

Κεφάλαιο

1

Το προσαρμοστικό σύστημα: πλαστικότητα και ανάρρωση

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

Πλαστικότητα του άθικτου εγκεφάλου	4
Κινητική εκμάθηση, εκπαίδευση και πλαστικότητα	6
Πλαστικότητα μετά από εγκεφαλική βλάβη	7
Ανάκτηση της λειτουργικότητας	10
Επίδραση του περιβάλλοντος στην κινητική συμπεριφορά και στην ανάρρωση	12

Όλοι οι ζώντες οργανισμοί διαθέτουν μια εγγενή ικανότητα για αυτοοργάνωση κατά τη διάρκεια του βίου και οι οργανωτικές διαδικασίες που επηρεάζουν όλα τα συστήματα είναι αντιπροσωπευτικές του ιστορικού του οργανισμού, δηλαδή της μάθησης, της εμπειρίας και της χρήσης. Κατά τη διάρκεια του βίου, λαμβάνουν χώρα συγκεκριμένες μοριακές, βιοχημικές, ηλεκτροφυσιολογικές και δομικές μεταβολές στους νευρώνες του κεντρικού νευρικού συστήματος (ΚΝΣ) και στα νευρωνικά δίκτυα, ως απόκριση στη δραστηριότητα και στη συμπεριφορά (Weller 1998, Johansson 2000, Nudo et al 2001). Ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί ο φυσιολογικός και τραυματισμένος εγκέφαλος αποτελεί το πρώτο βήμα για να εκμεταλλευθεί κάποιος τις διεργασίες αυτές για τη βέλτιστη ανάρρωση. Οι εξελίξεις των τελευταίων δύο δεκαετιών στην απεικόνιση του εγκεφάλου κατά τη διάρκεια λειτουργικής δραστηριοποίησης παρέχουν τα μέσα για την εξερεύνηση των διαδικασιών αναδιοργάνωσης σε σχέση με τη φυσιολογική συμπεριφορά

και εκμάθηση. Καθίσταται όλο και πιο ξεκάθαρο ότι ο εγκέφαλος διατηρεί ένα δυναμικό για πλαστική αναδιοργάνωση στους ενήλικους ανθρώπους, ακόμη και σε ηλικιωμένους ή τραυματισμένους εγκεφάλους, και η νευροπλαστικότητα μπορεί να επηρεαστεί μέσω φαρμάκων, της εκπαίδευσης, της αποκατάστασης και του περιβάλλοντος (Weiller & Rijtjes 2005).

Η λειτουργική βελτίωση μετά από μια εγκεφαλική βλάβη οφείλεται στις μεταβολές στις εγκεφαλικές περιοχές που έχουν διασωθεί. Οι μηχανισμοί ενδέχεται να ποικίλλουν, ανάλογα με τον τύπο και τον εντοπισμό της βλάβης, και ενδέχεται να αφορούν στη βελτιωμένη συνδεσιμότητα μεταξύ μεμονωμένων νευρώνων, στην τροποποίηση των αντιπροσωπεύσεων στον φλοιό, των φλοιικών χαρτών και της μη συναπτικής μετάδοσης (Johansson 2005).

Η ημιπάρεση μετά από αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο (ΑΕΕ) αποτελεί ένα καλό μοντέλο για τη μελέτη της εγκεφαλικής αναδιοργάνωσης. Ένα σημαντικό ερώτημα είναι σε ποιον βαθμό μπορούν τα μεταϊσχαιμικά γεγονότα να επηρεάσουν την επαγόμενη από τη βλάβη πλαστικότητα και να βελτιώσουν την ανάκτηση της λειτουργικότητας. Πριν από μισό αιώνα, ο Hebb (1947) υπέθετε ότι οι νευρωνικές συνδέσεις το φλοιού διέθεταν την ικανότητα να αναδιοργανώνονται κατά τη διάρκεια του βίου μέσω της ενδυνάμιωσης των συνάψεων, καθιστώντας εφικτή τη βελτίωση της λειτουργικότητας.

Μια εγκεφαλική βλάβη, όπως το ΑΕΕ, επηρεάζει τόσο την ανατομία όσο και τη φυσιολογία του

νευρικού συστήματος. Διαταράσσει (ή καταστρέφει) τα σώματα των νευρικών κυττάρων, τους δενδρίτες και τους νευράξονες και επηρεάζει έμμεσα τον «προγραμματισμό» ή τη δικτύωση των νευρικών ώσεων στον άθικτο εγκεφαλικό ιστό. Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται αναφορά σε ζητήματα σχετικά με τη νευροπλαστικότητα μετά από ΑΕΕ, προκειμένου να δοθεί έμφαση στη δυνατότητα της αποκατάστασης να επηρεάσει τέτοιου είδους μεταβολές. Συμβαδίζοντας με τις μεταβολές του εγκεφάλου, οι μύες και άλλα μαλακά μόρια προσαρμόζονται και αναδιοργανώνονται σύμφωνα με τα πρότυπα χρήσης και το ζήτημα αυτό συζητείται σε όλο το βιβλίο. Έχουμε υποθέσει (Carr & Shepherd 1987, 1996, 2000, 2003) ότι η εκπαίδευση μετά από ένα ΑΕΕ αφορά στο να μάθουν εκ νέου τα άτομα πώς να εκτελούν ενέργειες και νοερές διεργασίες, οι οποίες εκτελούνται με ευκολία προ της βλάβης. Η εκπαίδευση φαίνεται ότι είναι ένα κρίσιμο ερεθίσμα για νέες ή πιο αποτελεσματικές λειτουργικές συνδέσεις εντός του εναπομείναντος εγκεφαλικού ιστού.

Αυτό που φαίνεται βέβαιο είναι ότι, προκειμένου να είναι αποτελεσματική η αποκατάσταση (περιλαμβανομένης της φυσικοθεραπείας) για την ανάκτηση της βέλτιστης λειτουργικότητας, πρέπει να δοθεί περισσότερη έμφαση στην παροχή ενός διεγερτικού για δραστηριότητες περιβάλλοντος, επαναλαμβανόμενης και εντατικής εργοπροσανατολισμένης άσκησης και εκπαίδευσης των εν μέρει προσβεβλημένων άκρων. Υπάρχουν πολλά στοιχεία ότι η νευρωνική αναδιοργάνωση αντιπροσωπεύει τα πρότυπα χρήσης. Φαίνεται επίσης πιθανό ότι η αισθητική ανατροφοδότηση που παρέχεται από τη χρήση των προσβεβλημένων άκρων ίσως να έχει κομβικό ρόλο στην αναδόμηση των εναπομεινάντων κυκλωμάτων.

Μετά από ένα ΑΕΕ, όσα άτομα επιβιώσουν αρχίζουν να επιδεικνύουν ανάκτηση της κινητικής συμπεριφοράς και οι υποκείμενες βιολογικές εκδηλώσεις της ανάρρωσης αντιπροσωπεύουν την εγγενή αναδιοργανωτική ικανότητα του συστήματος. Η θέωρηση του εγκεφάλου (και ολόκληρου του ανθρώπινου συστήματος) ως μια προσαρμοστική δομή επεκτείνεται στην κλινική κοινότητα μαζί με την κατανόηση ότι τα γεγονότα που λαμβάνουν χώρα μετά τη βλάβη, το περιβάλλον της αποκατάστασης και οι μέθοδοι της εκπαίδευσης θα επηρεάσουν την ανάρρωση, ενώ κάποιες μέθοδοι ενδέχεται να διευκολύνουν και άλλες

να δυσχεράνουν την ανάρρωση. Πρέπει να γίνει αποδεκτό ότι υπάρχει κάποια σύνδεση μεταξύ της πλαστικότητας του εγκεφάλου (δηλ. της ανατομικής σε επίπεδο φυσιολογίας και της λειτουργικής αναδιοργάνωσης) και των μεθόδων που χρησιμοποιούνται στην αποκατάσταση και την ανάρρωση. Η έμφαση στην κλινική έρευνα πλέον πρέπει να δίνεται στη μελέτη της επίδρασης των μεθόδων αποκατάστασης στη μορφολογία και στη λειτουργία του εγκεφάλου.

ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΑΘΙΚΤΟΥ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ

Ο όρος «πλαστικότητα» αναφέρεται σε γενικές γραμμές στην ικανότητα του ΚΝΣ να προσαρμόζεται στις λειτουργικές απαιτήσεις, συνεπώς και στην ικανότητα του συστήματος να αναδιοργανώνεται. Βάσει πειραματικών μελετών σε ζώα και ανθρώπους, αναγνωρίζεται πλέον ότι οι εγκεφαλικές διεργασίες αναδιαμορφώνονται μέσω των εμπειριών μας, ιδίως από τη χρήση του συστήματος. Η πλαστικότητα περιλαμβάνει τη διαδικασία της μάθησης. Υπάρχουν πλέον σημαντικά στοιχεία ότι ο ανθρώπινος εγκέφαλος παραμένει δυναμικός, ευέλικτος και διατηρεί την ικανότητα επίλυσης προβλημάτων καθ' όλη τη διάρκεια του βίου (Weiller 1998). Αυτή η άποψη έρχεται σε αντίθεση με την προηγούμενη θεώρηση του εγκεφάλου ως λειτουργικά στατικού (σχετικά με αυτό, βλ. Mergenich et al 1991).

Στους μηχανισμούς για την πλαστικότητα του εγκεφάλου περιλαμβάνεται η ικανότητα για νευροχημικές, νευροϋποδεκτικές και νευρωνικές δομικές μεταβολές. Επιπλέον, η παράλληλη και κατανευμένη φύση της οργάνωσης του εγκεφάλου φαίνεται ότι διαδραματίζει σημαντικό ρόλο για την ικανότητα ευελιξίας και προσαρμογής. Μέσω της ύπαρξης εκτεταμένων ενδοφλοικών αξονικών παράπλευρων οδών είναι εφικτή η εισροή ερεθισμάτων σε πολλές και διαφορετικές αντιπροσωπεύσεις των κινήσεων ενός δεδομένου τμήματος του σώματος και το πρότυπο της επιστράτευσής τους ίσως να καθορίζει την εκτέλεση πολύπλοκων κινήσεων. Υπάρχει ευρεία επικάλυψη των φλοικών νευρωνικών δικτύων που αφορούν σε διαφορετικά τμήματα του σώματος και τα δίκτυα αυτά, εν μέρει, διαμοιράζονται κοινά νευρωνικά στοιχεία (Schieber 1992). Οι κυτταρικοί πληθυσμοί εντός του εγκεφάλου οργανώνονται δυναμικά, με τη

δυνατότητα για διαφοροποίηση της δομής και της λειτουργίας σύμφωνα με τις ανάγκες της κινητικής συμπεριφοράς (Edelman 1987). Ακόμη και για την απλούστερη δραστηριότητα απαιτείται ο συντονισμός αρκετών και διαφορετικών περιοχών του εγκεφάλου. Τα μεμονωμένα κύτταρα και νευρωνικά συστήματα έχουν την ικανότητα να εξηνπρετούν περισσότερες από μια λειτουργίες. Η ρύθμιση της παροδικής και της μακροπρόθεσμης αποτελεσματικότητας των συνάψεων λαμβάνει χώρα καθημερινά κατά τη διάρκεια του βίου και καθορίζεται και από την εμπειρία. Οι ίδιοι οι υποδοχείς επιδεικνύουν πλαστικότητα, ενώ η συναπτική μετάδοση καθίσταται ισχυρότερη ή πιο αδύναμη ανάλογα με τη χρήση. Σε άλλα κείμενα περιγράφονται λεπτομερώς οι εξειδικευμένοι μηχανισμοί που διέπουν την πλαστικότητα του εγκεφάλου (Kolb 1995, Kandel 2000).

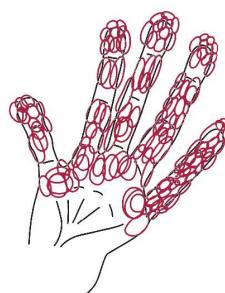
Η αναδιαμόρφωση των φλοικών νευρωνικών αποκρίσεων λαμβάνει χώρα μεταξύ των κατά στήλες διατεταγμένων και συνεργατικών ομάδων νευρώνων, οι οποίοι διατίθεται σε εκατοντάδες εκατομμύρια. Οι Merzenich et al (1991) περιγράφουν έναν συνεχή ανταγωνισμό μεταξύ των νευρωνικών ομάδων για την επικράτηση των νευρώνων στα κοινά όριά τους. Αυτός ο ανταγωνισμός για τις εκτάσεις του φλοιού φαίνεται να εξαρτάται από τη χρήση. Οι φλοικοί χάρτες διαφέρουν με τρόπους που αντιπροσωπεύουν τη χρήση τους (Merzenich et al 1983), ενώ φαίνεται ότι υπόκεινται σε τροποποιήσεις βάσει της δραστηριότητας των περιφερικών αισθητικών οδών. Για παράδειγμα, ένας πίθηκος εκπαιδεύοταν για 1 ώρα την ημέρα να εκτελεί μια

δραστηριότητα, για την οποία απαιτούνταν η επαναλαμβανόμενη χρήση δύο, τριών και κάποιες φορές τεσσάρων δακτύλων για την ανεύρεση τροφής. Μετά από μια περίοδο επαναλαμβανόμενου ερεθισμού με αρκετές χλιαρίδες επαναλήψεις, η περιοχή του φλοιού που αντιπροσώπευε τις άκρες των ερεθίζομενων δακτύλων ήταν σημαντικά μεγαλύτερη από αυτές ενός πιθήκου χωρίς εκπαίδευση (Jenkins et al 1990) (Εικόνα 1.1). Ένας άνθρωπος, που εκπαιδεύτηκε να εκτελεί μια ταχεία ακολουθία κινήσεων των δακτύλων, βελτιώθηκε ως προς την ακρίβεια και την ταχύτητα μετά από 3 εβδομάδες καθημερινής εκπαίδευσης (10–20 λεπτά). Από μαγνητικές τομογραφίες (MRI) φάνηκε ότι η περιοχή που ενεργοποιούνταν στον πρωτοταγή κινητικό φλοιό του εκπαιδεύομένου απόμου ήταν μεγαλύτερη από την περιοχή που ενεργοποιούνταν σε ένα άτομο που εκτελούσε τυχαίες κινήσεις των δακτύλων του ίδιου χεριού. Η μεταβολή της αντιπροσώπευσης στον φλοιό διατηρήθηκε για αρκετούς μήνες. Στα παραδείγματα αυτά, η επαναλαμβανόμενη εξάσκηση ενδέχεται να είχε επιδράσει στα προϋπάρχοντα πρότυπα συνδέσεων, προκειμένου να ενισχύσει την αποτελεσματικότητά τους (Kandel 2000).

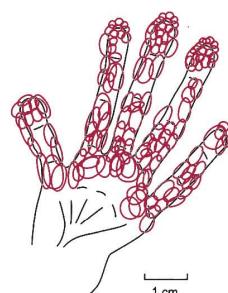
Από μελέτες σε ανθρώπους μετά από χειρουργικές επεμβάσεις μετάθεσης μυών ή με συγγενή τυφλότητα, προκύπτει ότι ο εγκέφαλος διαθέτει ικανότητα αναδιοργάνωσης. Για παράδειγμα, έχει αναφερθεί αναδιοργάνωση της εκροής ερεθισμάτων από τον φλοιό σε άτομα με ακρωτηριασμό άκρου ή μέρους του άκρου. Μετά τον ακρωτηριασμό, τα γειτονικά δίκτυα επεκτείνονται στην περιοχή που προηγουμένως ήταν αφιερωμένη στη



Φυσιολογικό



Ερεθισμός



Εικόνα 1.1 Με την επαναλαμβανόμενη χρήση των δακτύλων 2, 3 και 4 προκλήθηκε επέκταση της αντιπροσώπευσης στον φλοιό των δακτύλων αυτών. Τα περιγράμματα των πεδίων στην περιοχή 3β του φλοιού αντιπροσωπεύουν τις επιφάνειες των δακτύλων πριν από και μετά την εκπαίδευση. Οι χάρτες των πεδίων εντοπίζονται εντός της περιοχής 3β πριν από και μετά την εκπαίδευση. (Από Jenkins et al 1990, κατόπιν αδειάς.)

δραστηριότητα του ακρωτηριασμένου τυμήματος (Hall et al 1990, Fuhr et al 1992). Σε άτομα με συγγενείς ακρωτηριασμός άνω άκρων και νωρίς μετά τον ακρωτηριασμό μέρους του άκρου, οι εναπομειναντες μύες στο άκρο λαμβάνουν περισσότερες κατιούσες συνδέσεις απ' ό,τι οι μύες του μη προσβεβλημένου άκρου (Hall et al 1990). Στις αναφερόμενες μεταβολές περιλαμβάνονται η αύξηση του μεγέθους της περιοχής κινητικής αντιπροσώπευσης στον φλοιό και η επιστράτευση μεγαλύτερου ποσοστού άλφα κινητικών νευρώνων των ομόπλευρων και ακριβώς εγγύς μυών.

Είναι ξεκάθαρο, λοιπόν, ότι τα νευρωνικά στοιχεία είναι εγγενής ευέλικτα και αποκρίνονται ανάλογα με τη χρήση και την εμπειρία, όπως και την ικανότητα για λειτουργικό όφελος για το άτομο. Αντιθέτως, παρατηρείται σημαντική συρρίκωση της αντιπροσώπευσης στον φλοιό ανενεργών μυών σε υγιή άτομα μόλις 4–6 εβδομάδες μετά από ακινητοποίηση της ποδοκνημικής άρθρωσης, η οποία συρρίκωση ήταν πιο έντονη όσο μεγαλύτερη ήταν η περίοδος ακινητοποίησης (Liepert et al 1995).

Κινητική εκμάθηση, εκπαίδευση και πλαστικότητα

Από διάφορες μελέτες αναφέρονται στοιχεία για την επίδραση διαφορετικών περιβαλλόντων, της εκμάθησης και της εκπαίδευσης στην αναδιοργάνωση του εγκεφάλου, περιλαμβανομένων των λειτουργικών μεταβολών στους κινητικούς και αισθητικούς νευρώνες στον φλοιό (π.χ. Merzenich et al 1990, Sanes et al 1992). Για παράδειγμα, οι αρουραίοι που ήταν έγκλειστοι σε εμπλουτισμένα περιβάλλοντα μετά από εγκεφαλικό έμφρακτο είχαν σημαντικά καλύτερες επιδόσεις σε κινητικές δραστηριότητες, όπως είναι η βάδιση πάνω σε στενή δοκό, η βάδιση σε σκάλα από δακτυλίους και η επιδέξια προσέγγιση αντικειμένων με τα πρόσθια άκρα, απ' ό,τι οι αρουραίοι που ζόύσαν μόνοι ή ήταν έγκλειστοι σε τυπικά κλουβιά (Held et al 1985, Ohlsson & Johansson 1995). Οι παραμετροί ενός εμπλουτισμένου περιβάλλοντος που οδηγούσαν στις καλύτερες επιδόσεις αφορούσαν στην ευκαιρία για σωματική δραστηριότητα σε συνδυασμό με κοινωνική αλληλεπίδραση (Johansson & Ohlsson 1996, Biernaskie & Corbett 2001, Risedal et al 2002). Με την εκπαίδευση αρουραίων σε συγκεκριμένες δραστηριότητες, όπως είναι η προσέγγιση αντικειμένων, ανάγνεται επιλεκτικά η

πυκνότητα των δενδριτών στην αντιπροσώπευση του πρόσθιου άκρου στον κινητικό και στον αισθητικό φλοιό (Greenough et al 1985). Αυτού του είδους οι μεταβολές αναφέρονται για προσέγγιση με το ένα ή και τα δύο άκρα στη μία ή και στις δύο πλευρές του κινητικού φλοιού (Kolb 1995).

Η εκμάθηση δεξιοτήτων στους ανθρώπους σχετίζεται με παρόμοιες μεταβολές στο νευρικό σύστημα με αυτές που παρατηρούνται στα ζώα (βλ. Merzenich 1986 για ανασκόπηση). Οι άνθρωποι με άθικτο εγκέφαλο επιδεικνύουν λειτουργικές μεταβολές στον εγκέφαλο σχετικά με την εκπαίδευση και τη χρήση, πιο συγκεκριμένα με την αυξημένη χρήση του μέρους του σώματος ή την επαυξημένη αισθητική ανατροφοδότηση από αυτό. Αυτό ισχύει ιδιαιτέρως όπου η αύξηση της χρήσης συνοδεύεται από λειτουργικό όφελος για το άτομο. Η αυξημένη χρήση ενός μέρους του σώματος ή η επαυξημένη αισθητική ανατροφοδότηση από αυτό μπορούν να οδηγήσουν στη μετατόπιση της ισορροπίας των ενδοφλοικών δικτύων υπέρ αυτού του μέρους του σώματος (Gracies 1996). Για παράδειγμα, η επιδέξια ανάγνωση της γραφής Braille σχετίζεται με τη σχετική μεγέθυνση της αισθητικοκινητικής αντιπροσώπευσης του δακτύλου που εκτελεί την ανάγνωση (Pascual-Leone & Torres 1993), ενώ οι μεταβολές στον εγκέφαλο χαρτογραφούνται μέσω εστιακού διακρανιακού μαγνητικού ερεθισμού (transcranial magnetic stimulation, TMS). Η ευέλικτη διαμόρφωση της εκροής φλοιοκινητικών ερεθισμάτων μπορεί να αντιπροσωπεύει ένα πρώτο στάδιο της μάθησης, ενώ η περαιτέρω εξάσκηση της δραστηριότητας, τελικά, οδηγεί σε δομικές μεταβολές των ενδοφλοικών και υποφλοικών δικτύων (Pascual-Leone et al 1995). Επιπλέον, το μέγεθος της αντιπροσώπευσης έχει διακυμάνσεις, ανάλογα με την ποσότητα της δραστηριότητας ανάγνωσης (Pascual-Leone et al 1995).

Η μάθηση αντιπροσωπεύεται με τις μεταβολές στο πρότυπο των διασυνδέσεων στα αισθητικά και κινητικά συστήματα που εμπλέκονται στην εκμάθηση μιας συγκεκριμένης δραστηριότητας και, πιο συγκεκριμένα, στις μεταβολές στην αποτελεσματικότητα των νευρωνικών συνδέσεων (Kandel 2000). Μέσω της εξειδικευμένης κινητικής εκπαίδευσης, μπορεί να αυξηθεί το μέγεθος των διαφορετικών συστατικών στοιχείων των κινητικών χαρτών. Για παράδειγμα, από την ανάλυση των εγκεφαλικών χαρτών σε ανθρώπους προκύπτει ότι η αντιπροσώπευση στον φλοιό των μυών των δα-

κτύλων του αριστερού, αλλά όχι του δεξιού, χεριού επεκτάθηκε σε δεξιόχειρες δεξιοτέχνες παίκτες του βιολιού, που δίνουν τακτικά παραστάσεις (Elbert et al 1995).

Υπάρχουν πλέον ουσιαστικά στοιχεία από εμβιομηχανικές μελέτες σε υγιή άτομα ότι οι νευρομυϊκές αλλά και οι εγκεφαλικές προσαρμογές λαμβάνουν χώρα ως απόκριση στη σωματική δραστηριότητα, στην ενδυνάμωση και στην ακινητοποίηση (Enoka 1995). Το όφελος στη δύναμη που προκύπτει τις πρώτες λίγες εβδομάδες ενός προγράμματος ενδυνάμωσης συνοδεύεται από μια συγκρίσιμη αύξηση της ηλεκτρικής δραστηριότητας των μυών, η οποία προηγείται μιας σημαντικής μεταβολής του μεγέθους των μυών (Moritani & deVries 1979, Narici et al 1989). Βάσει αυτής της χρονικής πορείας, δικαιολογείται και ένας ρόλος για τη νευρωνική προσαρμογή. Οι ποσοτικές και ποιοτικές μεταβολές στη νευρωνική λειτουργία που λαμβάνουν χώρα σε συνάρτηση με την άσκηση φαίνεται ότι είναι εργοειδικευμένες.

Υπάρχουν αυξανόμενα στοιχεία ότι η μεταβλημένη σωματική δραστηριότητα αφορά πιθανώς σε λειτουργικές και δομικές προσαρμογές στην κινητικό οδό (π.χ. Cracraft & Petajan 1961, Sale et al 1982, Hakkinnen & Komi 1983). Εχει δειχθεί ότι η εκπαίδευση της δύναμης μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερη βελτίωση των επιδόσεων απ' ό.τι του μυϊκού όγκου ή της μυϊκής δύναμης (Rutherford & Jones 1986). Η κατιούσα ενεργοποίηση προς τους νωτιαίους κινητικούς νευρώνες φαίνεται ότι αυξάνεται μετά την εκπαίδευση της δύναμης και ελαττώνεται μετά από μια περίοδο αδρανοποίησης (McTomas 1993).

Κατά την απόκτηση μιας κινητικής δεξιότητας, το άτομο πρέπει να συνδυάσει τις κινήσεις των μεμονωμένων τμημάτων σε ένα συνεργικό πρότυπο, τόσο όσον αφορά στον χώρο όσο και στον χρόνο, με το οποίο να εξασφαλίζεται η επιτυχής εκτέλεση της δραστηριότητας. Με την εξάσκηση, οι κινήσεις γίνονται πιο ομαλές, πιο συντονισμένες και συνήθως πιο ταχείες. Αυτού του είδους οι εμβιομηχανικές μεταβολές είναι αντιπροσωπευτικές των μεταβολών στο νευρωνικό επίπεδο.

Η διαμόρφωση των νευρωνικών κυκλωμάτων δεν επέρχεται μόνο μέσω της σωματικής εξάσκησης, αλλά και μέσω της νοερής εξάσκησης (Κεφάλαιο 2). Στο αρχικό στάδιο της εκμάθησης μιας πολύπλοκης άσκησης για τα δάκτυλα, φαίνεται από τις μεταβολές στους χάρτες εκροής φλουκών

κινητικών ερεθισμάτων ότι η νοερή εξάσκηση από μόνη της μπορεί να οδηγήσει στις ίδιες πλαστικές μεταβολές στο κινητικό σύστημα με αυτές που παρατηρούνται κατά την επαναλαμβανόμενη σωματική εξάσκηση (Pascual-Leone et al 1995).

Λαμβάνουν χώρα παρόμοιες μεταβολές σε έναν εγκέφαλο που γερνά; Ιστολογικά αναφέρεται απώλεια νευρώνων, καθώς το άτομο γερνά. Ωστόσο, υπάρχουν στοιχεία ότι ένας μηχανισμός για την προσαρμογή σχετικά με την εκμάθηση μιας νέας δεξιότητας σε κάθε ηλικία είναι η αύξηση των συνάψεων ανά νευρώνα (Buell & Coleman 1981). Φαίνεται ότι η αποτελεσματικότητα των υπαρχουσών συνδέσεων αυξάνεται μέσω της εξάσκησης και της εκμάθησης σε κάθε ηλικία.

ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΕΓΚΕΦΑΛΙΚΗ ΒΛΑΒΗ

Το λογικό ερώτημα που ανακύπτει από μελέτες για την πλαστικότητα του εγκεφάλου είναι αν ένα εμπλουτισμένο περιβάλλον, η χρήση, η εκπαίδευση και η εμπειρία θα έχουν παρόμοιες επιδράσεις επί εδάφους εγκεφαλικής βλάβης και αν οι επιδράσεις αυτές θα επωξήσουν τη λειτουργική ανάρρωση (Kolb 1995). Κατ' αντιστοιχία, η περιβαλλοντική ένδεια και η μη χρήση αναστέλλουν την ανάρρωση; Μέσω των τεχνολογικών εξελίξεων για την πιο στενή εξέταση των εγκεφαλικών διεργασιών προκύπτει ότι η ανάκτηση της λειτουργικότητας μετά από μια εγκεφαλική βλάβη λαμβάνει χώρα ως αποτέλεσμα δομικής και λειτουργικής αναδιοργάνωσης.

Όπως αναμένεται, οι μηχανισμοί ανάρρωσης είναι διαδεδομένοι σε όλον τον εγκέφαλο. Οι ομόπλευροι κινητικοί οδοί ίσως να παίζουν ρόλο στην ανάκτηση της κινητικής λειτουργίας (Chollet et al 1991, Fisher 1992, Weiller et al 1992, Silvestri et al 1993). Εχει παρουσιαστεί επέκταση των κινητικών πεδίων του φλοιού σε περιοχές χωρίς βλάβη (Asanuma 1991, Weiller et al 1993). Εχουν ανευρεθεί διαφορές στο επίπεδο του συγχρονισμού των κινητικών μονάδων κατά τη διάρκεια της ανάρρωσης μετά από ΑΕΕ που συμβαδίζουν με τις βελτιώσεις στον λεπτό κινητικό έλεγχο (Farmer et al 1993). Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες και η εκμάθηση αναδεικνύουν συγκεκριμένες ικανότητες μέσω της μεταβολής της αποτελεσματικότητας (και των ανατομικών συνδέσεων) των προϋπαρχουσών οδών (Kandel 1991) και οι δύο αυτοί παράγοντες πιθα-