidal (Eds.), *The head - neck sensory - motor system*. New York: Oxford University Press.
4. Assaiante, C.; Amblard, B.; Carblanc, A. Peripheral vision and dynamic equilibrium control in five to twelve year old children. In: Amblard, B.; Bertholz, A.; Clarac, F., eds. *Posture and gait: Development, adaptation and modulation*. Amsterdam, New York, Oxford: Elsevier; 1988: 75-83.
5. Berger, W., Quintern, J. and Dietz, V., Stance and gait perturbations in children: developmental aspects of compensatory mechanisms. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, 1985, 61, 385-395.
6. Bernstein, N., 1967. *The coordination and regulation of movements*. Oxford: Pergamon Press.
7. Breniere, Y., Bril and R. Fontaine, 1989. Analysis of the transition from upright stance to steady state locomotion in children with under 200 days of autonomous walking. *Journal Of Motor Behavior* 20 (2).
8. Bril B., Breniere Y. Posture and independent locomotion in childhood: learning to walk or learning dynamic postural control. In: Savelsbergh GJP, ed. *The development of coordination in infancy*. Amsterdam: North Holland, 1993, 337-358.
9. Byers, R.K. (1941) "Evolution of hemiplegias in infancy". *American Journal of Diseases of Children*, 61, 915-927.
10. David H. Sutherland, Richard A. Olshen, Edmund N. Biden, Marilyn P. Wyatt. *The development of mature walking*. London: Mac Keith Press 1988.
11. De Vries JIP, Visser GHA, Precht HFR. The emergence of fetal behavior. I. Qualitative aspects. *Early Human Dev* 1982; 7:301-322.
12. De Vries, J. I. P., Visser, G. H. A. & Precht, H.F.R. (1984): Fetal mobility in the first half of pregnancy. In: *Continuity of neural functions from prenatal to postnatal life, clinics in developmental medicine*, no. 94, ed. H.F.R. Precht, pp. 46-64. Philadelphia: SIMP, Blackwell Scientific Publications Ltd. J.B. Lippincott Co.
13. Dietz, V., G.A. Horstmann, M. Trippel and A. Gollhofer, 1989. Human postural reflexes and gravity- An under water simulation. *Neuroscience Letters* 106, 350-355.
14. Fedrizz E., G. Avanzini, P. Crenna 1994 *Motor Development in Children*. London :John Libbey & Company Ltd.
15. Forssberg H. 1985 Ontogeny of human locomotor control: I. Infant stepping, supported locomotion and transition to independent locomotion. *Exp Brain Res*;67:480-493.
16. Forssberg H., Wallberg H. 1980 Infant locomotion: A preliminary movement and electromyographic study. p.32 . In Berg K., Eriksson B. (eds): *Children and exercise*. Vol. IX University Park Press, Baltimore.
17. Forssberg H. 1986 A developmental model of human locomotion. p. 485. In Grillner S., Stein P., Stuart D., Forssberg H., Herman R (eds): *Neuro Biology of Vertebrae Locomotion*. London, Macmillan.
18. Forssberg H. 1986 Development and integration of human locomotor functions. In Goldberger ME, GorioA, Murray M (eds): *Development and Plasticity of the Mammalian Spinal Cord*. Fidia Research Series. Vol. III. Liviana Press, Padova.
19. Forssberg, H. 1992 A neural control model for human locomotion development: implications for therapy. In: Forssberg, H.; and Hirschfeld, H., eds. *Movement disorders in children*. Medicine and Sport Science. Karger; 174-181.
20. Forssberg, H., H. Hirschfeld and V.P. Stokes, 1991 "Development of human locomotor mechanisms." In: M. Shimamura, S. Grillner and V.R. Edgerton (Eds.), *Neurological basis of human locomotion*. Tokyo: Japan Scientific Societies Press.
21. Gary L. Smidt 1990 *Clinics in Physical Therapy: Gait in rehabilitation*. USA : Churchill Livingstone Inc.
22. Grillner S. 1973 Locomotion in the spinal cat. In: Stein RB, Pearson KG, Smith RS, Redford JB, eds. *Control of posture and locomotion*. New York: Plenum:515-535.
23. Gurfinkel, V.S., M.I. Lipshits and K.E. Popov, 1981 Stabilization of the body position as the main task of postural regulation (translation). *Fiziologiya Cheloveka* 7, 400-410.
24. Jouen, F. and J.C. Lepeccq, 1990 Early perceptuo-motor development: Posture and locomotion. In: *Developmental psychology*. C. A. Hauer (Ed.), *Cognitive, perceptuo-motor, and neurophysiological perspectives* (pp. 61-83).
25. Keogh, J. and Sugden, 1985 *Movement skill development*. New York: Macmillan.
26. Leonard EL, Zelazo PR 1988 From reflexive to instrumental control: A developmental model of motor learning. Presented at the American Physical Therapy Association/Canadian Physical Therapy Association Joint Congress, Las Vegas, Nevada, June.
27. Lund, S. and C. Broberg 1983 Effects of different head positions on postural sway in man induced by a reproducible vestibular error signal. *Acta Physiologica Scandinavica* 117, 307-309.
28. Massion J., 1984 Postural changes accompanying voluntary movements. Normal and pathological aspects. *Human Neurobiology* 2, 261-267.
29. Nashner, L.M., 1985 "Strategies for organization of human posture". In: M. Igarashi and F.O. Black (Eds.), *Vestibular and visual control of posture and locomotor equilibrium* (pp. 1-8). Basel: S. Karger.
30. Okamoto T., Kumamoto M., 1972 Electromyographic study of the learning process of walking in infants. *Electromyography*; 12: 149-158.
31. Patla AE 1991 Understanding the control of human locomotion: a prologue. In: Patla AE, ed. *Adaptability of human gait*. Amsterdam: North-Holland:3-17.
32. Peiper A. 1961 *Cerebral functions in infancy and childhood*. New York: Consultants Bureau.
33. Precht HFR 1984 Continuity and change in early neural development. In: Precht HFR, ed. *Continuity of neural functions from prenatal to postnatal life*. Clinics in Developmental Medicine. No. 94. Oxford: Blackwell scientific Publications:1-15.
34. Rabinowicz, T. 1964 "Cerebral cortex of the premature infant of the 8th month." *Progress in Brain Research*. 4, 39-92.
35. Roberts, T.D.M., 1976 "The role of vestibular and neck receptors in locomotion" In: R.M. Herman, S. Grillner, P.S.G. Stein and D.G. Stuart (Eds.), *Neural control of locomotion* (pp. 539-560). New York: Plenum.
36. Smith JL. 1980 Programming of stereotyped limb movements by spinal generators. In: Stelmach GE, Requin J, eds. *Tutorials in motor behavior*. Amsterdam: North-Holland:95-115.
37. Sutherland D. 1997 The development of mature gait. *Gait & Posture*:6:163-170.
38. Sutherland, Olshen, R., Cooper, L., Woo, S. 1980 "The development of mature gait" *Journal of Bone and Joint Surgery*, 62A, 336-353.
39. Thelen E, Ulrich B, Jensen J. 1989 The developmental origins of locomotion. In: Woollacott MH, Shumway-Cook A, eds. *Development of posture and gait across the life span*. Columbia, SC: Univ. Of South Carolina Press:25-47.
40. Thelen E. 1986 Treadmill-elicited stepping in seven month old infants. *Child Dev* 57:1498.
41. Thelen E., Fisher DM., Ridley- Johnson R. 1984 The relationship between physical growth and a newborn reflex. *Infant Behavior and Development*;7:479-93.
42. Thelen E., Ulrich BD. 1991 Hidden skills: a dynamic systems analysis of treadmill stepping during the first year. *Monographs of the Society for Research in Child Development*. Serial 223, vol 56.
43. Thelen, E., 1984 "Learning to walk: Ecological demands and phylogenetics constraints". In: L.P. Lipsitt (Ed.), *Advances in infancy research*, Vol. 3. Norwood, NJ: Ablex.
44. Waele, C. de, W. Graf, A. Berthoz and P.P. Vidal, 1988 "Vestibular control of skeletal geometry". In: B. Amblard, A. Berthoz and F. Clarac (Eds.), *Posture and gait: Development, adaptation and modulation* (pp.423-432). Amsterdam: Elsevier Science.
45. Woollacott, M., C. Assaiante and B. Amblard, 1994 "Development of posture and gait control". In: A. Bronstein, T. Brandt and M., Woollacott (Eds.), *Clinical aspects of balance and gait disorders*. Edward Arnold Publishers.
46. Woollacott, M.H. and Shumway-Cook, 1990 Changes in posture control across life- A systems approach. *Physical therapy* 70, 799-807.
47. Woollacott, M.H., Debu, B. and Mowatt, M. 1987 Neuromuscular control of posture in the infant and child, is vision dominant? *J. Motor Behav*:19:167-186.
48. Zelazo PR, Weiss MJ, Leonard EL 1989 The development of unaided walking: The acquisition of higher order control. p. 139. In Zelazo P, Barr R (eds): *Challenges to Developmental Paradigms*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ.
49. Zelazo PR, Leonard EL 1983 The dawn of active thought. P. 37. In Fisher K (ed): *Levels and Transitions in Children's Development*. New Directions for Child Development. Jossey- Bass, San Francisco, 1983.
50. Zelazo P 1982 The year old infant: A period of major cognitive change. P. 47. In Bever T (ed): *Regressions in Development: Basic phenomena and Theoretical Alternatives*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ, 1982.
51. Zelazo PR: The development of walking: New findings and old assumptions. *J Motor Behav* 15:99, 1983.
52. Zelazo PR, Zelazo NA, Kolb S 1972 Walking in the newborn. *Science* 176:314.