

| |
|--------------------|
| Laporan Penelitian |
|--------------------|

Peran *implanted electrically evoked auditory brainstem responses* (Imp-eABR) pada pasien tuli kongenital

Fikri Mirza Putranto*, **Jenny Bashiruddin****, **Semiramis Zizlavsky****,
Irawan Mangunatmadja***, **Jacub Pandelaki******, **Saptawati Bardosono*******

Wijana Hasansulama *****

*Departemen Ilmu Kesehatan Telinga Hidung Tenggorok-Bedah Kepala Leher
Fakultas Kedokteran Universitas Islam Nasional Syarif Hidayatullah/RS Islam Cempaka
Putih, Jakarta

Departemen Ilmu Kesehatan Telinga Hidung Tenggorok-Bedah Kepala Leher, *Departemen
Ilmu Kesehatan anak, ****Departemen Radiologi, *****Departemen Gizi Klinik
Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia/RS Cipto Mangunkusumo, Jakarta

*****Departemen Ilmu Kesehatan Telinga Hidung Tenggorok-Bedah Kepala Leher
Fakultas Kedokteran Universitas Padjadjaran/RS Hasan Sadikin, Bandung

ABSTRAK

Latar belakang: Variasi performa pasca implan koklea menunjukkan adanya variasi patologi yang belum dapat dijelaskan melalui pemeriksaan standar pra-operasi. Untuk itu dibutuhkan pemeriksaan yang dapat menunjukkan variasi integritas jaras auditori sebagai petunjuk variasi potensi internal tiap individu. **Tujuan:** Mendapatkan variasi respons jaras auditori terhadap stimulus listrik pasca implan berdasarkan pemeriksaan *Implanted Electrically evoked Auditory Brainstem Response* (Imp-eABR), serta korelasinya dengan faktor internal pra-implan lain berupa usia, luas area n. koklearis dan kemampuan komunikasi pra-operasi. **Metode:** Kriteria subjek penelitian adalah pasien operasi implan koklea berusia kurang dari 10 tahun, memiliki koklea dan n. koklearis normal, dan pada pasien berusia lebih dari 4 tahun sudah memakai alat bantu dengar minimal 1 tahun. Pemeriksaan Imp-eABR dilakukan terhadap 5 elektrode yang mewakili area apikal, medial dan basal koklea. Dicari hubungan respons dari stimulasi terhadap ketiga faktor internal. **Hasil:** Pemeriksaan Imp-eABR dilakukan terhadap 28 telinga dari 19 pasien yang dilakukan operasi secara unilateral dan bilateral. Rerata skor total respons Imp-eABR adalah $6,3 \pm 2,63$; dengan 60,7% telinga memiliki skor total kurang dari 8. Uji regresi linear menunjukkan faktor usia, luas area n. koklearis dan kemampuan komunikasi berkorelasi secara bermakna dan dapat memprediksi variasi skor Imp-eABR sebanyak 49,2%. **Kesimpulan:** Variasi skor total Imp-eABR pada pasien dengan faktor internal pra-operasi menunjukkan adanya patogenesis lain yang mendasari kemampuan transmisi jaras pendengaran retrokoklea terhadap stimulasi listrik dari implan koklea. Faktor internal pra-operasi dapat menjelaskan kurang dari 50% variasi respons Imp-eABR.

Kata kunci: Imp-eABR, luas area n. koklearis, implan koklea, integritas jaras auditori

ABSTRACT

Background: Variations in performance after cochlear implant indicates pathology variations that cannot be explained through standard preoperative examination. Therefore, an examination is needed to show variations in the integrity of auditory pathways as a guide to internal potential variations of each individual. **Objectives:** To show variations of auditory pathways responses to electrical stimulation from cochlear implant by performing *Implanted Electrically evoked Auditory Brainstem Response* (Imp-eABR)

examination and to find its correlation to age, cochlear nerve area and preoperative communication skills. **Methods:** Subjects were cochlear implant patients with age less than 10 years, had normal cochlear and cochlear nerve, and patients over 4 years old with history of wearing hearing aids for at least 1 year. The Imp-eABR examination was performed to 5 electrodes representing the apical, medial and basal areas of the cochlea. **Results:** Imp-eABR examination was performed on 28 ears from 19 patients who underwent unilateral and bilateral surgery. The average total score of Imp-eABR responses was 6.3 ± 2.63 ; with 60.7% of the ears having a total score of less than 8. Linear regression tests showed age, cochlear nerve area, and communication ability significantly correlate, it can explain 49.2% of the variation in the total Imp-eABR score. **Conclusion:** The variation in the total Imp-eABR score in patients with preoperative internal factors indicated that another pathogenesis also underlines the ability of transmission of the retrocochlear auditory pathway to electrical stimulation from the cochlear implant. Preoperative internal factors can only explain less than 50% of the variation of the Imp-eABR response.

Keywords: Imp-eABR, cochlear nerve area, cochlear implant, integrity of auditory pathway

Alamat korespondensi: Dr.dr. Fikri Mirza Putranto, Sp.THT-KL(K). Departemen Ilmu Kesehatan Telinga Hidung Tenggorok-Bedah Kepala Leher, Fakultas Kedokteran Universitas Islam Nasional Syarif Hidayatullah Jakarta. Rumah Sakit Islam Cempaka Putih, Jakarta. Email: fikrimirza@gmail.

PENDAHULUAN

Implan koklea merupakan pilihan rehabilitasi pendengaran pada kasus tuli sangat berat yang tidak respons dengan alat bantu dengar. Penelitian Niparko et al.¹ menunjukkan 15-30 % pasien yang dilakukan implan memiliki performa yang kurang baik pada pengamatan sampai 2 tahun pasca implan. Keberhasilan rehabilitasi pendengaran dengan implan koklea dipengaruhi oleh faktor internal dan eksternal pasien. Faktor internal pasien yang dilaporkan berpengaruh pada performa pasca implan antara lain usia saat implantasi, respons alat bantu dengar, moda komunikasi, kelainan koklea dan nervus koklearis, tuli kongenital yang disertai sindrom, serta kelainan neurologis sentral yang memengaruhi fungsi kognitif.²

Petunjuk integritas jaras pendengaran retrokoklea penting diketahui untuk memberikan ekspektasi yang realistis, merancang program rehabilitasi pasca implan dan menduga kemungkinan adanya gangguan komorbid lain apabila pasien dengan potensi internal baik tidak berkembang sesuai kurva normal. Hal ini penting pada program implan

di Indonesia karena umumnya pasien datang dari lokasi yang jauh dari sentra implan sehingga kontrol ke sentra implan sulit untuk sering dilakukan.³ Laporan Ekorini,⁴ dan Arief dkk.⁵ dan dari 2 sentra implan di Indonesia melaporkan 50% pasien implan koklea dilakukan pada usia lebih dari 4 tahun. Pada pasien dengan usia implantasi terlambat, manfaat implan koklea sangat dipengaruhi oleh integritas jaras pendengaran retrokoklea.

Evaluasi integritas jaras pendengaran umumnya dilakukan melalui pemeriksaan audiologi subjektif seperti dilaporkan Ruffin et al.⁶ dan van Dijkhuisen.⁷ Namun kedua penelitian ini sangat dipengaruhi oleh kemampuan observasi audiolog dan terapis wicara serta kerjasama anak, sehingga tidak cocok dilakukan pada sentra implan di Indonesia. Idealnya prediktor integritas jaras auditori bersifat objektif dan membutuhkan kerjasama anak seminimal mungkin.

Pemeriksaan objektif ideal untuk menggambarkan respons jaras pendengaran dari perifer sampai sentral pasca implan koklea adalah *electrically evoked Cortical Auditory Evoked Potentials (eCAEP)*.

Berdasarkan pemeriksaan tersebut Sharma dkk.^{8,9} menunjukkan semakin lama seorang anak tuli kongenital tidak mendapatkan habilitasi yang sesuai, maka akan terjadi kerusakan di jaras retrokoklea yang ditandai dengan memanjangnya gelombang P1 yang tidak membaik, bahkan dengan pemakaian implan lebih dari 1 tahun. Pasien dengan kondisi ini sulit mengembangkan komunikasi auditori-verbal sehingga terapi pasca implan harus dimodifikasi menjadi komunikasi baca bibir. Sayangnya pemeriksaan respons kortikal tidak mudah dilakukan di klinik, karena membutuhkan peralatan dan ruangan khusus dan hanya dapat dilakukan dalam kondisi pasien sadar sehingga sulit dilakukan pada pasien anak.

Penelitian Gibson et al.¹⁰ menggunakan pemeriksaan *Implanted electrically evoked Auditory Brainstem Respons* (Imp-eABR), dilaporkan mampu memprediksi kemampuan berkomunikasi verbal pada pengamatan 2 tahun pasca implan. Pasien dengan skor total lebih dari 80% memiliki kemungkinan mampu berkomunikasi auditori verbal. Pemeriksaan ini relatif lebih mungkin dilakukan karena dapat dikerjakan di kamar operasi setelah implan terpasang sehingga tidak membutuhkan kerjasama pasien. Metode Gibson telah diuji ulang oleh Pau et al.¹¹ dan Walton,¹² pada populasi kandidat implan yang berbeda dengan hasil yang baik.

Pada penelitian ini akan dilakukan pemeriksaan Imp-eABR pada pasien implan koklea yang secara klinis diprediksi baik, untuk menilai variasi integritas jaras pendengaran serta peran faktor-faktor internal pra-implan terhadap skor total Imp-eABR berupa usia saat implan, luas area n. koklearis dan moda komunikasi dengan alat bantu dengar.

METODE

Penelitian dilakukan dengan desain observasional analitik potong lintang untuk mendapatkan gambaran skor *Imp-eABR* dari

pasien yang dilakukan implan koklea serta hubungan faktor internal berupa usia pra-implan, dan variasi luas area n. koklearis terhadap skor Imp-eABR. Pengambilan data terutama dilakukan di RS Islam Cempaka Putih Jakarta dan RS Cipto Mangunkusumo Jakarta, serta beberapa RS lain seperti RSAL dr Ramelan Surabaya, RS Murni Teguh Medan, dan RS St Antonius Pontianak. Seluruh pasien yang dilakukan penelitian menggunakan 1 jenis implan tipe lateral dengan 12 elektrode.

Kriteria inklusi adalah pasien yang dilakukan implan koklea usia kurang dari 10 tahun, yang dapat dilakukan pemeriksaan Imp-eABR. Kriteria eksklusi adalah pasien usia lebih dari 4 tahun yang tidak pernah menggunakan alat bantu dengar sebelumnya, pasien dengan malformasi koklea berat (klasifikasi Jeong et al.¹³ tipe C&D), pasien dengan hipoplasia/aplasia n. koklearis, dan pasien dengan kelainan neurologis sentral atau ketulian kongenital yang disertai sindrom.

Pemeriksaan Imp-eABR dilakukan setelah operasi implan koklea dilaksanakan. Stimulus sebesar 30 nC diberikan pada 2 elektrode apeks, 2 elektrode medial dan 1 elektrode basal. Elektrode yang umumnya digunakan adalah elektrode no 1,4,6,8 dan 10 kecuali bila impedans pada lokasi tersebut lebih dari 10 k Ω , stimulus diberikan pada 1 elektrode di sebelahnya. Respons elektrofisiologi direkam menggunakan Natus Bio-logic menggunakan elektroda intradermal dengan *montage Cz*, depan tragus kontra lateral dan Fpz sebagai *ground*. *Window time* 10 ms, *high pass filter* 100 dan *low pass filter* 3000.

Hasil perekaman respons Imp-eABR selanjutnya diberi skor berdasarkan modifikasi skor Gibson et al.¹⁰ Modifikasi dilakukan dengan mempertimbangkan variasi artefak di 2 ms pertama perekaman sehingga gelombang I_e dan terkadang III_e sering sulit diidentifikasi. Modifikasi kedua adalah dengan memasukkan respons patologis yaitu

gelombang tunggal dan multipel dengan latensi memanjang lebih dari 5 ms, sesuai deskripsi Valero et al.¹⁴ (gambar 2).

Untuk menilai luas area n. koklearis dilakukan pengukuran menggunakan MRI

T₂ pada potongan parasagital tegak lurus terhadap sumbu kanalis akustikus internus. Nervus koklearis dinyatakan hipoplasi apabila luas area lebih kecil dibandingkan luas area n. fasialis.

Tabel 1 Skor hasil pemeriksaan eABR (modifikasi Gibson)

| Skor | Kriteria |
|------|---|
| 2 | Respons dengan morfologi normal dan amplitudo $\geq 0,5 \mu V$ |
| 1 | Respons dengan morfologi normal dan amplitudo $< 0,5 \mu V$ Respons puncak tunggal Respons puncak multipel dengan latensi lebih dari 5 ms |
| 0 | Tidak didapatkan respons |

HASIL

Pengumpulan data dilakukan mulai Maret 2018 sampai April 2019. Dari 26 pasien yang dilakukan operasi, didapatkan 19 pasien yang memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi. Sepuluh pasien dilakukan operasi unilateral dan 9 pasien dilakukan operasi bilateral, sehingga didapatkan 28 telinga.

Subjek penelitian

Delapan pasien dilakukan implantasi pada usia lebih dari 4 tahun, dan lebih dari

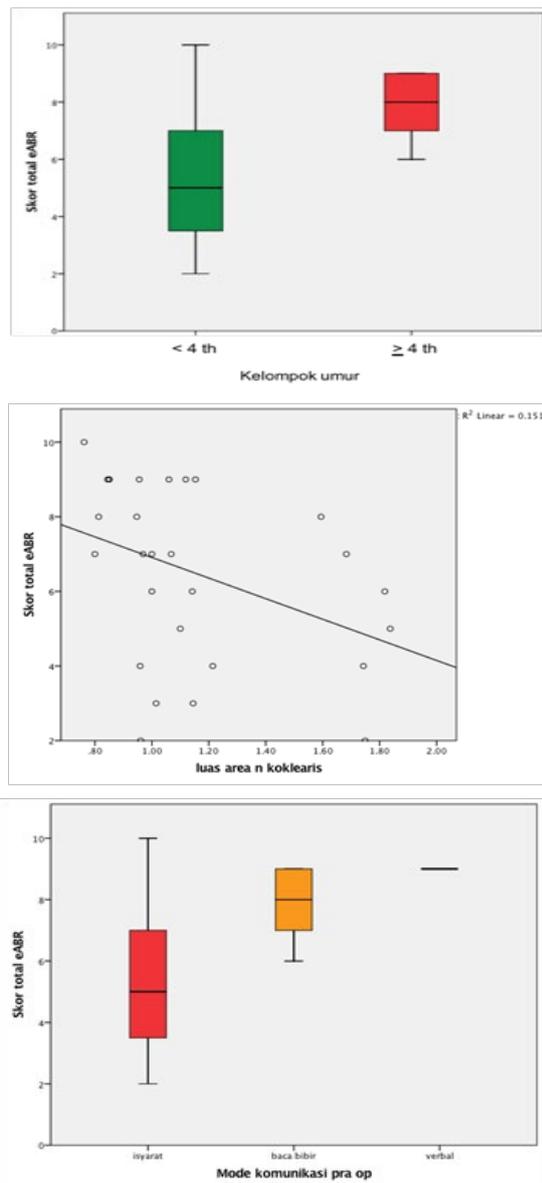
50% pasien sudah menggunakan alat bantu dengar lebih dari 1 tahun. Rentang usia pasien dioperasi antara 13 bulan sampai 9,7 tahun. Enam dari delapan pasien dengan usia lebih dari 4 tahun yang dilakukan operasi memiliki kemampuan berkomunikasi baca bibir dan verbal. Pasien dengan kemampuan komunikasi bahasa isyarat cenderung memiliki ambang respons lebih tinggi dibandingkan pasien dengan kemampuan komunikasi baca bibir dan verbal ($78,21 \pm 11,54$ dB vs $65,2 \pm 17,08$ dB).

Tabel 2. Karakteristik hasil pemeriksaan Imp-eABR (n=28 telinga)

| Variabel | |
|-------------------------------------|------------------|
| Rerata skor total Imp-eABR | $6,3 \pm 2,63$ |
| Klasifikasi skor Imp-eABR | |
| Lebih dari/sama dengan 8 | 11 telinga |
| Kurang dari 8 | 17 telinga |
| Rerata skor Imp-eABR tiap elektrode | |
| Elektrode Apikal 1 | $1,72 \pm 0,528$ |
| Elektrode Apikal 2 | $1,64 \pm 0,621$ |
| Elektrode Medial 1 | $1,31 \pm 0,66$ |
| Elektrode Medial 2 | $1,07 \pm 0,753$ |
| Elektrode Basal | $0,59 \pm 0,682$ |

Pada tabel 2 terlihat rerata skor total Imp-eABR adalah $6,3 \pm 2,6$. Lebih dari 50% pasien mendapatkan skor total dengan nilai kurang dari 8. Berdasarkan lokasi stimulasi kelompok elektrode apikal memiliki skor Imp-eABR yang cenderung lebih baik dibandingkan dengan skor Imp-eABR pada bagian basal.

Hubungan skor Imp-eABR dengan petunjuk klinis – radiologis praoperasi



Gambar1. Hubungan luas area n. koklearis dan kelompok usia dengan skor Imp-eABR.

- A. Grafik box plot hubungan usia dengan skor total Imp-eABR.**
B. Grafik plot hubungan luas area dengan skor total Imp-eABR.
C. Grafik box plot hubungan moda komunikasi pra implan dengan skor total Imp-eABR.

Pada grafik box plot (gambar 1A) terlihat pasien dengan usia lebih dari 4 tahun dengan riwayat penggunaan alat bantu dengar baik memiliki skor Imp-eABR yang lebih baik, sedangkan pada usia kurang dari 4 tahun terdapat variasi luas skor Imp-eABR. Grafik plot antara luas area n. koklearis dengan skor Imp-eABR (Gambar 1B) menunjukkan adanya korelasi sedang (Uji korelasi *Spearman* $r = -0,48$, $p = 0,01$). Kelompok pasien dengan luas area n. koklearis lebih dari $1,2 \text{ mm}^2$ cenderung memiliki respons Imp-eABR lebih rendah dibandingkan kelompok pasien dengan luas area antara $0,8-1,2 \text{ mm}^2$. Grafik linear yang dibentuk menunjukkan variabel luas area n. koklearis dapat menjelaskan 15,1 % variasi skor total Imp-eABR. Pasien dengan kemampuan komunikasi minimal baca bibir cenderung memiliki nilai Imp-eABR yang lebih baik dibandingkan kelompok pasien yang masih berkomunikasi dengan bahasa isyarat (Gambar 1C).

Uji regresi linear menggunakan variabel usia saat implan, luas area n. koklearis dan moda komunikasi mendapatkan ketiga variabel tersebut secara bermakna dapat memprediksi variasi skor Imp-eABR sebanyak 49,2 %.

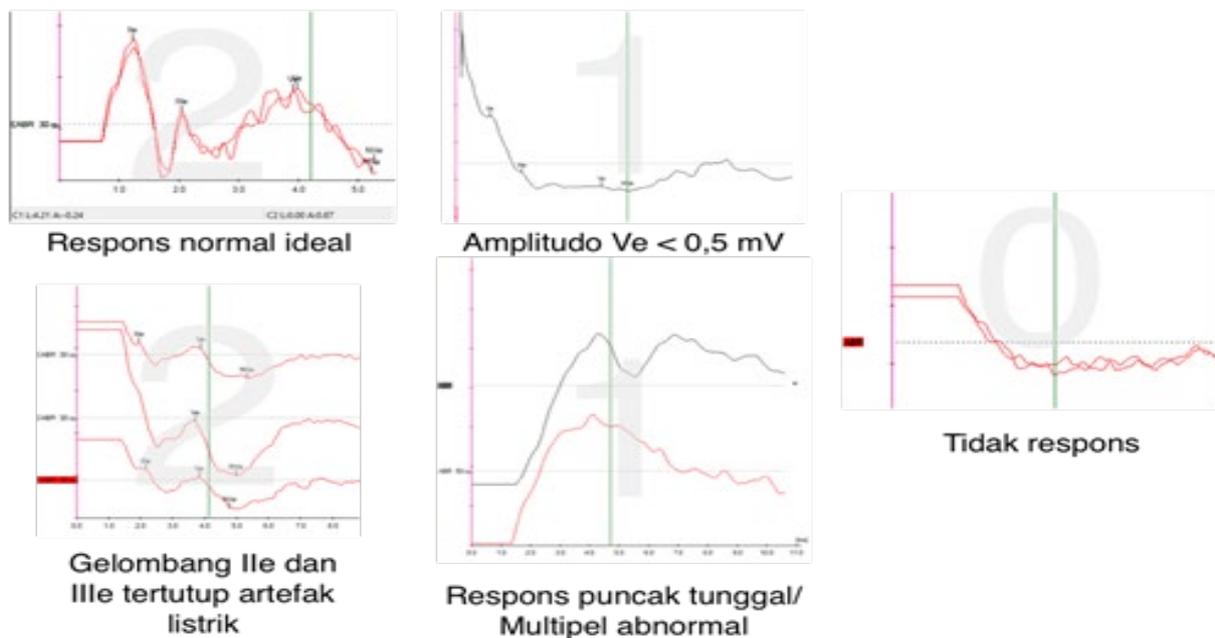
DISKUSI

Karakteristik penelitian ini mirip dengan laporan Arief dkk.⁵ dan Ekorini.⁴ Idealnya pasien harus sudah mulai mendapat penanganan pada usia 6 bulan dan bila tidak berhasil, diindikasikan untuk dilakukan implan koklea pada usia kurang dari 2,5 tahun.¹⁵ Implan usia terlambat dengan riwayat penggunaan alat bantu dengar yang tidak efektif merupakan faktor prognosis yang kurang baik untuk keberhasilan implan koklea. Kedua penelitian tersebut menunjukkan faktor yang berperan terjadinya kondisi ini adalah terlambatnya pasien dilakukan operasi, antara lain terlambat dilakukan diagnosis gangguan dengar dan jarak antara awal

diagnosis dengan awal terapi dilakukan. Hal ini menunjukkan kurang baiknya penanganan tuli kongenital di Indonesia.

Semua pasien didapatkan respons *electrically evoked Compound Action Potentials (eCAP)* dengan ambang yang bervariasi. Skor total maksimum dari 5 elektrode adalah 10, sedangkan merujuk pada penelitian Gibson et al.¹⁰ dibutuhkan minimal skor 8 agar pasien dapat berkomunikasi auditori verbal dalam waktu 2 tahun pasca implan. Pada tabel 2 terlihat lebih dari 50% pasien dengan prediksi pra-implan baik mendapatkan skor kurang dari 8, walaupun

semua pasien memiliki prediksi baik. Hal ini menunjukkan keterbatasan kriteria klinis pra-implan untuk memprediksi integritas jaras pendengaran. Pada tabel tersebut juga terlihat penurunan skor Imp-eABR dari apeks ke basal, sehingga terlihat kerusakan jaras pendengaran dimulai dari frekuensi tinggi diikuti frekuensi yang lebih rendah. Hal ini sesuai dengan temuan pada penelitian Nadol et al.¹⁶ yang mendapatkan kerusakan spiral ganglion akibat ketulian paling banyak terjadi di bagian basal dibandingkan apeks. Pada penelitian lain Shepherd et al.¹⁷ menunjukkan jumlah akson n. koklearis memengaruhi respons eABR.



Gambar 2. Variasi respons Imp-eABR

Gambar 2 menunjukkan variasi gambaran respons Imp-eABR yang ditemukan pada penelitian ini. Temuan berupa gelombang patologis dengan karakteristik puncak tunggal / multipel dengan latensi lebih dari 5 ms, juga dilaporkan oleh Valero et al.¹⁴ Pada pengamatan minimal 2 tahun pasca implan, lima dari tujuh pasien dengan respons eABR “puncak tunggal terlambat” atau “puncak multipel terlambat” hanya

mampu berkembang sampai membedakan pola intonasi sederhana, sedangkan 2 pasien mampu berkembang sampai diskriminasi kata terbatas. Gambaran serupa juga dilaporkan Mowry et al.¹⁸ pasien implan dengan riwayat neuropati sistemik berat memiliki respons eABR abnormal walaupun didapatkan respons eCAP pada semua elektrode. Pada pasien tersebut didapatkan ambang deteksi bunyi dengan implan sampai 15 dB dan

pasien mampu mendiskriminasi bunyi Ling (tes frekuensi suara) 100%, namun hanya mampu mendiskriminasi kata 40 %. Valero et al.¹⁴ menduga gambaran respons abnormal berasal dari ikut terstimulasinya n. fasialis dan n. vestibularis saat stimulasi dinaikkan untuk mencari respons elektrofisiologi. Sedangkan laporan Mowry et al.¹⁸ menunjukkan walaupun jumlah akson yang dapat dirangsang di koklea normal, terjadinya demielinisasi pada jaras retro-koklea sehingga terjadi gangguan sinkronisasi listrik merupakan faktor penentu kemampuan diskriminasi kata, yang selanjutnya berpengaruh pada kemampuan belajar bahasa. Berdasarkan kedua penelitian tersebut diduga jumlah akson yang rendah serta gangguan sinkronisasi di jaras retrokoklea merupakan patogenesis timbulnya respons patologis pada pemeriksaan eABR.

Pada penelitian ini didapatkan hubungan terbalik antara usia dengan skor total respons Imp-eABR (Grafik box plot 3A). Hal ini terjadi akibat bias saat pemilihan kandidat untuk dilakukan operasi. Pasien dengan usia lebih dari 4 tahun yang tidak memiliki riwayat penggunaan alat bantu dengar dan menjalani terapi wicara cenderung ditolak saat proses kandidasi, sehingga efek kerusakan jaras akibat tidak adanya stimulus suara yang adekuat dalam waktu lama tidak dapat dibuktikan. Pasien kelompok usia lebih dari 4 tahun yang tersisa adalah pasien yang memiliki respons dan sudah mengalami perkembangan bahasa dengan alat bantu dengar. Hasil pemeriksaan eABR pada kelompok ini (gambar 3A) menunjukkan preservasi fungsi jaras retrokoklea dibandingkan dengan kelompok usia kurang dari 4 tahun. Variasi yang lebar pada kelompok pasien dengan usia kurang dari 4 tahun menunjukkan pada pasien dengan tuli kongenital patologi tidak hanya terjadi pada koklea namun mungkin juga terjadi di retrokoklea. Variasi integritas jaras retrokoklea ini kemungkinan menjelaskan variasi respons pasien terhadap stimulus dari implan koklea.

Korelasi terbalik juga ditemukan pada hubungan luas area n. koklearis dengan skor Imp-eABR (Gambar 3C). Pada grafik plot 2B terlihat pada kelompok dengan luas area antara 0,9 mm²-1,2 mm² skor Imp-eABR tersebar merata, sedangkan pada kelompok dengan luas di atas 1,2 mm² terdapat kecenderungan skor Imp-eABR menjadi lebih rendah. Fenomena yang terjadi pada kelompok pertama juga pernah dilaporkan oleh Morita et al.¹⁹ yang menyatakan tidak terdapat hubungan antara luas area n. koklearis dengan performa pasca implan koklea. Hal ini menunjukkan pada luas area n. koklearis normal terdapat kelainan yang bervariasi yang mendasari kemampuan serabut saraf dalam membawa stimulasi listrik ke pusat-pusat pendengaran di batang otak.

Fenomena pada kelompok kedua mirip dengan yang dilaporkan oleh Henneberger et al.²⁰ yang mendapatkan peningkatan luas area n. koklearis 1,5 kali normal pada pasien dengan penyakit Meniere yang mengalami tuli sensorineural menetap. Sesuai dengan penelitian Carignano et al.²¹ pada proses kerusakan akson n. koklearis mengikuti hilangnya sel rambut luar dan dalam, pada sebagian percontohan ditemukan pembengkakan sel Schwann. Kondisi ini dapat menyebabkan gangguan konduksi listrik sehingga didapatkan skor Imp-eABR yang lebih rendah. Patogenesis ini baru dibuktikan dari hasil penelitian pada hewan coba, sehingga patogenesis pada manusia harus dilakukan penelitian lebih lanjut.

Variasi gambaran skor Imp-eABR pada penelitian ini menunjukkan keterbatasan petunjuk klinis dan radiologis pra-operasi dalam menentukan fungsi internal jaras pendengaran pada pasien dengan tuli kongenital. Berdasarkan uji regresi linear kombinasi variabel klinis dan radiologis pra-implan hanya mampu mendeskripsi kurang dari 50% variasi. Ketidak-pastian variabel prediktor pra-operasi dalam memprediksi integritas jaras pendengaran,

bahkan pada kelompok tanpa kelainan seperti yang diperlihatkan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa diperlukan petunjuk pemeriksaan lain untuk menggantikan/menambah parameter yang saat ini digunakan agar didapatkan model prediksi yang lebih akurat. Pemeriksaan *CT Scan* dan MRI hanya mampu menilai rangka dari jaras auditori, namun sulit untuk menilai kondisi internal jaras. Penelitian radiologi fungsional seperti fMRI dan *Diffusion Tensor MRI* pada jaras auditori berpotensi untuk menjembatani penelitian hewan coba dan histopatologi *postmortem* dengan respons elektro fisiologi, selanjutnya dengan hasil terapi.

Kelemahan penggunaan Imp-eABR dalam evaluasi integritas jaras pendengaran adalah tidak dapat menilai perubahan di jaras auditori kortikal akibat plastisitas silang, dan evaluasi ini hanya dapat dilakukan setelah implan terpasang sehingga tidak dapat digunakan dalam proses kandidasi implan koklea.

Didapatkan variasi Imp-eABR pasien implan koklea yang menunjukkan bervariasinya integritas jaras pendengaran retrokoklea pada kandidat implan koklea.

Uji regresi linear menunjukkan kriteria klinis pra-implan berupa usia, moda komunikasi dengan alat bantu dengar dan luas area n. koklearis mampu menjelaskan 49,2% variasi skor Imp-eABR.

Penelitian ini adalah penelitian *Imp-eABR* pertama di Indonesia, sehingga diharapkan dapat menjadi dasar penelitian elektrofisiologi implan selanjutnya di Indonesia. Dalam bidang pelayanan diharapkan informasi ini dapat membantu merancang program rehabilitasi pendengaran yang disesuaikan dengan derajat kerusakan jaras retrokoklea, dan membantu menjadi dasar penilaian tumbuh kembang pendengaran jangka panjang yang didasarkan pada potensi internal tiap pasien.

DAFTAR PUSTAKA :

1. Niparko JK, Tobey E a, Thal DJ, Eisenberg LS, Wang N-Y, Quittner AL, et al. Spoken language development in children following cochlear implantation. *JAMA*. 2010;303(15):1498–506.
2. Palmieri M, Forli F, Berrettini S. Cochlear implantation outcome for deaf children with additional disabilities: A systematic review. *Hear Balanc Commun*. 2014 Feb 7 [cited 2014 Mar 7];(December 2013):1–14.
3. Black J, Hickson L, Black B, Perry C. Prognostic indicators in paediatric cochlear implant surgery: a systematic literature review. *Cochlear Implants Int*. 2011;12(2):67–93.
4. Ekorini HM. Cochlear implant programme report in Dr. Soetomo Hospital Surabaya. *Oto Rhino Laryngol Indones*. 2018;46(1):8.
5. Arief W, Zizlavsky S, Priyono H, Wahyuni LK, Medise BE, Prihartono J. Gambaran persepsi auditori CAP-II pada anak tuli prelingual bilateral 6–12 bulan pasca implantasi koklea. *Oto Rhino Laryngol Indones*. 2018;48(1):1.
6. Ruffin C V., Kronenberger WG, Colson BG, Henning SC, Pisoni DB. Long-Term Speech and Language Outcomes in Prelingually Deaf Children, Adolescents and Young Adults Who Received Cochlear Implants in Childhood. *Audiol Neurootol*. 2013;18(5):289–96.
7. Dijkhuizen JN Van, Beers M, Boermans PBM, Briaire JJ, Frijns JHM. Speech Intelligibility as a Predictor of Cochlear Implant Outcome in Prelingually Deafened Adults. 2011;
8. Sharma A, Glick H, Campbell J, Biever A. Central Auditory Development in Children With Hearing Loss: Clinical Relevance of the P1 Caep Biomarker in Hearing-Impaired Children With Multiple Disabilities. *Hear Balanc Commun*. 2013 Sep [cited 2016 Apr 17];11(3):110–20.
9. Campbell JD, Cardon G, Sharma A. Clinical Application of the P1 Cortical Auditory Evoked Potential Biomarker in Children with Sensorineural Hearing Loss and Auditory Neuropathy Spectrum Disorder. *Semin Hear*. 2011;32(2):147–55.
10. Gibson WPR, Sanli H, Psarros C. The

- use of intra-operative electrical auditory brainstem responses to predict the speech perception outcome after cochlear implantation *. 2009;10(January):53–7.
11. Pau H, Gibson WP, Gardner-Berry K, Sanli H. Cochlear implantations in children with Waardenburg syndrome: an electrophysiological and psychophysical review. *Cochlear Implant Int* [Internet]. 2006;7(4):202–6.
 12. Walton J, Gibson WPR, Sanli H, Prelog K. Predicting cochlear implant outcomes in children with auditory neuropathy. *Otol Neurotol*. 2008;
 13. Jeong SW, Kim LS. A new classification of cochleovestibular malformations and implications for predicting speech perception ability after cochlear implantation. *Audiol Neurootol*. 2015;20(2):90–101.
 14. Valero J, Blaser S, Papsin BC, James AL, Gordon KA. Electrophysiologic and Behavioral Outcomes of Cochlear Implantation in Children With Auditory Nerve Hypoplasia. 2012;
 15. Niparko JK. Cochlear implants: principles & practices. 2009. 356 p.
 16. Nadol Jr. JB. Patterns of neural degeneration in the human cochlea and auditory nerve: implications for cochlear implantation. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 1997;117(3 Pt 1):220–8.
 17. Shepherd RK, Javel E. Electrical stimulation of the auditory nerve. I. Correlation of physiological responses with cochlear status. *Hear Res*. 1997;108(1–2):112–44.
 18. Mowry SE, King S. Cochlear implantation in chronic demyelinating inflammatory polyneuropathy†. *Cochlear Implants Int*. 2017;18(2):116–20.
 19. Morita T, Naito Y, Tsuji J, Nakamura T, Yamaguchi S, Ito J. Relationship between cochlear implant outcome and the diameter of the cochlear nerve depicted on MRI. *Acta Otolaryngol*. 2004;124(SUPPL. 551):56–9.
 20. Henneberger A, Ertl-Wagner B, Reiser M, Gürkov R, Flatz W. Morphometric evaluation of facial and vestibulocochlear nerves using magnetic resonance imaging: comparison of Menière’s disease ears with normal hearing ears. *Eur Arch Oto-Rhino-Laryngology*. 2017;274(8):3029–39.
 21. Carignano C, Barila EP, Rías EI, Dionisio L, Aztiria E, Spitzmaul G. Inner Hair Cell and Neuron Degeneration Contribute to Hearing Loss in a DFNA2-like Mouse Model. *Neuroscience*. 2019;410:202–16.