

Σχετικά με την ανατομία του γλωσσικού κυκλώματος

Νικόλαος Μακρής

M.D., Ph.D., αναπληρωτής καθηγητής Ψυχιατρικής και Νευρολογίας, Τμήματα Ψυχιατρικής και Νευρολογίας, Γενικό Νοσοκομείο Μασαχουσέτης, Ιατρική Σχολή Harvard.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Από την εποχή του Paul Broca το 1861¹ οι ανατομικο-κλινικές συσχετίσεις έχουν δημιουργήσει τα θεμέλια για την κατανόηση της λειτουργίας της γλώσσας και την αποδόμησή της του στην αφασία². Οι μελέτες αυτές βασίστηκαν στις συσχετίσεις μεταθανατίων ευρημάτων μεταξύ φλοιωδών κέντρων και γλωσσικών διαταραχών. Τα τελευταία χρόνια, η έλευση της απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού (MRI), μας επέτρεψε να αποκτήσουμε τις απαραίτητες γνώσεις για τη δομή και τη λειτουργία του εγκεφάλου σε πρωτοφανή βαθμό και επηρέασε βαθύτατα την εξέλιξη των απόψεών μας για τον τρόπο λειτουργίας του εγκεφάλου. Σε αυτό το δοκίμιο επιχειρείται μια σύντομη ανασκόπηση σε πρωτότυπες πρωτοποριακές και τρέχουσες ανατομικές εργασίες σχετικές με το κύκλωμα της γλώσσας.

ΔΟΜΗ, ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΑΡΤΙΩΣΗΣ ΤΟΥΣ

Κρίσιμο ζήτημα για τη λειτουργία της γλώσσας είναι οι λειτουργικές και ανατομικές συνδέσεις, που καθορίζουν την ανθρώπινη ικανότητα για κατανόηση και παραγωγή προφορικού λόγου. Το σύστημα που διέπει τη λειτουργία της γλώσσας είναι σήμερα υπό συζήτηση όσον αφορά την ανατομική και λειτουργική οργάνωση του. Όπως Broca¹ δήλωσε αρχικά, “Το μεγαλύτερο εμπόδιο στη φυσιολογία της γλώσσας προέρχεται από την αβεβαιότητα που δημιουργείται από την ανεπαρκή λειτουργική ανάλυση που προαπαιτεί την διερεύνηση των οργάνων που συνδέονται με αυτή τη λειτουργία”². Η δήλωση αυτή

έχει υιοθετηθεί από πολλά νευροεπιστήμονες από τότε και μέχρι σήμερα. Έτσι, η αρτίωση της ανατομικής δομής με τη λειτουργία αυτού του συστήματος είναι σημαντική διότι οι λειτουργικές αλληλεπιδράσεις θα πρέπει να ορίζονται από την ανατομία και η ανατομία πρέπει να αντικατοπτρίζεται σε λειτουργικές αλληλεπιδράσεις επιτρέποντας έτσι μια κατανοητή εξήγηση της λειτουργίας αυτού του συστήματος σε φυσιολογικές συνθήκες και της αποδόμησής του κατά την νόσο (David Gow, διαπροσωπική επικοινωνία). Η αρτίωση είναι ένα γενικό ζήτημα στη νευροεπιστήμη, και η γλώσσα παρέχει ιστορικά ένα εντυπωσιακά καλά καθορισμένο μοντέλο για το πρόβλημα.

ΤΟ ΑΝΑΤΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΓΛΩΣΣΑΣ

Κατά παράδοση, εθεωρείτο ότι η διαδικασία της γλώσσας πραγματοποιείται από ένα δίκτυο, που περιλαμβάνει μετωπιαίο-κροταφικό-βρεγματικές περιοχές του ανθρώπινου εγκεφαλικού φλοιού³⁻⁷. Συγκεκριμένα, η περιοχή Broca στον μετωπιαίο λοβό, η γωνιώδης έλιξ στο κατώτερο βρεγματικό λοβίο, η περιοχή του Wernicke στον κροταφικό λοβό, και οι διασυνδέσεις τους μέσω της τοξοειδούς δέσμης και της κατώτερης επιμήκου δέσμης έχουν θεωρηθεί ως οι κύριες συνιστώσες του δικτύου, που είναι υπεύθυνο για την γένεση και έκφραση της γλώσσας³⁻⁷. Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι η κατανόηση του συστήματος ανατομίας της γλώσσας δεν μεταβλήθηκε σημαντικά για σχεδόν έναν αιώνα. Αυτό οφείλεται πιθανότατα στην έλλειψη μιας μεθοδολογίας που θα μπορούσε να μας δώσει τη δυνατότητα διερεύνησης της οδολογίας μεταξύ των φλοιωδών κέντρων αυτού του νευρικού συστήματος, όπως έχει γίνει σε πειραματόζωα⁸. Οι παρατηρήσεις αυτές βασίζονται σε κλινικές και παθολογοανατομικές μελέτες. Μία εκτεταμένη ανασκόπηση για αυτό το θέμα μπορεί να βρεθεί στο σχετικό σύγγραμμα του Carlan⁹. Τα τελευταία χρόνια, η θέση αυτή έχει λάβει μεγαλύτερη στήριξη από τις παρατηρήσεις απεικόνισης που προέρχονται από δομικές, λειτουργικές και κλινικές μελέτες^{10, 11, 12}. Πρόσφατα, ωστόσο, εναλλακτικά μοντέλα της επεξεργασίας της ομιλίας έχουν επίσης προταθεί. Οι Hickock και Poeppel¹³, προσπάθησαν να διαφωτίσουν τη λειτουργική ανατομία της γλώσσας. Βασίστηκαν σε παρατηρήσεις αξιολόγησης αποτελέσματος μετά από ερεθισμό ενώ χαρτογραφούσαν συστήματα σχετιζόμενα με την διαδικασία της ομιλίας. Έτσι, ισχυρίστηκαν, ότι μία κοιλιακή κροταφο-μετωπιαία οδός είναι υπεύθυνη για την ακουστική κατανόηση με την επεξεργασία των σημάτων ομιλίας και την μετάφραση εισαγόμενων σημάτων ομιλίας σε νόημα. Ταυτόχρονα, μία ραχιαία μετωπο-βρεγματική οδός αρτιώνει ακουστικά σήματα ομιλίας

με κινητικές και αρθρικές εκφράσεις. Σε μια πρόσφατη ανασκόπηση, η Friederici¹⁴ πρότεινε ένα μοντέλο της επεξεργασίας του λόγου που αποτελείται από ένα ραχιαίο μονοπάτι και δύο ακόμη κοιλιακά ευρισκόμενες διαδρομές. Σε αυτό το μοντέλο, το ραχιαίο μονοπάτι συνδέει την κατώτερη μετωπιαία έλικα (καλυπτρική μοίρα της κάτω μετωπιαίας έλικας-opercularis pars, περιοχή 44 του Brodmann) με την υπερχειλίο έλικα (περιοχή Brodmann 40) και τα ανώτερα και μεσαία κροταφική έλικα μέσω της ανώτερης κροταφικής δέσμης.

Από την άλλη πλευρά, οι κοιλιακές οδοί συνδέουν την κατώτερη μετωπιαία έλικα, (τρίγωνη μοίρα-Pars triangularis, περιοχή Brodmann 45) με τον κεφαλικό τμήμα της ανώτερης κροταφικής έλικας μέσω δύο διαφορετικών δεσμών, που ονομάζονται αγκιστρωτή δέσμη και εξωτάτη κάψα, αντίστοιχα. Σύμφωνα με αυτό το σχήμα, η ραχιαία γραμμή παίζει ρόλο στην συντακτική επεξεργασία ιεραρχικά πολύπλοκων φράσεων, ενώ η κοιλιακή διαδρομή, που εξυπηρετείται από την αγκιστρωτή δέσμη παίζει ρόλο στην συντακτική επεξεργασία των απλών φράσεων. Τέλος η κοιλιακή οδός μέσω της εξωτάτης κάψας έχει σχέση με την συντακτική επεξεργασία και την γλωσσική κατανόηση. Πιο πρόσφατα, ωστόσο, μια νέα άποψη για το σχετιζόμενο με την γλώσσα κύκλωμα έχει υποβληθεί με βάση δομικές και λειτουργικές μελέτες νευροαπεικονιστικές^{15, 16, 17}. Έτσι, με την απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού διάχυσης (DTI) ο Frey et al¹⁵ έχουν δείξει ότι οι δύο υποδιαίρεσεις της περιοχής Broca συνδέονται διαφορετικά με τον βρεγματικό-κροταφικό φλοιό. Συγκεκριμένα, η κατώτερη μετωπιαία έλικα, (Pars opercularis, BA 44) συνδέεται με την υπερχειλίο έλικα (BA 40) μέσω της ανωτέρας επιμήκου δέσμης III, και η κατώτερη μετωπιαία έλικα (Pars triangularis, περιοχή Brodmann 45) συνδέεται με την ανώτερη χρονική έλικα μέσω της ακραίας κάψας.

Παλιότερες μελέτες έχουν προτείνει ότι ολόκληρη η περιοχή Broca (αποτελούμενη από Pars triangularis, Pars opercularis και κογχική μοίρα) είναι συνδεδεμένη με την οπίσθια κροταφική περιοχή μέσω της τοξοειδούς δέσμης. Η μελέτη αυτή ισχυρίζεται, ότι η τοξοειδής δέσμη συνδέει περιοχές, που βρίσκονται ραχιαία της περιοχή Broca, δηλαδή τις περιοχές Brodmann 6 και 8. Σε μία άλλη μελέτη, οι Saur και συν¹⁷, συνδυάζοντας την λειτουργική μαγνητική τομογραφία με δεσμογραφία μέσω MRI διάχυσης, έδειξε ότι μια σχετιζόμενη με τη γλώσσα ραχιαία οδός που συνδέει την ανώτερη κροταφική έλικα με προ-κινητικές μετωπιαίες περιοχές συμπεριελάμβανε την τοξοειδή δεσμη και την ανώτερη επιμήκη δέσμη III, η οποία εξυπηρετεί την συλλαβική επανάληψη του λόγου. Από την άλλη πλευρά μία κοιλιακή οδός σχετιζόμενη με

την γλώσσα, που συνδέει τη μέση κροταφική έλικα και την ατρακτοειδή (εξω κροταφοϊνιακή) έλικα με τον κοιλιο-πλάγιο προμετωπιαίο φλοιό μέσω της εξωτάτης κάψας φαίνεται ότι συμμετέχουν στην υψηλού επιπέδου σημασιακή επεξεργασία και στην ακουστική κατανόηση φράσεων. Μια άλλη δεσμογραφική μελέτη μέσω MRI διάχυσης¹⁹ έδειξε ότι η εξωτάτη κάψα είναι μία μακρά συνδετική φλοιο-φλοιώδης δέσμη, η οποία συνδέει το ανώτερο χρονικό γκουρού με την κατώτερη μετωπιαία έλικα (Pars triangularis, περιοχή Brodmann 45). Με βάση αυτές τις παρατηρήσεις, μια εναλλακτική οδός για το παραδοσιακό σχήμα της γλώσσας έχει προταθεί η οποία περιλαμβάνει την ακροτάτη δέσμη και μία πρόσφατα ανακαλυφθείσα στον ανθρώπινο εγκέφαλο δέσμη δηλαδή την μέση επιμήκη δέσμη^{18,19,20}. Αυτή η δέσμη διέρχεται μαζικά στην ανώτερη κροταφική έλικα διασυνδέοντας την περιοχή του Broca, την περιοχή του Wernicke και το κατώτερο βρεγματικό λοβίο.

ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΓΛΩΣΣΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Η γλώσσα έχει αρχίσει να αντιμετωπίζεται ως ένα νευρικό σύστημα και έχει πρώιμα αναγνωριστεί από ανατόμους^{3,4} ως ένα καταναμημένο σύστημα με εντοπισμένα κέντρα-διαδικαστές, αρτιωμένα με την βοήθεια δεσμών της λευκής ουσίας. Από γνωσιακή νευροεπιστημονική άποψη, η εκδήλωση της γλώσσας θεωρείται ως ιδιότητα έκφρασης του συστήματος. Η λειτουργικότητα των επιμέρους στοιχείων του και η αρτίωσή τους διασφαλίζει την αποτελεσματικότητα του συστήματος στο σύνολό του²¹. Ετσι, για να κατανοήσει κανείς τη γλώσσα είναι αναγκαίο να διαλευκάνει την ανατομία του συστήματος και πώς η ανατομία του αντικατοπτρίζεται στις λειτουργικές εκδηλώσεις των επιμέρους ενότητων (modules) επεξεργασίας και τις αλληλεπιδράσεις τους. Αυτή η έννοια είναι πολύ σημαντική για λόγους που περιγράφονται από τους γνωστικούς και κλινικούς τομείς της νευροεπιστήμης. Από την θέση της γνωστικής θεώρησης των νευρωνικών συστημάτων πρέπει να κατανοήσουμε το είδος των πληροφοριών που συλλέγονται για τον χαρακτηρισμό του μοντέλου διεργασίας. Επιπλέον, στην κλινική νευροεπιστήμη και την βιολογία των συστημάτων, η μελέτη πολλαπλών ανατομικών περιοχών, οι οποίες είναι οι συνιστώσες ενός δομικού και λειτουργικού κυκλώματος μπορεί να είναι μια σημαντική λεωφόρος για την ταυτοποίηση ενός βιολογικού δείκτη για μια ασθένεια²². Η τελευταία αυτή σημείωση μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις για τις διαταραχές του λόγου, όπως η δυσλεξία. Επιπλέον, από ιατρική άποψη, πρέπει να έχουμε σαφή περιγραφή του νευρικού συστήματος για την κατανόηση

των μηχανισμών της παθολογίας και την αξιολόγηση θεραπειών. Οι θεραπείες αυτές μπορούν να επηρεάσουν τη δομή του συστήματος και κυρίως τη λειτουργία του.

ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΜΕ ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ

Από μεθοδολογική άποψη, η μελέτη της ανατομικής δομής, με τη λειτουργία του συστήματος της γλώσσας και την αρτίωσή τους, σήμερα μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω πολλαπλών τεχνικών απεικόνισης. Ετσι, ο συνδυασμός μια σειράς δομικών και λειτουργικών τεχνικών θα επιτρέψει τον ορισμό των κέντρων του φλοιού στη ζώνη της γλώσσας. Το μεγάλο εύρος των μέσων απεικόνισης θα επιτρέψει σαφή χαρακτηρισμό της δομικής και λειτουργικής αρχιτεκτονικής του συστήματος της γλώσσας και θα μπορούσε να έχει ευρύτερες εφαρμογές. Οι εφαρμογές αυτές θα μπορούσαν να αναφέρονται στην αναγνώριση μεταβολών στις σχέσεις δομής-λειτουργίας σε συνθήκες ανάπτυξης, γήρασης και ειδικής νοσολογίας καθώς και σε μια μεγάλη σειρά από κλινικές καταστάσεις, όπως η δυσλεξία, η επιληψία, η διάσχιση (απώλεια λειτουργικής συνοχής μεταξύ διαφόρων κέντρων ή νευρικών οδών), που ακολουθούν εγκεφαλικό επεισόδιο και σε όγκους του εγκεφάλου που διακόπτουν δέσμες λευκής ουσίας.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τελευταία, με βάση τα στοιχεία, που έχουν συγκεντρωθεί από δομικές και λειτουργικές απεικονιστικές μελέτες, το παραδοσιακό σχήμα του κυκλώματος γλώσσας έχει αμφισβητηθεί. Εδώ, αυτή η αντιπαράθεση ανασκοπήθηκε επιγραμματικά. Επιπλέον, μια πολλαπλή απεικονιστική προσέγγιση ενδείκνυται ως μέσο για να διαφωτισθεί η δομή και η λειτουργία του συστήματος γλώσσας. Αυτή η μεθοδολογική προσέγγιση αναμένεται να επιτρέψει τη διαλεύκανση αυτού του συστήματος σε φυσιολογικές συνθήκες αλλά και κατά την αποδόμησή του σε διάφορες νοσολογικές καταστάσεις.

SUMMARY

**On the anatomy of the language circuitry
N. Makris, M.D, Ph.D.**

Since Paul Broca in 1861¹, anatomical-clinical correlations have created the foundation for understanding the language function and its breakdown in aphasia². These studies were based on associations of postmortem findings of individual cortical centers

and linguistic abnormalities. In recent years, the advent of magnetic resonance imaging (MRI) technology has allowed us to gain insight regarding the structure and function of the brain in an unprecedented way and has influenced profoundly the evolution of our views on how the brain works. In this essay are reviewed briefly original pioneering and current anatomical formulations regarding the language circuitry.

** Η απόδοση στα Ελληνικά έγινε σε συνεργασία με τον κ. Μίλτο Π. Βασιλείου*

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Broca, P. Remarques sur la siege de la faculte' du language articule' suivies d'une observation d'aphemie (perte de la parole). Bulletin de la Societe' d' Anthropologie, aut 1861, t. VI, pp. 330-357.
- 2) Hecaen, H. and Dubois J. (1969). La naissance de la Neuropsychologie du Language: 1825-1865. Flammarion, Paris.
- 3) Wernicke, C. (1874). The aphasic symptom complex (Der aphasische Symptomenkomplex). Kohn and Weigart, Breslau. Reprinted in translation in R. S. Cohen and W. Warofsky (eds.), Boston Studies in the Philosophy of Science, vol. 4. Reidel, Boston.
- 4) Lichtheim, L. (1885). On aphasia. Brain 7: 433-484.
- 5) Dejerine, J. (1901). Anatomie des Centres Nerveux. Tome 2. pp. 247-252. Paris, France, Rueff et Cie.
- 6) Geschwind, N. (1965a). Disconnexion syndromes in animals and man. I. Brain 88(2): 237-294.
- 7) Geschwind, N. (1965b). Disconnexion syndromes in animals and man. II. Brain 88(3): 585-644.
- 8) Makris, N. et al (2002). Diffusion Tensor Imaging. in Neuropsychopharmacology: The Fifth Generation of Progress, K.L. Davis, et al., Editors. 2002, Lippincott, Williams, and Wilkins: New York. p. Chapter 27.
- 9) Caplan, D. (1987). Neurolinguistics and linguistic aphasiology: An introduction. (Cambridge studies in speech studies and communication). Cambridge University Press.
- 10) Catani M., Howard RJ, Pajevic S, Jones DK. (2002). Virtual in vivo interactive dissection of white matter fasciculi in the human brain. Neuroimage 17(1): 77-94.
- 11) Catani, M. Jones DK, ffytche DH. (2005). Perisylvian language networks of the human brain. Annals of Neurology 57(1): 8-16.
- 12) Makris, N. et al. (Epub Dec 9, 2004). Segmentation of subcomponents within the superior longitudinal fascicle in humans: A quantitative, in vivo, DT-MRI study. Cerebral Cortex.
- 13) Hickock, G. and Poeppel, D. (2007). The cortical organization of speech processing. Nature Neuroscience Reviews, Vol. 8, pp. 393-402.
- 14) Friederici, A. (2009). Pathways to language: fiber tracts in the human brain. Trends in Cognitive Sciences, Vol. 13, No.4, pp. 175-181.
- 15) Frey, S. et al (2008). Dissociating the human language pathways with high angular resolution diffusion fiber tractography. Journal of Neuroscience, 28(45): 11435-11444.
- 16) Makris, N. and Pandya, DN. (Epub 23 December 2008). The extreme capsule in humans and rethinking of the language circuitry. Brain Structure and Function. 213: 343-358.
- 17) Saur, D. et al, (2008). Ventral and dorsal pathways for language. Proceedings of National Academy of Science USA, 105(46): 18035-18040.
- 18) Makris, N. (1999). Delineation of human association fiber pathways using histologic and magnetic resonance. Behavioral Neuroscience. Boston, Boston University: 176.
- 19) Makris, N. et al. (2008). Delineation of the middle longitudinal fascicle in humans: A quantitative, in vivo, DT-MRI study. Cerebral Cortex.
- 20) Petrides, M. and Pandya, DN. (2009). Distinct parietal and temporal pathways to the homologues of Broca's area in the monkey. PLoS BIOLOGY, 7(8): 1-16.
- 21) Mesulam, MM. (1998). From sensation to cognition. Brain 121 (Pt 6):1013-1052.
- 22) Hyman, SE. and Nestler EJ. (1993). The Molecular Foundations of Psychiatry. Washington, DC: American Psychiatric Press.