

Η πλαστικότητα του εγκεφάλου και το σύστημα γραφής και ανάγνωσης Braille

«Θέλουν να δουν τα χέρια
Τα μάτια να χαϊδέψουν»
Goethe

Με αυτούς τους στοίχους άρχιζα, πριν από 20 χρόνια, τη συζήτηση των αποτελεσμάτων που είχα συλλέξει διερευνώντας την ημισφαιρική εξειδίκευση των εκ γενετής τυφλών, με εργαλείο τη δοκιμασία της διχωτικής ακοής.¹ Ήθελα να τονίσω έτσι τη σημασία του συστήματος γραφής και ανάγνωσης Braille, που αναδεικνυόταν μέσα από εκείνα τα ευρήματα. Τα χέρια, όντως, μπορούσαν να «δουν» και, επιπρόσθετα, αυτός ο ιδιότυπος τρόπος γραφής και ανάγνωσης φαινόταν πως είχε κάποιες επιπτώσεις στη λειτουργική οργάνωση των ημισφαιρίων, τουλάχιστον των τυφλών εκείνων που είχαν επαρκώς ασκηθεί στη χρήση του. Θα επανέλθω στο θέμα αυτό πιο κάτω.

Δεν φανταζόμουν, βέβαια, τότε τη συνολικότερη φλοιική επανοργάνωση στους εκ γενετής τυφλούς, που διαπιστώνεται σήμερα με τα νέα ερευνητικά εργαλεία, π.χ. τις σύγχρονες απεικονιστικές μεθόδους ή το διακρανιακό μαγνητικό ερεθισμό. Δεν μπορούσα, δηλαδή, να φανταστώ ότι ακόμα και ο δεύτερος στοίχος (τα μάτια να χαϊδέψουν), που τον παρέθετα μόνο ως το ρομαντικό συμπλήρωμα του πρώτου, θα γινόταν κι αυτός μια «απτή» πραγματικότητα των τελευταίων ετών. Η λέξη απτή δεν έρχεται τυχαία στο λόγο μου. Ο συνειρμός με ό,τι διαβάζουμε στη σύγχρονη βιβλιογραφία είναι προφανής, καθότι αφθονούν σήμερα οι εργασίες που αποδεικνύουν τη συμμετοχή του οπτικού φλοιού των τυφλών σε απτικές λειτουργίες.

Τότε, ο προβληματισμός και οι συζητήσεις αφορούσαν στη νευροψυχολογική ερμηνεία των αποτελεσμάτων, που φαινόταν να συνηγορούν υπέρ της ύπαρξης μιας δυναμικής στην εγκεφαλική πλαγίωση κάτω από την επίδραση περιβαλλοντικών παραγόντων. Εκείνη την εποχή, τα θέματα αυτά ήταν στο επίκεντρο της νευροψυχολογικής έρευνας και το ερώ-

τημα, που είχα αναλάβει να διερευνήσω, «εάν, δηλαδή, η εμπειρία των εκ γενετής τυφλών με το σύστημα Braille επιδρά στη λειτουργική οργάνωση των εγκεφαλικών ημισφαιρίων», το είχε θέσει ένας από τους μεγάλους πρωτοπόρους της Νευροψυχολογίας, ο αείμνηστος Henri Hecaen. Επιχειρήσαμε να απαντήσουμε μελετώντας ομάδα 32 δεξιόχειρων εγγραμμάτων εκ γενετής τυφλών, με τη δοκιμασία της διχωτικής ακοής.^{1,2} Στη μελέτη μας, οι νεότεροι εκ γενετής τυφλοί εμφάνιζαν την τυπική υπεροχή του δεξιού αυτιού, σε συνθήκες διχωτικής ακοής με αριθμούς, ενώ, όσοι χρησιμοποιούσαν με επάρκεια και συχνά το σύστημα γραφής και ανάγνωσης Braille, παρουσίαζαν στροφή της τυπικής πλαγίωσης, λόγω αυξημένης απόδοσης του αριστερού αυτιού. Καθώς αυτό το σύστημα έχει αυξημένες χωρικές απαιτήσεις, συμπεραίναμε ότι η μεταβολή σχετιζόταν με την «αποδοτικότερη» ενεργοποίηση μηχανισμών του δεξιού ημισφαιρίου, θεωρούσαμε δηλαδή ότι βρισκόμαστε μπροστά σε ένα φαινόμενο πλαστικότητας του κεντρικού νευρικού συστήματος (ΚΝΣ) κάτω από την επίδραση περιβαλλοντικών παραγόντων.

Ήδη, παρά την έλλειψη γενικής ομοφωνίας, υπήρχαν εργασίες που έδειχναν ότι η ανάγνωση του συστήματος Braille ήταν ταχύτερη και ορθότερη με το αριστερό παρά με το δεξιό χέρι, ενώ σε ταχυστοσκοπικές δοκιμασίες διαπιστωνόταν μια υπεροχή του αριστερού οπτικού πεδίου, δηλαδή του δεξιού ημισφαιρίου, όταν οι χωρικές απαιτήσεις της δοκιμασίας ήταν ιδιαίτερα αυξημένες. Επιπρόσθετα, η διερεύνηση ομάδας αγραμμάτων, χωρίς καμιά γνώση γραφής και ανάγνωσης, είχε δείξει μια υπερβολική, τυπική πάντως, ακουστική πλαγίωση, οφειλόμενη σε σημαντική μείωση της απόδοσης του αριστερού αυτιού, δηλαδή του δεξιού τους ημισφαιρίου.³ Η στέρηση της γνώσης και της χρήσης των (συνήθων εδώ) γραπτών κωδίκων της γλώσσας δεν ήταν χωρίς συνέπειες. Αργότερα, διαπιστώσαμε ότι οι λειτουργικά αναλφάβητοι βρισκόταν σε μια «ενδιάμεση» θέση.⁴ Φαινόταν, δηλαδή, ότι το είδος, η έλλειψη ή η ανεπαρκής χρήση των γραπτών κωδίκων της γλώσσας ήταν δυνατό να επηρεάζει την ακουστική πλαγίωση. Η προβληματική αυτή ξαναβρίσκεται σήμερα στην επικαιρότητα και σύγχρονες έρευνες με PET αποδεικνύουν το γεγο-

νός ότι η εκμάθηση της γραφής επιφέρει αλλαγές στη λειτουργική οργάνωση του εγκεφάλου.⁵

Σε ανάλογη προβληματική κατέληγε και η διερεύνηση της λειτουργικής εξειδίκευσης σε αρρώστους με βλάβες του ΚΝΣ. Το ερώτημα που ετίθετο ήταν αν οι βλάβες μόνο ή και η ημισφαιρική επανοργάνωση ενέχονταν για τις παρατηρούμενες αλλαγές στην ακουστική πλαγίωση αναρρωνιόντων αφασικών. Από την αρχή της δεκαετίας του '90 υπήρχε και το πρόβλημα και η διττή στάση, δηλαδή η υποτίμηση της πλαστικότητας⁶ αλλά και η υπέρ αυτής εκτίμηση.⁷

Ο γενικότερος αυτός προβληματισμός εξακολουθεί να είναι πάντα επίκαιρος, ώστε φαίνεται ότι μπορεί να επεκταθεί. Πολύ πρόσφατα, παρατηρήθηκε ότι οι αυξημένες εμπειρίες πλοήγησης των λονδρέζων οδηγών ταξί επιφέρουν αύξηση του εύρους του οπίσθιου ιπποκάμπου, που γίνεται αναλώμασι του προσθίου ιπποκάμπου. Υπενθυμίζεται ότι στον οπίσθιο ιπποκάμφο αποθηκεύεται η χωρική αναπαράσταση του περιβάλλοντος που φαίνεται ότι μπορεί να επεκταθεί τοπικά, ώστε να προσαρμοστεί καλύτερα η επεξεργασία αυτής της αναπαράστασης σε άτομα με μεγάλη εξάρτηση από την επιδεξιότητά τους να κινούνται άνετα μέσα στο χώρο μιας πόλης. Πρέπει να τονιστεί εδώ ότι αυτή η ικανότητα τοπικής δομικής πλαστικότητας του εγκεφάλου υγιών ατόμων, ως απάντηση στις απαιτήσεις του περιβάλλοντος,⁸ δεν έχει καμιά σχέση με τις νεο-φρενολογικές⁹ ερμηνείες που επιχειρούνται τελευταίως. Αυτό τονίζουν και οι Terrazas και McNaughton,¹⁰ αναφερόμενοι, μάλιστα, στη συσχέτιση της ιδιοφυΐας του Einstein με τη «μεγαλύτερη έκταση» των βρεγματικών του λοβών, που επιχειρήθηκε πρόσφατα,¹¹ με αποτέλεσμα να κινητοποιήσουν την αντίδραση του Galaburda, ο οποίος αμφισβητεί και το εύρημα και την ερμηνεία.¹²

Πανάρχαια είναι η αντίληψη ότι το μάτι, η όραση, είναι παράθυρο που ανοίγεται στον άνθρωπο για τη γνώση του κόσμου, ενώ την έλλειψή της αναπληρώνουν άλλες, χαρισματικές ικανότητες. «Αοιδός και μάντις έχουν και οι δυο τους», γράφει ο γνωστός Γάλλος ελληνιστής J.-P. Vernant, «το χάρισμα της διόρασης, προνόμιο που χρειάστηκε να το πληρώσουν θυσιάζοντας τα μάτια τους. Τυφλοί, μη βλέποντες το φως, βλέπουν το αόρατο. Ο Θεός τους εμπνέει, τους φανερώνει, σαν σε αποκάλυψη, κάθε πραγματικότητα που ξεφεύγει από το ανθρώπινο μάτι».¹³ Ακόμα και σήμερα, βρίσκει κανείς το ρήμα βλέπω να

σημαίνει, σε διάφορες γλώσσες, και γνωρίζω και καταλαβαίνω. Αξεριζώτη παράδοση παραμένει ακόμα η πίστη πως ο τυφλός είναι υπερφυσικά προικισμένος και, ειδικότερα, η δοξασία ότι ο τυφλός έχει κατά πολύ πιο αυξημένη την αίσθηση της αφής από ό,τι ο βλέπων. Υπενθυμίζεται το περίφημο «Γράμμα για τους τυφλούς προς χρήσιν των βλεπόντων» (1749), όπου ο Diderot υποστηρίζει πως η αλληλοβοήθεια μεταξύ των αισθήσεων τις εμποδίζει να τελειοποιηθούν και, επομένως, στους εκ γενετής τυφλούς η αφή, που δεν υποβοηθείται από την όραση, είναι πιο τελειοποιημένη, πιο ευαίσθητη.

Ανακεφαλαιώνοντας τη γνώση της δεκαετίας του '70, η Hatwell έγραφε ότι ο ουδός της διαφοροποιητικής διάκρισης στους τυφλούς δεν είναι πιο ευαίσθητος από ό,τι στους βλέποντες· απλώς, η καθημερινή τους πρακτική είναι ένα πλεονέκτημα στην εκμάθηση του κόσμου με την αφή.¹⁴ Το ερώτημα εξακολουθεί να τίθεται ακόμη και σήμερα. Οι Van Boven et al βρίσκουν σημαντική μείωση του ουδού στη διακριτική ικανότητα προσανατολισμού των δακτύλων σε τυφλούς-γνώστες του συστήματος Braille, που γίνεται ακόμη μεγαλύτερη στο αναφερόμενο ως «κυρίαρχο» (για την ανάγνωση) δάκτυλο.¹⁵ Οι Grant et al, πιο κοντά στην παλαιότερη γνώση, βρίσκουν μια σημαντική διαφορά στη διακριτική οξύτητα των τυφλών που χρησιμο-



Έργο σε πηλό (30x50 cm) του Πολύκαρπου Χατζηπαυλίδη,
εκ γενετής τυφλοκωφού.

Παραωρήθηκε ευγενικά από τη συλλογή του ψυχιάτρου
Π. Βασιλείαδου.

Φωτογραφία: Στ. Καράβατος

ποιούν σύστημα Braille, σε δοκιμασίες με απτικά ερεθίσματα σαν τις κουκίδες της γραφής τους, αλλά και οι βλέποντες τα καταφέρνουν εξίσου καλά μετά από άσκηση. Σε δοκιμασίες διάκρισης με άλλα ερεθίσματα, οι τυφλοί δεν διαφέρουν των βλέπόντων, γεγονός που αντανακλά, κατά τους συγγραφείς, την ιδιαιτερότητα της γνώσης που βασίζεται στην εμπειρία με το σύστημα Braille.¹⁶ Σε πρόσφατη μελέτη τους, οι Hamilton και Pascual-Leone τονίζουν όπως ιδιαίτερος το γεγονός ότι η εκμάθηση του συστήματος Braille επιβάλλει αυξημένες απαιτήσεις σε μια περιορισμένη περιοχή του σώματος, στις άκρες των δακτύλων. Οι τυφλοί που ασκούνται σε αυτό, πρέπει να διακρίνουν με εξαιρετική ευαισθησία και ακρίβεια τα επάρματα των κουκίδων, για να μεταφράσουν το χωρικό αυτόν κώδικα σε πληροφορία με σημασία, βρίσκονται έτσι μπροστά σε πολύπλοκες γνωσιακές απαιτήσεις, οι οποίες φαίνεται πως οδηγούν σε σημαντικές προσαρμοστικές αλλαγές του εγκεφάλου.¹⁷

Ήδη, γνωρίζαμε ότι η κατανομή των γνωσιακών διαδικασιών στις διάφορες νευρωνικές περιοχές δεν είναι σταθερές και αμετάβλητες, αλλά εξαρτώνται, εν μέρει τουλάχιστον, από τη δυσκολία του προς εκτέλεση έργου. Ακόμη, υπάρχουν αποδείξεις για μια εκτεταμένη συνεργασία, πιθανόν και αλληλεπικάλυψη, παρά τη σχετική εξειδίκευση των λειτουργιών στις διάφορες περιοχές.¹⁸ Κοντά σ' αυτή τη δυναμική, η πλαστικότητα του υπό ανάπτυξη εγκεφάλου σε περιπτώσεις όγκων, επιληψιών ή διαταραχών στην ανάγνωση είναι μια άλλη αδιαμφισβήτητη πραγματικότητα, στη μελέτη της οποίας χρησιμοποιούνται με επιτυχία ολοένα και νεότερες μέθοδοι, όπως η μαγνητοεγκεφαλογραφία,¹⁹ ένα ακόμη εργαλείο για τον προσδιορισμό της πλαγίωσης των λειτουργιών της γλώσσας.

Ως προς το σύστημα Braille, ειδικότερα, οι Pascual-Leone και Torres, χρησιμοποιώντας σωματοαισθητικά προκλητά δυναμικά και διακρανιακό μαγνητικό ερεθισμό, έδειξαν ότι η αισθητική αντιπροσώπευση στο φλοιό του δακτύλου, με το οποίο ο τυφλός διαβάσει, είναι αυξημένη, σε σύγκριση με εκείνη του αντίστοιχου δακτύλου στο άλλο χέρι ή σε σχέση με το δάκτυλο ενός βλέποντος ή ενός τυφλού που δεν γνωρίζει το σύστημα Braille.²⁰ Ανάλογη διεύρυνση βρέθηκε στην κινητική αντιπροσώπευση του ίδιου δακτύλου.²¹ Σημειώνεται ότι οι τυφλοί διαβάζουν είτε με το αριστερό χέρι, χρησιμοποιώντας το δεξιό ως οδηγό, είτε με τα δύο χέρια και περισσότερα δάκτυλα. Στην τελευταία αυτή περίπτωση, η διευρυμένη φλοιική σωματοαισθητική περιοχή παρουσιάζεται με ασαφή σωματοτοπικά όρια, όντας, στη συγκεκριμένη περίπτωση, μια προσαρμοστική αλλαγή, ένα πλεονέκτημα επομένως, καθώς επιτρέπει την ταυτόχρονη και «διά μιας» σύλληψη των πληροφοριών, κατά τον τρόπο δηλαδή

της οπτικής ανάγνωσης.²² Οι Sadato et al καταμέτρησαν την αιματική ροή με PET σε ομάδα τυφλών, οι οποίοι γνώριζαν το σύστημα Braille από την πρώτη σχολική ηλικία και έδειξαν ότι τα άτομα που προτιμούσαν να χρησιμοποιούν το δεξιό δείκτη τους για να διαβάσουν με το σύστημα Braille, παρουσίαζαν μεγαλύτερη δραστηριότητα στην αριστερή σωματοαισθητική περιοχή, ενώ σε εκείνους που προτιμούσαν τη χρήση του αριστερού τους δείκτη, η δραστηριότητα ήταν μεγαλύτερη στη δεξιά περιοχή.²³

Η επανοργάνωση, όμως, του φλοιού στον εκ γενετής τυφλό δεν περιορίζεται μόνο εδώ. Πρόσφατες έρευνες έδειξαν ότι στην όλη διαδικασία επιστρατεύονται και τμήματα του ινιακού λοβού, που αναλαμβάνουν λειτουργίες απτικής αντίληψης.²⁴ Υπενθυμίζω τη διαμάχη, κατά το 19ο αιώνα, μεταξύ του David Ferrier και του Hermann Munk, ως προς την εντόπιση του κέντρου της όρασης (υπέρ του βρεγματικού λοβού ο πρώτος, υπέρ του ινιακού ο δεύτερος),²⁵ για να προσθέσω ότι ο σωματοαισθητικός θαλαμικός πυρήνας συνδέεται, τόσο με το σωματοαισθητικό φλοιό, όσο και με τον οπτικό. Στους βλέποντες, όμως, αυτή η δεύτερη σύνδεση καλύπτεται ή μάλλον εκφυλίζεται, ενώ φαίνεται να παραμένει λειτουργική στους πρώιμα τυφλούς.²⁸ Υποστηρίζεται ότι αυτού του είδους η επανοργάνωση παρατηρείται μόνο σε όσους απώλεσαν λίαν πρώιμως την όρασή τους.²⁶ Εντούτοις, νεότερα δεδομένα υποδεικνύουν ότι κάποια επανοργάνωση μπορεί να επισυμβεί και στον ώριμο εγκέφαλο.²⁷ Ανασκοπώντας το όλο θέμα, οι Roder et al²⁸ παρατηρούν ότι, κατά τα τελευταία χρόνια, ενώ η εφαρμογή των σύγχρονων απεικονιστικών μεθόδων παρέχει βάσιμα πλέον δεδομένα για την οφειλόμενη σε οπτική αποστέρηση επανοργάνωση του εγκεφαλικού φλοιού, η όλη εγκεφαλική οργάνωση της γλώσσας των τυφλών παραμένει ακόμη άγνωστη. Χρησιμοποιώντας, όμως, προκλητά δυναμικά στη διάρκεια ακρόασης κανονικών προτάσεων και προτάσεων που τελείωναν με έναν παράξενο, απρόσμενο τρόπο (π.χ. tomorrow Bobby will be ten years ...ill), οι συγγραφείς επισημαίνουν κάτι που προσεγγίζει περισσότερο τα αποτελέσματα των Larsen και Hakonsen (έλλειψη πλαγίωσης)²⁹ και τα δικά μας (ελαφρά τροποποίηση της τυπικής πλαγίωσης),² παρά εκείνα των Bertelson et al (καμιά αλλαγή στην τυπική πλαγίωση).³⁰ Στους εκ γενετής τυφλούς, δηλαδή, διαπιστώνεται μια λιγότερο εκσεσημασμένη εγκεφαλική ασυμμετρία κατά την επεξεργασία λεκτικών ερεθισμάτων (στις δεύτερες προτάσεις, οι βλέποντες εμφάνιζαν αριστερή μετωποκεντρική πλαγίωση του ευαίσθητου σε σημασιολογικές και συντακτικές διαδικασίες αρνητικού επάρματος N400, ενώ οι τυφλοί μια συμμετρική και ευρύτερη τοπογραφία).

Ο Hugdahal, ένας από τους πλέον ειδικούς στη δοκιμασία της διχωτικής ακοής, υπενθύμιζε τελευταίως

ότι η πλαγίωση των ψυχονοητικών λειτουργιών έχει ξεπεράσει προ πολλού το παραδοσιακό, απλουστευτικό σχήμα γλωσσικό/χωρικό και ότι οι νέες απεικονιστικές τεχνικές έχουν εστιάσει το ενδιαφέρον στη σχέση μεταξύ δομικής και λειτουργικής ασυμμετρίας. Παραδείγματα, η ύπαρξη ενός ευρύτερου αριστερά planum temporale, που σχετίζεται με τη γλώσσα, και η διαπιστούμενη με τη δοκιμασία της διχωτικής ακοής πλαγίωση που «οδηγείται» από το ερέθισμα (stimulus-driven laterality), ως προς εκείνη που «οδηγείται» διά της εκπαίδευσης (instruction-driven laterality). Έτσι, η παρατηρούμενη σε κάθε στιγμή ημισφαιρική κυριαρχία είναι το άθροισμα της δυναμικής διαντίδρασης μεταξύ αυτών των δύο.³¹ Το παράδειγμα των εκ γενετής τυφλών αλλά και των εκ γενετής κωφών,³² ομάδων δηλαδή που χρησιμοποιούν ειδικά συστήματα γλώσσας, φαίνεται να είναι εύγλωττα.

A. Καράβατος

Α΄ Ψυχιατρική Κλινική

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

- KARAVATOS A. Η δυναμική της εγκεφαλικής ημισφαιρικής πλαγίωσης. Νευροψυχολογική μελέτη πληθυσμού εγγραμμάτων εκ γενετής τυφλών με τη δοκιμασία της διχωτικής ακοής. Διδακτορική Διατριβή, Θεσσαλονίκη, 1982
- KARAVATOS A, KAPRINIS G, TZAVARAS A. Hemispheric specialization for language in the congenitally blind: the influence of the Braille system. *Neuropsychologia* 1984, 22:521–525
- TZAVARAS A, KAPRINIS G, GATZOYAS A. Literacy and hemispheric specialization for language. Digit dichotic listening in illiterates. *Neuropsychologia* 1981, 19:565–570
- TZAVARAS A, PHOCAS C, KAPRINIS G, KARAVATOS A. Literacy and hemispheric specialization for language: dichotic listening in young functionally illiterate men. *Percept Mot Skills* 1993, 77: 195–199
- CASTO-CALDAS A, PETERSON KM, REIS A, STONE-ELANDER S, INGVAR M. The illiterate brain. Learning to read and write during childhood influences the functional organization of the adult brain. *Brain* 1998, 121:1053–1063
- NICCUM N, SPEAKS C. Interpretation of outcome on dichotic listening tests following stroke. *J Clin Exp Neuropsychol* 1991, 13: 614–628
- MOORE BD 3rd, PAPANICOLAOU AC. Dichotic listening in aphasics: response to Niccum and Speaks. *J Clin Exp Neuropsychol* 1992, 14:641–645
- MAGUIRE EA, GADIAN DG, JONSRUDE IS, GOOD CD, ASHBURNER J, FRACKOWIAK RSJ ET AL. Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers. *Proc Natl Acad Sci USA* 2000, 97: 4398–4403
- KARAVATOS ΑΘ. Περί φρενολογίας σήμερα. Προοίμιο στο: Λαντέρι-Λορά Ζ. *Ιστορία της φρενολογίας* (μτφ. Κ. Πόταγας), Εξάντας, 1999:11–25
- TERRAZAS A, McNAUGHTON BL. Brain growth and the cognitive map. *Proc Natl Acad Sci USA* 2000, 97:4414–4416
- WITELSON SF, KIGAR DL, HARVEY T. The exceptional brain of Albert Einstein. *Lancet* 1999, 353:2149–2153
- GALABURDA AM. Albert Einstein's brain. *Lancet* 1999, 354: 1821–1823
- VERNANT ZP. *Μύθος και σκέψη στην Ελλάδα*. Ολκός, Αθήνα, 1975
- HATWELL Y. Perception tactile et développement cognitive des aveugles-nés. In: Poulsen D, Lairy A, Remond A (eds) *La formation du regard*. Colloque INSERM, 1971:225–244
- VAN BOVEN RW, HAMILTON PH, KAUFFMAN T, KEENAN JP, PASCUAL-LEONE A. Tactile spatial resolution in blind Braille readers. *Neurology* 2000, 54:2230–2236
- GRANT AC, THIAGARAJAH MC, SATHIAN K. Tactile perception in blind Braille readers: a psychophysical study of acuity and hyperacuity using grating and dot patterns. *Perc Psychophys* 2000, 62: 301–312
- HAMILTON RH, PASCUAL-LEONE A. Cortical plasticity associated with Braille learning. *Trends Cogn Sci* 1998, 2:168–174
- KELLER TA, CARPENTER PA, JUST MA. The neural bases of sentence comprehension: a fMRI examination of syntactic and lexical processing. *Cereb Cortex* 2001, 11:223–237
- PAPANICOLAOU AC, SIMOS PG, BREIER JL, WHELESS JW, MANCIAS P, BAUMGARTNER JE ET AL. Brain plasticity for sensory and linguistic functions: a functional imaging study using magnetoencephalography with children and young adults. *J Child Neurol* 2001, 16:241–252
- PASCUAL-LEONE A, TORRES F. Sensorimotor cortex representation of the reading finger of Braille readers: an example of activity-induced cerebral plasticity in humans. *Brain* 1993, 116:39–52
- PASCUAL-LEONE A, CAMMAROTA A, WASSERMANN EM, BRASIL-NETO JP, COHEN LG, HALLET M. Modulation of motor cortical outputs to the reading hand of Braille readers. *Ann Neurol* 1993, 34:33–37
- STERR A, MULLER MM, ELBERT T, ROCKSTROH B, PANTEV CH, TAUB E. Perceptual correlates of changes in cortical representation of fingers in blind multifinger Braille readers. *J Neurosci* 1998, 18:4417–4423
- SADATO N, PASCUAL-LEONE A, GRAFMAN J, DEIBER MP, IBANEZ V, HALLET M. Neural networks for Braille reading by the blind. *Brain* 1998, 121:1213–1229
- HAMILTON RH, PASCUAL-LEONE A. Cortical plasticity associated with Braille learning. *Trends Cogn Sci* 1998, 2:168–174
- FISHMAN RS. Brain wars: passion and conflict in the lateralization of vision in the brain. *Doc Ophthalmol* 1995, 1–2:173–184
- BUCHSEL Ch. Functional neuroimaging studies of Braille reading: cross-modal reorganization and its implications. *Brain* 1999, 121:1193–1194
- KUJALA T, ALHO K, NAATANEN R. Cross-modal reorganization of human cortical functions. *Trends Neurosci* 2000, 23:115–120
- RODER B, ROSLER F, NEVILLE HJ. Event-related potentials during auditory language processing in congenitally blind and sighted people. *Neuropsychologia* 2000, 38:1482–1502
- LARSEN S, HAKONSEN K. Absence of ear asymmetry in blind children on a dichotic listening task compared to sighted controls. *Brain Lang* 1983, 18:192–198
- BERTELSON P, MORAIS J, MOUSTY Ph, HUBLET CI. Spatial constraints on attention to speech in the blind. *Brain Lang* 1987, 32:68–75
- HUGDAHAL K. Lateralization of cognitive processus in the brain. *Acta Psychol* 2000, 105:211–235
- NEVILLE HJ, BAVELIER D, CORINA D, RAUSCHHECKER J, KARNI A, LALWANI A ET AL. Cerebral organisation for language in deaf and hearing subjects: biological constraints and effects of experience. *Proc Natl Acad Sci USA* 1998, 95:922–929