



## KLİNİK ÇALIŞMA

# NORMAL İŞİTEN YETİŞKİNLERDE TİPTRODE ELEKTROT ELEKTOKOLEOGRAFİ YANITLARI

Dr. Öğr. Üyesi Nilüfer BAL<sup>ID</sup>, Odyolog Nida TAS<sup>ID</sup>, Öğr. Gör. Meliha BAŞÖZ<sup>ID</sup>, Dr. Öğr. Üyesi

Özge GEDİK<sup>ID</sup>

Bezmialem Vakıf Üniversitesi, Odyoloji, İstanbul, Türkiye

### ÖZET

Giriş: Elektrokoleografi, akustik uyarılara yanıt olarak koklea ve akustik sinirde oluşan elektriksel aktivitenin ölçümüdür. Elektrokoleografi bileşenlerinin uyarın ve katılımcının özelliklerine bağlı olarak değiştiği bilinmektedir. Literatürde Türk toplumunda tiptrode elektrotlar ile kaydedilen elektrokoleografi sonuçlarını inceleyen yeterli sayıda çalışma bulunmamaktadır. Bu sebeple çalışmamızda normal işiten bireylerde tiptrode elektrot ile kaydedilen elektrokoleografi değişkenlerinin yaş ve değerlendirilen kulakla ilişkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Yöntem ve Gereçler: 2016-2021 yılları arasında yapılan retrospektif çalışmaya işitsel ve vestibüler şikayeti olmayan 21-30 yaş arası 26 genç yetişkin, 30-51 yaş arası 20 orta yetişkin dahil edilmiştir. Katılımcılara 90 dB nHL şiddetinde klik uyarın ile 11.3/sn ratede elektrokoleografi testi yapılmıştır.

Bulgular: Orta yetişkin grubun SP/AP alan oranı anlamlı derecede yüksek elde edilmiştir. Katılımcıların sonuçları sağ ve sol kulak olarak karşılaştırıldığında sağ kulakta AP durasyonu anlamlı derecede uzun elde edilmiştir. AP latanslarının yaş ile korele uzadığı gözlenmiştir.

Sonuçlar: Ülkemizde elektrokoleografi çalışmalarının eksikliği göz önüne alındığında, elektrokoleografinin rutin klinik değerlendirilmeye dahil edilebilmesi için uygulama kolaylığı sağlayan tiptrode elektrot kullanımına özgü normatif verilerin oluşturulması ve benzeri çalışmaların artırılması önerilmiştir.

*Anahtar Sözcükler: Elektrokoleografi, tiptrode elektrot, yaş*

### TIPTRODE ELECTROCOCHLEOGRAPHY RESPONSES IN ADULTS WITH NORMAL HEARING

### SUMMARY

Introduction: Electrocochleography is the measurement of electrical activity in the cochlea and acoustic nerve in response to acoustic stimuli. It is known that the components of electrocochleography vary depending on the characteristics of the stimulus and the participants. In the literature, there are not enough studies examining the results of electrocochleography recorded with tiptrode electrodes in Turkish population. For this reason, in our study, it was aimed to examine the relationship between the electrocochleography variables recorded by the tiptrode electrode and age and the evaluated ear in individuals with normal hearing.

Method and Material: The retrospective study conducted between 2016-2021 included 26 young adults between the ages of 21-30 and 20 middle aged adults between the ages of 30-51 without auditory and vestibular complaints. Electrocochleography test was performed at a rate of 11.3/sec with a 90 dB nHL click stimulus.

Results: The SP/AP area ratio of the middle aged adult group was found significantly higher. When the results of the participants were compared as the right and left ears, the AP duration in the right ear was significantly longer. It was observed that AP latencies are prolonged in correlation with age.

Conclusion: Considering the lack of ECochG studies in our country, it has been suggested that creating normative data specific to the use of tiptrode electrodes and similar studies should be planned in the future to add ECochG in routine clinical evaluation.

*Keywords: Electrocochleography, tiptrode electrode, age*

## GİRİŞ

Elektrokoleografi (ECochG) akustik uyarılara yanıt olarak koklea ve akustik sinirde oluşan elektriksel aktivitenin ölçümüdür. Koklear elektriksel aktivitenin ilk ölçümü 1930'lu yıllarda Wever ve Bray tarafından yapılmıştır<sup>1,2</sup>. 1947 yılında yapılan ilk klinik uygulamada ise otosklerozlu hastalarda koklear etkilenim değerlendirilmiştir<sup>3</sup>. Teknolojinin

ilerlemesi ile sinyal-gürültü oranını arttıran algoritmalar geliştirilmiş, bu durum hastaların uyku durumundan etkilenmeksizin ECochG kullanımının önünü açmıştır<sup>4</sup>. ECochG kayıtları non-invaziv şekilde kafa derisine, dış kulak kanalına ve timpanik membrana (TM); invaziv şekilde promontoryum ve yuvarlak pencereye yerleştirilen elektrotlar vasıtasıyla alınmaktadır<sup>5,6</sup>. Cevaplar stimülasyonu takiben 5 msn içinde gözlenmektedir<sup>7</sup>. Uyarın tipi ve polaritesine bağlı olarak farklı ECochG bileşenleri oluşmaktadır. Bunlar koklear mikrofonic (KM), sumasyon potansiyeli (SP) ve aksiyon potansiyelidir (AP). Koklear mikrofonicler; uyarın frekansına benzeyen, latansı olmayan, dış tüy hücrelerinin

İletişim kurulacak yazar: Dr. Nilüfer BAL, Bezmialem Vakıf Üniversitesi, Odyoloji, İstanbul, Türkiye, E-mail: fzt.niluferondag@gmail.com

Gönderilme tarihi: 14 Şubat 2022, yayın için kabul edilme tarihi: 29 Mart 2022

Kaynak gösterimi Bal N., Tas N., Başöz M., Gedik Ö. Normal İşiten Yetişkinlerde Tiptrode Elektrot Elektrokoleografi Yanıtları KBB-Forum 2022;21(2):050-056



fonksiyonunu yansıtan alternatif akım potansiyelleridir. Uyarın artefaktından ayırt edilmelerinin zor olması nedeni ile klinikte kullanımları sınırlıdır<sup>7,8</sup>. Sumasyon potansiyeli dış tüy hücreleri tarafından da üretilse de ağırlıklı olarak iç tüy hücresi fonksiyonunu yansıtan doğru akım potansiyelleridir<sup>7</sup>. Birleşik aksiyon potansiyelleri (BAP), işitme siniri fibrillerinin aksiyon potansiyellerinin toplamını yansıtan alternatif akımlı yanıtlar olup ABR'deki I. ve II. dalgaya karşılık gelen N1 ve N2 piklerinden oluşmaktadır<sup>7,9</sup>. ECochG'nin farklı kullanım alanları mevcuttur. ECochG sumasyon potansiyellerinin endolenfteki basınç değişikliklerine hassasiyeti sayesinde endolenfatik hidropsa duyarlı bir testtir. ECochG'nin semisirküler kanal dehisansını tanılamada ve ameliyat esnasında monitarizasyonda önemli olduğu da bilinmektedir<sup>10</sup>. ECochG kayıtları koklear implant ameliyatlarında postoperatif dönemde işitme ile ilgili bilgi sağlamaktadır. Dalbert ve ark. (2018) koklear implantlı (Kİ) hastalarda preoperatif ve postoperatif dönemdeki amplitüd değişikliklerini işitme kaybı ile ilişkili bulmuşlardır<sup>11</sup>. Weder ve ark. (2020) ise Kİ hastalarındaki intraoperatif KM kayıtlarının davranışsal eşik tahmininde kullanılabileceğini belirtmişlerdir<sup>12</sup>. ECochG ayrıca KM kaydı ile işitsel nöropati spektrum bozukluğunun tanısına da yardımcı olmaktadır. V. Dalganın çeşitli sebeplerle elde edilmediği durumlarda (vestibüler schwannoma, ileri derecede işitme kaybı gibi) ABR ile I. dalganın daha net görülmesini sağlamaktadır<sup>13</sup>. Yapılan çalışmalar ECochG bileşenlerinin uyarının tipine, polaritesine, şiddetine, uyarım sıklığına (rate), kullanılan elektrot tipine, katılımcının yaşına ve değerlendirilen kulağa bağlı olarak değişebileceğini göstermiştir. ECochG ölçümlerinde ilk etapta klik uyarın kullanılmış, ilerleyen dönemlerde kullanılan dar band uyarınlar frekans spesifitesi sağlamıştır<sup>13,14</sup>. Uyarın olarak alternating polarite kullanılması dalgada oluşabilecek artefaktı azalttığı bilinmektedir<sup>15</sup>. En iyi cevaplar için 80-95 dB nHL gibi yüksek uyarınların kullanılması önerilmiştir<sup>7</sup>. Bazı araştırmacılar 8,7-11,3/sn gibi düşük ratelerin kullanımını önerse de 90/sn gibi yüksek rateler ile AP'de yorulma sağlayarak daha iyi bir SP'nin elde edilebileceğini belirten

çalışmalar da mevcuttur. Klinikte farklı elektrotların avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. TM elektrodunun avantajı; jeneratör bölgeye yakınlığı sebebi ile yüksek amplitüdü SP, AP yanıtlarının elde edilmesine katkı sağlaması iken ekstratimpanik elektrotların (tiptrode) avantajı rahat yerleşimi nedeni ile klinikte kullanım kolaylığı sağlamaktır<sup>16</sup>. ECochG sonuçlarını etkileyen bir başka faktör ise hastanın yaşı olup ilerleyen yaşla birlikte işitsel sistemin etkilenimi ile SP, AP yanıtlarında değişiklikler gözlenmektedir<sup>17</sup>. Farklı kulaklarda ECochG sonuçlarını değerlendiren çalışmalarda ise sağ ve sol kulakta anlamlı bir fark bulunmamıştır<sup>18</sup>.

Literatürde Türk toplumunda tiptrode elektrotlar ile kaydedilen ECochG sonuçlarını inceleyen yeterli sayıda çalışma bulunmamaktadır. Bu sebeple çalışmamızda normal işiten bireylerde tiptrode elektrot ile kaydedilen ECochG değişkenlerinin yaş ve değerlendirilen kulakla ilişkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

## HASTALAR VE YÖNTEM

### 1. Katılımcılar

Bezmialem Vakıf Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Odyoloji Bölümünde Elektrofizyoloji dersi kapsamında 2016-2021 yılları arasındaki verilerle yapılacak retrospektif çalışmaya 21-51 yaşları arasındaki 46 kişi dahil edilmiş olup katılımcılar öğrenci ve gönüllü yetişkinlerden seçilmiştir. Çalışma Bezmialem Vakıf Üniversitesi Fatih Ek Hizmet Binasında yapılmış olup çalışmanın yapılabilmesi için Bezmialem Vakıf Üniversitesi Etik Kurulundan onay alınmıştır. Etik kurul onay numarası: 54022451-050.05.04-50111.

Çalışmada normal otoskopik muayene sonucuna, 0.125-8 kHz' de normal saf ses işitme eşiklerine (< 25 dB HL) ve bilateral tip-A timpanograma sahip olan, işitsel ve vestibüler şikayeti, gürültü maruziyeti, kafa travması ve ototoksik ilaç kullanımı hikayesi, otojenik, santral, sistemik, metabolik hastalığı olmayan katılımcıların ECochG sonuçları analiz edilmiştir. Katılımcılar 21-30 yaş arası genç yetişkin, 30-51 yaş arası orta yetişkin olacak şekilde 2 gruba ayrılmıştır.



## 2. ECochG kayıtları

ECochG kayıtları, Interacoustics Eclipse EP25 cihazı ile alınmıştır. Teste başlamadan önce hastaların dış kulak yolları Nuprep jel ile temizlenerek impedanslar düşürülmüş ardından tiptrode elektrotların tuzlu jellerle teması sağlanıp elektrotlar hastaların dış kulak yoluna yerleştirilmiştir. Uluslararası 10/20 elektrot yerleşimine göre aktif elektrot (tip-trode) ipsilateral kulak kanalına, referans elektrot vertekse (Cz) ve toprak elektrot alt alın bölgesine yerleştirilmiştir. Yüksek geçirgen filtre 3,3 Hz 6 /okt ve alçak geçirgen filtre 5kHz olarak ayarlanmıştır. Klik uyarın 90 dB nHL şiddetinde ipsilateral olarak 11.3/sn rate ile sunulmuş ve 2000 davranımlık en az 2 yanıt alınmıştır. Her bir kulakta toplam 4000 davranımlık toplam yanıtlar üzerinden SP, AP yanıtları işaretlenerek veriler elde edilmiştir.

## 3. ECochG analizi

SP ve AP amplitüdü, alanı, latansı, durasyonu, SP/AP amplitüd ve alan oranı parametrelerinin yaş ve değerlendirilen kulak ile ilişkisi analiz edilmiştir. Örnek tiptrode elektrokoleografi yanıtı Resim-1'de verilmiştir.

### İstatistiksel Analiz

Değerlendirilen parametrelerin tanımlayıcı istatistikleri IBM SPSS Statistics 22.0 programında yapılmıştır. Verilerin iki farklı yaş grubu ve kulaklar arası analizde t- testi, yaşa göre korelasyonunda ise Pearson ki-kare testi kullanılmıştır. Tüm analizler %95 güven

aralığında yapılmış olup anlamlılık seviyesi  $p < 0,05$  olarak kabul edilmiştir.

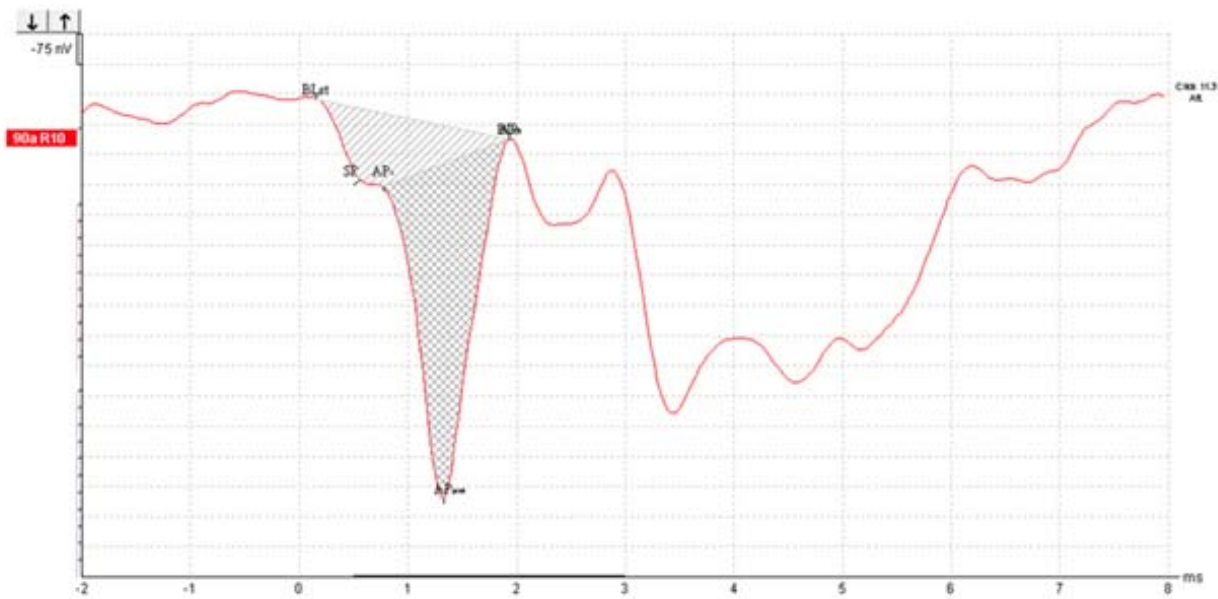
## BULGULAR

Çalışmada 21-30 yaş arası 26 katılımcının bulunduğu genç yetişkin grubun ve 30-51 yaş arası 20 katılımcının bulunduğu orta yetişkin grubun ECochG sonuçları analiz edilmiştir.

Çalışmaya dahil edilen genç yetişkin ve orta yetişkin grubun ECochG sonuçları analiz edildiğinde iki grup arasında AP ve SP amplitüdü, latansı, alanı, durasyonu ve SP/AP amplitüd oranı açısından anlamlı bir fark bulunmazken orta yetişkin grubun SP/AP alan oranı anlamlı derecede yüksek elde edilmiştir ( $p=0,019$ ). Sonuçların farklı yaş gruplarındaki analizi Tablo-1' de gösterilmiştir.

46 katılımcıda sağ ve sol kulak ECochG parametreleri karşılaştırılmıştır. Yalnızca AP durasyonu sağ kulakta anlamlı derecede uzun elde edilmiştir ( $p=0,011$ ). 46 sağ ve 46 sol kulağın sonuçları Tablo-2'de gösterilmiştir.

Sonuçların yaş ile ilişkisi Pearson korelasyon testi ile analiz edilmiş, AP latansında yaşla birlikte anlamlı derecede uzama gözlenirken ( $p=0,020$ ) AP ve SP amplitüdü, alanı, durasyonunda, SP latansında, SP/AP alan ve amplitüd oranında anlamlı derecede fark elde edilmemiştir. Sonuçların yaş ile korelasyonu Tablo-3'te gösterilmiştir.



Resim 1: Örnek Tiptrode Elektrokoleografi yanıtı.



**Tablo-1** Farklı yaş gruplarında ECoHG sonuçlarının karşılaştırılması.

YAŞ GRUPLARI	21-30 Yaş Ortalama	30-51 Yaş Ortalama	P değeri
AP Amplitüd	0,5263	0,4760	0,194
AP Latans	1,2817	1,3168	0,174
AP Durasyon	1,0696	1,1353	0,165
AP Alan	7,0192	6,1893	0,171
SP Amplitüd	0,1010	0,1123	0,400
SP Latans	0,6102	0,6485	0,242
SP Durasyon	0,3035	0,3575	0,099
SP Alan	8,9665	9,1030	0,876
SP/AP Alan Oranı	<b>1,3208</b>	<b>1,5310</b>	<b>0,019*</b>
SP/AP Amplitüd Oranı	0,1902	0,2295	0,082

*t* testi:  $p < 0,05$  istatistiksel olarak anlamlı

**Tablo-2** Sağ ve sol kulak olarak ECoHG sonuçlarının karşılaştırılması.

KULAK	SAĞ KULAK=46 Ortalama	SOL KULAK=46 Ortalama	P değeri
AP Amplitüd	0,5048	0,5041	0,987
AP Latans	1,3015	1,2924	0,722
AP Durasyon	<b>1,1572</b>	<b>1,0391</b>	<b>0,011*</b>
AP Alan	6,9861	6,3307	0,277
SP Amplitüd	0,1059	0,1059	1,000
SP Latans	0,6370	0,6167	0,534
SP Durasyon	0,3137	0,3402	0,417
SP Alan	9,1621	8,8896	0,753
SP/AP Alan Oranı	1,3754	1,4489	0,415
SP/AP Amplitüd Oranı	0,2074	0,2072	0,991

*t* testi:  $p < 0,05$  istatistiksel olarak anlamlı



**Tablo-3** Yaş ve ECochG sonuçlarının Pearson korelasyon testine göre ilişkisi.

		YAŞ	
		Korelasyon	P değeri
AP	Amplitüd	-0,186	0,076
	<b>Latans</b>	<b>0,243</b>	<b>0,020*</b>
	Durasyon	0,162	0,122
	Alan	-0,146	0,165
SP	Amplitüd	0,048	0,652
	Latans	0,125	0,237
	Durasyon	0,159	0,130
	Alan	-0,002	0,985
SP/AP	Alan Oranı	0,199	0,058
	Amplitüd Oranı	0,160	0,127

p<0,05 istatistiksel olarak anlamlı

## TARTIŞMA

ECochG sonuçlarını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bunlar uyaran tipi, polaritesi, şiddeti, uyarım sıklığı (rate), kullanılan elektrot tipi gibi teknik faktörler ve hastanın yaşı, değerlendirilen kulak gibi kişisel faktörlerdir. Çalışmamızda genç ve orta yetişkin 2 grupta tiptrode elektrot ile kaydedilen ECochG sonuçlarının katılımcının yaşı ve değerlendirilen kulakla olan ilişkisi incelenmiştir.

Timpanik membran veya transtimpanik elektrot ile yapılan çalışmalarda SP/AP alan oranının endolenfatik hidrops ve/veya Meniere Hastalığında yararlı olabileceği düşünülmektedir<sup>15</sup>. Çalışmamızda, tüm katılımcılarda SP ve AP alanları belirlenmiş ve orta yetişkin grupta genç yetişkin gruba göre anlamlı derecede yüksek SP/AP alan oranı elde edilmiştir. Ferraro ve ark. (1999) yaptıkları çalışmada timpanik membran elektrodu kullanmışlar ve katılımcıları normal işitmeye sahip olan bireyler, SP/AP amplitüd oranı yüksek meniereli bireyler, SP/AP amplitüd oranı normal olası meniereli bireyler olarak 3 gruba ayırmışlardır. SP/AP amplitüd oranı normal olası meniereli grupta, anlamlı derecede yüksek

SP/AP alan oranı elde etmişlerdir. Bu durum endolenfatik hidrops varlığında amplitüdlere düşme ve latanslardaki uzamanın SP/AP alan oranında artışa sebep olması ile açıklanmıştır<sup>19</sup>. Yapılan çalışma SP/AP alan oranının Meniere Hastalığı tanısında yardımcı bir ECochG komponenti olabileceğini göstermiştir. Grasel ve ark. (2017)'nin Meniere Hastalığı semptomu olmayan normal işitmeye sahip hastalar üzerinde TM elektrotlar kullanarak klik uyaran ile yaptıkları çalışmada, SP/AP alan oranı 0.837-1.671 aralığında elde edilmiştir<sup>20</sup>. Ancak tiptrode elektrod ile yapılmış SP/AP alan oranının Meniere Hastalığında kullanımı ile ilgili literatürde veri bulunmamaktadır. Bu durumun nedeni olarak tiptrode elektrot kullanımında SP ve AP'nin belirlenmesinin sınırlı olduğu belirtilmektedir<sup>21</sup>.

Çalışmamıza dahil edilen 46 katılımcının sağ ve sol kulakları karşılaştırıldığında sağ kulakta AP durasyonu anlamlı derecede uzun elde edilmiştir. Grasel ve ark. (2017)'nin yaptıkları çalışmada ise kulaklar arası SP/AP amplitüd ve alan oranı ile AP latansında anlamlı bir farklılık elde edilmemiştir<sup>20</sup>. Redondo-Martínez ve ark. (2016) da sağlıklı 30 sağ ve 30 sol kulak üzerinde yaptıkları çalışmada kulaklar



arasında anlamlı bir farklılık elde etmemişlerdir<sup>18</sup>. SP durasyonunun uyarana bağlı olduğu bilinmektedir, çalışmamızdaki farklılığın nedeninin ise fizyolojik dış kulak ve orta kulak farklılığı olabileceği düşünülmüştür<sup>22</sup>.

Oku ve ark. (1997) 50-89 yaşları arasında hafif presbiakuzili veya normal işitmeye sahip 92 kişilik çalışma grubunda ve 20-29 yaşları arasında normal işitmeye sahip 30 kişilik kontrol grubunda, transtimpanik elektrot ile ECochG sonuçlarını karşılaştırmışlar ve bu çalışmada yaş ile AP latanslarında uzama ve AP amplitüdünde azalma gözlemlemişlerdir<sup>17</sup>. Redondo-Martínez ve ark. (2016)'nın yaptıkları çalışmada ek olarak sağ ve sol kulak yaşa göre karşılaştırılmış ancak yaşa bağlı bir farklılık elde edilmemiştir<sup>18</sup>. Çalışmamızda yaş ile AP latansları arasında pozitif korelasyon mevcuttur ancak amplitüd değişiklikleri gözlenmemiştir. Amplitüde değişiklik gözlenmemesinin nedeninin hem tiptrode elektrot kullanmış olmamız hem de göreceli olarak daha genç bir popülasyon üzerinde çalışmamızdan kaynaklandığı düşünülmüştür.

## SONUÇ

Çalışma sonucunda elde edilen bulgulara göre farklı kulaklarda sadece AP durasyonu açısından anlamlı farklılık gözlenmiştir. Yaşın etkisi incelendiğinde ise yaşla birlikte AP latanslarında uzama ve orta yetişkin grupta SP/AP alan oranında artış olduğu görülmüştür. Bu durum ilerleyen yaşla periferik işitsel sistemdeki etkilenime atfedilmiştir. Tiptrode elektrotlar ile yapılan ve özellikle SP, AP durasyonu, SP/AP alan oranı gibi parametrelerin incelendiği çalışmaların çalışmamızın klinik anlamlılığını arttıracığı düşünülmektedir. Ülkemizde ECochG çalışmalarının eksikliği göz önüne alındığında, ECochG'nin rutin klinik değerlendirilmeye dahil edilebilmesi için uygulama kolaylığı sağlayan tiptrode elektrot kullanımına özgü normatif verilerin oluşturulması ve benzeri çalışmaların arttırılması önerilmiştir.

## ÇALIŞMANIN SINIRLILIKLARI

Dahil edilen katılımcı sayısının az olması çalışmamızın sınırlılığı olarak kabul edilmektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda

daha büyük örneklem sayılarının kullanılmasının uygun olabileceği düşünülmüştür.

**Çıkar Çatışması: Yok.**

**Finansal Kaynak: Yok.**

## KAYNAKLAR

1. Wever EG, Bray CW. Action currents in the auditory nerve in response to acoustical stimulation. Proc Natl Acad Sci U S A. 1930;16:344-50.
2. Ruben, R. J., Bordley, J. E., Nager, G. T., et al. (1960). Human cochlea responses to sound stimuli. Ann Otol Rhinol Laryngol, 69, 459-479.
3. Lempert J, Wever EG, Lawrence M. The cochleogram and its clinical application; a preliminary report. Arch Otolaryngol. 1947;45:61.
4. Eggermont J. Electrocochleography. In: Auditory system. Berlin: Springer; 1976. p. 625-705.
5. Ferraro, J. A. (2010). Electrocochleography: A review of recording approaches, clinical applications, and new findings in adults and children. J Am Acad Audiol, 21, 145-152.
6. Cullen, J. K., Jr, Ellis, M. S., Berlin, C. I., et al. (1972). Human acoustic nerve action potential recordings from the tympanic membrane without anesthesia. Acta Otolaryngol, 74, 15-22.
7. Jacobson, G. P., Shepard, N. T., Barin, K., Janky, K., & McCaslin, D. L. (Eds.). (2020). Balance function assessment and management. plural publishing.
8. Eggermont JJ. Ups and downs in 75 years of electrocochleography. Front Syst Neurosci. 2017;11:2. doi:10.3389/fnsys.2017.00002.
9. Babu, S., Schutt, C. A., & Bojrab, D. I. (Eds.). (2019). Diagnosis and Treatment of Vestibular Disorders. Springer International Publishing.
10. Ferraro, J. A., Kileny, P. R., & Grasel, S. S. (2019). Electrocochleography: New uses for an old test and normative values. American journal of audiology, 28(3S), 783-795.
11. Dalbert, A., Pfiffner, F., Hoesli, M., et al. (2018). Assessment of cochlear function during cochlear implantation by extra- and intracochlear electrocochleography. Front Neurosci, 12, 18.
12. Weder, S., Bester, C., Collins, A., Shaul, C., Briggs, R. J., & O'Leary, S. (2020). Toward a Better Understanding of Electrocochleography: Analysis of Real-Time Recordings. Ear and hearing, 41(6), 1560-1567.
13. Coats AC, Martin JL, Kidder HR. Normal short-latency electrophysiological filtered click responses recorded from vertex and external auditory meatus. J Acoust Soc Am. 1979;65:747-58.
14. Montandon PB, Shepard NT, Marr EM, et al. Auditory-nerve potentials from ear canals of patients with otologic problems. Ann Otol Rhinol Laryngol. 1975;84:164-73.
15. Satar, B., Yildirim, A., Karahatay, S., & Sen, D. (2006). Estimation of traveling wave delay of the basilar membrane



- using frequency-specific electrocochleography: Methodology and normative data. *Mediterr J Otol*, 2(1), 14-18.
16. Lake, A. B., & Stuart, A. (2019). The effect of test, electrode, and rate on electrocochleography measures. *Journal of the American Academy of Audiology*, 30(01), 041-053.
  17. Oku, T., & Hasegawa, M. (1997). The influence of aging on auditory brainstem response and electrocochleography in the elderly. *ORL*, 59(3), 141-146.
  18. Redondo-Martínez, J., Morant-Ventura, A., Robledo-Aguayo, D., Ayas-Montero, A., Mencheta-Benet, E., & Marco-Algarra, J. (2016). Extra-tympanic electrocochleography in a normal population. A descriptive study. *Acta Otorrinolaringologica (English Edition)*, 67(5), 254-260.
  19. Ferraro, J. A., & Tibbils, R. P. (1999). SP/AP area ratio in the diagnosis of Meniere's disease. *Am J Audiol*.
  20. Grasel, S. S., de Oliveira Beck, R. M., Loureiro, R. S. C., Rossi, A. C., de Almeida, E. R., & Ferraro, J. (2017). Normative data for TM electrocochleography measures. *Journal of otology*, 12(2), 68-73.
  21. Katz, J., Chasin, M., English, K. M., Hood, L. J., & Tillery, K. L. (Eds.). (2015). *Handbook of clinical audiology (Vol. 7)*. Philadelphia, PA: Wolters Kluwer Health.
  22. Fan, H., Yu, S., Wang, M., Li, M., Zhao, X., Ren, Y., ... & Harris Adamson, C. (2021). Analysis of the external acoustic meatus for ergonomic design: part II-anthropometric variations of the external acoustic meatus by sex, age and side in Chinese population. *Ergonomics*, 64(5), 657-670.