

Επίδραση του Κοχλιακού Εμφυτεύματος στην Γλωσσική Ανάπτυξη



Πάρης Μπίνος

Μπίνος Πάρης¹

1. Τμήμα Επιστημών Αποκατάστασης, Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Υπεύθυνος επικοινωνίας:

Πάρης Χρ. Μπίνος,

Αρχιεπισκόπου Κυπριανού 30,

3036 Λεμεσός, Κύπρος

Τηλ. +35796217074,

e-mail: paris.binos@cut.ac.cy

Περίληψη

Θεωρητικό υπόβαθρο: Η μελέτη της γλωσσικής ανάπτυξης μέσα από την επίδραση του κοχλιακού εμφυτεύματος, ως αποκαταστατικής μεθόδου απώλειας της ακοής έχει θεωρητικό αλλά και κλινικό ενδιαφέρον. Η κοχλιακή εμφύτευση πέρα από τον ιατρικό της χαρακτήρα, συμβάλει και στη καλύτερη κατανόηση της σχέσης μεταξύ αντίληψης και παραγωγής της ομιλίας¹. **Κλινικές Εφαρμογές:** Η χρήση νευροαπεικονιστικών τεχνικών, όπως η Λειτουργική Μαγνητική Τομογραφία (fMRI), μπορεί και συμβάλει στην βελτίωση της αποδοτικότητας των κοχλιακών εμφυτευμάτων. **Επιπτώσεις:** Η ανάπτυξη διαγνωστικών μεθόδων πρώιμης ανίχνευσης της αποδοτικότητας των κοχλιακών εμφυτευμάτων, μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσα από τον συνδυασμό νευροαπεικονιστικών τεχνικών και της αξιολόγησης της γλωσσικής ανάπτυξης. Τα αποτελέσματα του συνδυασμού των τεχνικών αυτών έχουν υψηλή διαγνωστική αξία για τις διεπιστημονικές ομάδες κοχλιακής εμφύτευσης. **Μελλοντικές Προοπτικές:** Η ανάπτυξη έγκυρων διαγνωστικών μεθόδων θα συμβάλει καθοριστικά στην κατακόρυφη άνοδο της αποτελεσματικότητας της κοχλιακής εμφύτευσης, αλλά και της λογοθεραπευτικής επίδρασης. Η ανάπτυξη επικοινωνιακών μεθόδων που θα εστιάζουν στην ακουστικο-προφορική εκπαίδευση, κρίνεται ιδιαίτερα θετική για τους λήπτες κοχλιακών εμφυτευμάτων πολύ μικρής χρονολογικής ηλικίας.

Key words: γλωσσική ανάπτυξη, κοχλιακό εμφύτευμα, εγκεφαλικός φλοιός, βάβισμα, Λειτουργική Μαγνητική Τομογραφία

The effect of Cochlear Implantation in Language Development

Binos Paris¹

1. Department of Rehabilitation, Cyprus University of Technology

Summary

Theoretical Background: The study of Language Development through the Cochlear Implantation (CI) perspective includes theoretical and clinical implications. Cochlear implantation is a medical process but contributes also to a better understanding of the complex relationships between the cognitive abilities of comprehension and production of language¹. **Clinical Implications:** The use of neuroimaging techniques, like the functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI) can contribute to CI efficiency. **Effects:** The simultaneous combination of neuroimaging techniques with language assessment procedures can offer a very early diagnostic tool concerning the CI efficiency. These findings concern basically the multidisciplinary CI groups due to their high predictive value. **Future Prospects:** The development of valid early diagnostic methods will contribute decisively to the effectiveness of cochlear implantation and to the intervention of speech pathology. An intervention based on auditory-oral education is suggested as the most promising, especially for early recipients.

Εισαγωγή

Σύμφωνα με το Αμερικανικό Κέντρο Ελέγχου και Πρόληψης Νοσημάτων² (CDC) για κάθε 1000 παιδιά στις Η.Π.Α, το 65% γεννιέται με κάποια ανιχνεύσιμη απώλεια ακοής στο ένα ή και στα δύο αυτιά. Εξ' αυτών 38.000 παιδιά έγιναν λήπτες κοχλιακών εμφυτευμάτων μέχρι και το 2012 (Αμερικανικός Οργανισμός Τροφίμων και Φαρμάκων-FDA)³, ενώ από το 2000 ο ίδιος οργανισμός ενέκρινε την εμφύτευση και σε παιδιά 12 μηνών⁴, παρόλο που σήμερα πραγματοποιείται τοποθέτηση κοχλιακού εμφυτεύματος και σε παιδιά κάτω του ενός έτους⁵. Οι συνέπειες της μη τοποθέτησης για την γλωσσική ανάπτυξη έχουν σήμερα μελετηθεί, αφού τα παιδιά αυτά εμφανίζουν καθυστερημένη γλωσσική ανάπτυξη και ομιλία, επηρεάζοντας τελικά το συνολικό επικοινωνιακό προφίλ των παιδιών^{6,7}.

Από την άλλη μεριά, σύμφωνα με πρόσφατα

ερευνητικά δεδομένα⁸, ένα 30% των ληπτών δεν εμφανίζουν τα αναμενόμενα κέρδη από την κοχλιακή εμφύτευση. Η μεγάλη πρόκληση για τις διεπιστημονικές ομάδες κοχλιακής εμφύτευσης, αλλά και ειδικά για την Λογοπαθολογία είναι:

1) να εντοπίσει αρχικά πιθανές αιτίες αυτής της αποτυχίας, που αφορούν τα μειωμένα επικοινωνιακά κέρδη παρά την χρήση των κοχλιακών εμφυτευμάτων,

2) να μειώσει τα ανωτέρω ποσοστά και

3) να αναπτύξει αξιόπιστες τεχνικές πρόβλεψης των επικοινωνιακών επιδόσεων των ληπτών, με σκοπό την βελτίωση της διαγνωστικής διαδικασίας.

Στόχος του παρόντος άρθρου είναι να παρέχει απαντήσεις στις παραπάνω κλινικές προκλήσεις, μέσα από μια ανασκόπηση των σύγχρονων τεχνικών που εφαρμόζονται ή βρίσκονται υπό εξέλιξη. Η παροχή σύγχρονων μεθόδων και εργαλείων για

την πρώιμη ανίχνευση των επικοινωνιακών επιδόσεων των νέων ληπτών κοχλιακών εμφυτευμάτων αποτελεί σήμερα μέγιστη ανάγκη. Ο συνεχώς αυξανόμενος πληθυσμός παιδιών που λαμβάνουν κοχλιακά εμφυτεύματα⁹, οι κίνδυνοι αναισθητοποίησης κατά την χειρουργική επέμβαση όσο και το υψηλό κόστος της όλης διαδικασίας προ-εγχειρητικά και μετεγχειρητικά¹⁰, καθιστούν την ανασκόπηση των νέων προσεγγίσεων αναγκαία προς ενημέρωση όλων των εμπλεκομένων.

Παράγοντες επηρεασμού της γλωσσικής επίδοσης

Πλήθος παραγόντων αξιολογήθηκε από την βιβλιογραφία, για το εάν και κατά πόσο επηρεάζουν την γλωσσική ανάπτυξη. Μεταξύ αυτών η χρονολογική ηλικία (chronological age), η ηλικία εμφύτευσης (implantation age), η μετεγχειρητική ηλικία (post-implant age), η αιτιολογία της κώφωσης, οι μέθοδοι αξιολόγησης των γλωσσικών ικανοτήτων, το υπόλοιπο ακοής προ-εγχειρητικά και το φύλο^{8,11,12,13,14}. Πολύ σημαντικός παράγοντας προς διερεύνηση, που αφορά άμεσα και την Λογοπαθολογία, ήταν και το επιλεγόμενο μοντέλο εκπαίδευσης μετεγχειρητικά. Δηλαδή, ποιο μοντέλο επικοινωνίας (ολικό ή προφορικό) επιλέχθηκε στα διάφορα εκπαιδευτικά πλαίσια¹⁵. Η σημαντικότητα της επιλογής του επικοινωνιακού μοντέλου πάνω στο οποίο θα βασιζόνταν η μετεγχειρητική αποκατάσταση έχει τονιστεί και σε άλλες μελέτες. Συγκεκριμένα μαζί με παράγοντες όπως το χρονικό διάστημα της απώλειας της ακοής (πριν την λήψη του κοχλιακού εμφυτεύματος), ο χρόνος χρήσης του εμφυτεύματος ή τα τεχνικά χαρακτηριστικά της ίδιας της συσκευής βρέθηκαν πως σχετίζονται, σε ποσοστό 50%, με τη μετεγχειρητική επίδοση στην αντίληψη της ομιλίας¹⁶.

Στόχος της έγκαιρης κοχλιακής εμφύτευσης μετεγχειρητικά, πρέπει να είναι η επίτευξη ενός γλωσσικού επιπέδου συγκρίσιμου με τα παιδιά φυσιολογικής ακοής και η έκθεση των νεαρών ληπτών στην γλώσσα του περιβάλλοντος^{17,18}. Παλαιότερες έρευνες πρότειναν την κοχλιακή εμφύτευση στην ηλικία των δύο ετών, καταλήγοντας σε αυτό μέσα από συγκρίσεις παιδιών μεγαλύτερης χρονολογικής ηλικίας που έλαβαν το κοχλιακό σε ηλικίες τριών ή τεσσάρων ετών, τα οποία υστερούν σε σχέση με τα νωρίτερα εμφυτευμένα^{19,20,21,22}. Άλλα δεδομέ-

να έδειξαν ότι τα οφέλη για την προφορική γλώσσα είναι μεγάλα για τις περιπτώσεις κοχλιακής εμφύτευσης πριν τους 18 μήνες²³, ενώ και πριν τους 16 μήνες οφέλη εμφανίζονται στη ποικιλομορφία του λεξιλογίου ή ακόμα και σε τομείς της προ-γλωσσικής ανάπτυξης όπως το κανονιστικό βάβισμα^{24,25}. Η αργή εμφάνιση των δομών του κανονιστικού βαβίσματος έχει συσχετιστεί με την διάγνωση γλωσσικών διαταραχών όπως, η δυσarthρία, η απραξία, φωνολογικές διαταραχές ή ακόμα και με την ύπαρξη προβλημάτων ακοής ή και αυτισμού²⁶.

Σύμφωνα δε με την έρευνα των Gillis και συν.²⁷, τα νήπια τα οποία έλαβαν κοχλιακό εμφύτευμα πριν τους 24 μήνες, σε σύγκριση με τα νήπια που έλαβαν το εμφύτευμα πριν τους 12 μήνες έδειξαν άμεση παραγωγή των δομών του κανονιστικού βαβίσματος. Συγκεκριμένα, η ομάδα που έλαβε κοχλιακό έως τα δύο έτη χρειάστηκε από 0 έως και 4 μήνες χρήσης του εμφυτεύματος, ώστε να παράγει τις πρώτες δομές του κανονιστικού βαβίσματος, αποδεικνύοντας ότι η συγκεκριμένη ομάδα δεν χρειάζεται 6-10 μήνες μετεγχειρητικής ακουστικής εμπειρίας, όπως συμβαίνει με τα νήπια φυσιολογικής ακοής, για να παράγει αυτές τις σημαντικές φωνητικές δομές. Από την άλλη μεριά, οι Colletti και συν.⁷ διαπίστωσαν επιδόσεις άμεσης εμφάνισης των δομών του βαβίσματος σε νήπια που έλαβαν κοχλιακό εμφύτευμα πριν τους 12 μήνες. Συγκεκριμένα ανέφεραν εμφάνιση αυτών των δομών μετεγχειρητικά, μέσα στο πρώτο τρίμηνο. Συνεπώς, το ερώτημα το οποίο καλείται να απαντήσει η σύγχρονη έρευνα είναι το εξής: Γιατί οι νεαροί λήπτες κοχλιακών εμφυτευμάτων εμφανίζουν μια καλύτερη φωνητική επίδοση έχοντας μικρότερη ακουστική εμπειρία, σε σύγκριση με τα νήπια φυσιολογικής ακοής;

Ερευνητικά δεδομένα

Η τάση αυτή μάλιστα είναι ισχυρότερη στα νήπια μεγαλύτερης χρονολογικής ηλικίας που έλαβαν το κοχλιακό²⁸. Για την εξήγηση αυτής της τάσης των μεγαλύτερων χρονολογικά νηπίων με κοχλιακά να εμφανίζουν νωρίτερα φωνητικές δομές, οι οποίες αρθρωτικά θεωρούνται ανώτερου και ωριμότερου επιπέδου, κατά την τυπική γλωσσική ανάπτυξη, διατυπώθηκαν διάφορες υποθέσεις. Μεταξύ αυτών και η υπόθεση της «προχωρημένης ωρίμανσης»²⁶, λόγω του ότι έλαβαν το κοχλιακό βοήθημα σε μεγαλύτερη δηλαδή χρονολογική ηλικία,

γεγονός που επέτρεψε σε αυτά, να αναπτυχθούν περισσότερο νευρολογικά, γνωστικά και κοινωνικά²⁷. Άλλη μια υπόθεση που διατυπώθηκε βασίστηκε στο προ-εγχειρητικό υπόλοιπο ακοής, το οποίο θεωρείται άλλος ένας παράγοντας της αποδοτικότητας του εμφυτεύματος. Το υψηλό υπόλοιπο προ-εγχειρητικά έχει συσχετιστεί με καλύτερη γλωσσική πρόγνωση για τους λήπτες των κοχλιακών εμφυτευμάτων¹⁰. Παρόλα αυτά, σύμφωνα με την ανάλυση παλινδρόμησης (regression analysis) της έρευνας των Tan και συν¹⁰, διαπιστώθηκε ότι οι παράγοντες της ηλικίας εμφύτευσης και του υπολοίπου ακοής, αποτυγχάνουν να προβλέψουν την γλωσσική επίδοση μετεγχειρητικά, που παραμένει όμως το βασικό ζητούμενο και παράγοντας επιτυχίας ή μη της κοχλιακής εμφύτευσης.

Νέες τεχνικές πρόβλεψης της γλωσσικής επίδοσης

Πρόσφατα ερευνητικά δεδομένα έρχονται να δώσουν λύσεις στην αναδυόμενη ανάγκη πρόβλεψης της αποδοτικότητας του εμφυτεύματος, μέσω της πρόβλεψης της γλωσσικής επίδοσης^{10,30}. Σύμφωνα με ερευνητικά δεδομένα των νευροαπεικονιστικών τεχνικών πολλές γλωσσικές ικανότητες έχουν ήδη εντοπιστεί στον εγκεφαλικό φλοιό. Έτσι, η άνω κροταφική έλικα (Superior Temporal Gyrus-STG), μια φλοιϊκή περιοχή σχετιζόμενη με την αντίληψη της ομιλίας³¹ ενεργοποιείται από τα εισερχόμενα ομιλητικά ακουστικά ερεθίσματα³², ενώ η επεξεργασία της σημασιολογίας, ως υποσύστημα της γλώσσας, πραγματοποιείται κυρίως στην μέση κροταφική έλικα (Middle Temporal Gyrus)³³. Σύμφωνα μάλιστα με τους Jamison και συν.³⁴ η δεξιά άνω κροταφική έλικα θεωρείται υπεύθυνη για την ανίχνευση των λεπτών φασματικών αλλαγών που εισέρχονται από τα ηχητικά σήματα ακόμα και μη-ομιλητικών ερεθισμάτων, ενώ η αριστερή θεωρείται υπεύθυνη των χρονικών μεταβολών (temporal variations) που παρατηρούνται κατά την ομιλία.

Με βάση τα ανωτέρω οι Tan και συν.¹⁰ βασίζονται στις δυνατότητες της Λειτουργικής Μαγνητικής Τομογραφίας (fMRI) εντόπισαν δύο εγκεφαλικές περιοχές, των οποίων η ενεργοποίηση ή μη, τις καθιστά πιθανούς βιοδείκτες για την πρόβλεψη της αποτελεσματικότητας του κοχλιακού εμφυτεύματος μέσω της αξιολόγησης της γλωσσικής επίδοσης μετεγχειρητικά. Πιο ειδικά, η έρευνά τους βασί-

στηκε σε 23 νήπια (Μ.Ο. χρονολογικής ηλικίας: 20 μήνες) με εκ γενετής νευροαισθητηριακή βαρηκοΐα (SNHL), τα οποία σύγκριναν με 21 νήπια φυσιολογικής ακοής (Μ.Ο. χρονολογικής ηλικίας: 12 μήνες). Αφού έλαβαν νευροαπεικονιστικά δεδομένα προ-εγχειρητικά από το σύνολο του δείγματος, προχώρησαν στην αξιολόγηση των γλωσσικών ικανοτήτων των νηπίων μετά την τοποθέτηση των κοχλιακών εμφυτευμάτων. Απέδειξαν την ύπαρξη θετικής συσχέτισης μεταξύ της ενεργοποίησης συγκεκριμένων περιοχών του εγκεφαλικού φλοιού με τις γλωσσικές επιδόσεις των συμμετεχόντων δύο χρόνια μετά την τοποθέτηση του εμφυτεύματος. Η ενεργοποίηση της άνω κροταφικής έλικας, αλλά και περιοχών της παρεγκεφαλίδας αποδείχθηκαν πως έχουν διακριτική λειτουργία μεταξύ των αποτελεσματικών και μη κοχλιακών εμφυτεύσεων, βασισμένοι στην γλωσσική επίδοση των συμμετεχόντων. Πρόσφατα μάλιστα ερευνητικά δεδομένα συνηγορούν για τον ρόλο της παρεγκεφαλίδας τόσο κατά την αντίληψη³⁵, όσο και κατά τη παραγωγή της ομιλίας³⁶.

Συμπεράσματα και προοπτικές

Με στόχο την αύξηση της αποτελεσματικότητας των κοχλιακών εμφυτευμάτων σε παιδιά πολύ μικρής χρονολογικής ηλικίας είναι σκόπιμη η σωστή επιλογή του μοντέλου επικοινωνίας. Εξαιτίας των προαναφερόμενων ιδιαιτεροτήτων στην γλωσσική ανάπτυξη των παιδιών αυτών, η υιοθέτηση ενός ακουστικο-προφορικού μοντέλου εκπαίδευσης που θα παρέχει όλα εκείνα τα ερεθίσματα που είναι αναγκαία για την ακουστική εκπαίδευση των παιδιών αυτών πρέπει να είναι πρώτιστος στόχος. Μια εκπαιδευτική διαδικασία που είναι στοχευμένη στην λήψη ακουστικών ερεθισμάτων αποτελεί μια καλή πρακτική θέση.

Σημαντική παράμετρος για τις μελλοντικές ερευνητικές διαδικασίες θα πρέπει να αποτελεί η ταύτιση της ακουστικής εμπειρίας των ληπτών κοχλιακών εμφυτευμάτων, με την χρονολογική ηλικία των νηπίων φυσιολογικής ακοής²⁷. Η εκμετάλλευση στο έπακρο των δυνατοτήτων που παρέχουν τα συνεχώς βελτιούμενα κοχλιακά εμφυτεύματα, πρέπει να αποτελεί τον βασικό κλινικό στόχο του Λογοπαθολόγου.

Βιβλιογραφία

1. Chin SB, Svirsky MA. (2006). Speech production by people with cochlear implants. In: Waltzman SB, Roland JT, editors. *Cochlear Implants*. New York: Thieme Medical; pp. 167–174.
2. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Identifying infants with hearing loss - United States, 1999-2007. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep*. 59(8): 220-223.
Vohr B. Overview: infants and children with hearing loss—part I. *Ment Retard Dev Disabil Res Rev*. 2003;9:62–64.
3. National Institutes of Health. Publication No. 11-4798, Statistics Partial Update, August, 2014. <http://www.nidcd.nih.gov>.
4. Houston, D., Beer, J., Bergeson, T., Chin, S., Pisoni, D. & Miyamoto, R. (2012). The ear is connected to the Brain: Some new directions in the study of children with cochlear implants at Indiana University. *J Am Acad Audiol*, 23:446-463.
5. Valencia, D., Rimell, F., Friedman, B., Oblander, M., & Helmbrecht, J. (2008). Cochlear implantation in infants less than 12 months of age. *Int J of Pediatric Otorhinolaryngology*, 72:767-773.
6. Yoshinaga-Itano, C. (2014). Principles and guidelines for early intervention after confirmation that a child is deaf or hard of hearing. *J Deaf Stud. Deaf Educ*. 19:143-175.
7. Colletti, V., Carner, M., Miorelli, V., Guida, M., Colletti, L., & Fiorino, F. (2005). Cochlear implantation at under 12 months: Report on 10 patients. *The Laryngoscope*, 115:445-449.
8. Niparko, J.K., Tobey, E.A, Thal, D.J., Eisenberg, L.S., Wang, N.Y., & Quittner, et al. (2010). Spoken language development in children following cochlear implantation. *JAMA* 303:1498-1506.
9. Parisier, S., Chute, P., Popp, A., & Suh, G. (2001). Outcome analysis of cochlear implant reimplantation in children. *The Laryngoscope*, 111:26-32.
10. Tan, L., Holland, S., Deshpande, A., Chen, Ye., Choo, D., & Lu, L. (2015). A semi-supervised Support Vector Machine model for predicting the language outcomes following cochlear implantation based on pre-implant brain fMRI imaging. *Brain and Behavior*, 5(12):1-25.
11. Svirsky, M.A., Teoh, S.W., & Neuburger. (2004). Development of language and speech perception in congenitally, profoundly deaf children as a function of age at cochlear implantation. *Audiol. Neurootol*. 9:224-233.
12. Nikolopoulos, T.P., O'Donoghue, G.M., & Archbold, S. (1999). Age at implantation: its importance in pediatric cochlear implantation. *Laryngoscope* 109:595-599.
13. Connor, C.M., Craig, H.K., Raudenbush, S.W., Heavner, K., & Zwolan, T. (2006). The age at which young deaf children receive cochlear implants and their vocabulary and speech-production growth: is there an added value for early implantation? *Ear Hear*, 27:628-644.
14. Lenden, J., & Flipsen, P. (2007). Prosody and voice characteristics of children with cochlear implants. *Journal of Communication Disorders*, 40(1):66-81.
15. Kirk, K.I., Miyamoto, R.T., Lento, C.L., Ying, E., O'Neil, T., & Fears, B. (2002). Effects of age at implantation in young children. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol*. 189:69-73.
16. Sarant, J.Z., Blamey, P.J., Dowell, R.C., Clark, G.M., & Gibson, P. (2001). Variation in speech perception scores among children with cochlear implants. *Ear Hear*. 22:18-28.
17. De Boysson-Bardies, B. (1999). *How language comes to children*. Cambridge: MIT Press.
18. Koopmans-van Beinum, F., & van der Stelt, J. (1998). Early speech development in children acquiring Dutch: Mastering general basic elements. In Gillis, S. & De Houwer, A.

- eds. The acquisition of Dutch. Amsterdam: Benjamins. 101-162.
19. Govaerts, P.J., De Beukelaer, C., Daemers, K., De Ceulaer, G., Yperman, M., Somers, T., Schatteman, I., & Offeciers, F.E. (2002). Outcome of cochlear implantation at different ages from 0 to 6 years. *Otology & Neurotology* 23(6):885-890.
 20. Waltzman, S., & Cohen, N. (2005). Cochlear implantation in children younger than 2 years old. *American Journal of Otology*, 19:158-162.
 21. Geers, A.E., Nicholas, J.G., & Sedey, A.L. (2003). Language skills of children with early cochlear implantation. *Ear and Hearing*, 24(1):46S-58S.
 22. Svirsky, M. (2005). Language learning declines after second year of life, Published online at: news@nature.com.
 23. Hammes, D.M., Novak, M.A., Rotz, L.A., Willis, M., Edmondson, D.M., & Thomas, J.F. (2002). Early identification and cochlear implantation: critical factors for spoken language development. *Annals, of Otology, Rhinology & Laryngology*, 119:74-78.
 24. Coene, M., Schauwers, K., Gillis, S., Rooryck, J., & Govaerts, P. (2011). Effects of biological constraints and experience on native language development: evidence from deaf children with cochlear implants. *Language and Cognitive Processes*, 26(8):1083-1101.
 25. Binos, P., & Okalidou, A. (2015). Canonical Babbling: A precursor to speech for young cochlear implant recipients. *Hellenic J of Medicine*, 105:38-42.
 26. Oller K, Eilers R, Neal R, Schwartz H. (1999). Precursors to speech in infancy: the prediction of speech and language disorders. *Journal of Communication Disorders*, 32: 223-245.
 27. Gillis, S., Schauwers, K., & Govaerts, P. (2002). Babbling milestones and beyond: Early speech development in CI children. *Antwerp papers in Linguistics*, 2(1):23-39.
 28. Ertmer, D., Young, N., & Nathani, S. (2007). Profiles of vocal development in young cochlear implant recipients. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 50(2):393-407.
 29. Ertmer, D., & Jung, J. (2011). Prelinguistic development in young cochlear implant recipients and typically developing infants: Year 1 of robust hearing experience. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 17(1):116-132.
 30. Duffy, F.H., Eksioglu, Y.Z., Rotenberg, A., Madsen, J.R., Shankardass, A., & Als, H. (2013). The frequency modulated auditory evoked response (FMAER), a technical advance for study of childhood language disorders: cortical source localization and selected case studies. *BCM Neuro*. 13:12.
 31. Wernicke, C. (1874). *Der aphasische Symptomencomplex*.
 32. Vannest, J.J., Karunanayaka, P.R., Altaye, M., Schmithorst, V.J., Plante, E.M., Eaton, K.J. et al. (2009). Comparison of fMRI data from passive listening and active-response story processing tasks in children. *J. Magn. Reson. Imaging*, 29:971-976.
 33. Holland, S.K., Vannest, J., Mecoli, M., Jacola, L.M., Tillema, J.M., & Karunanayaka, P.R., et al. (2007). Functional MRI of language lateralization during development in children. *Int. J. Audiol.* 46:533-551.
 34. Jamison, H.L., Watkins, K.E., Bishop, D.V., & Matthews, P.M. (2006). Hemispheric specialization for processing auditory nonspeech stimuli. *Cereb. Cortex*, 16:1266-1275.
 35. Eckert, M.A., Leonard, C.M., Richards, T.L., Aylward, E.H., Thomson, J., & Berninger, V.W. (2003). Anatomical correlates of dyslexia frontal and cerebellar findings. *Brain*, 126:482-494.
 36. Papathanassiou, D., Etard, O., Mellet, E., Zago, L., Mazoyer, B., & Tzourio-Mazoyer, N. (2000). A common language network for comprehension and production: a contribution to the definition of language epicenters with PET. *NeuroImage*. 11:347-357.