

## Menenjitte Bağlı İşitme Kaybı Nedeniyle Koklear İmplant Uygulanan Bireylerde Postoperatif İmpedans Değişikliklerinin İncelenmesi

Merve İKİZ<sup>1</sup>, Merve OZBAL BATUK<sup>1</sup>, Aysun PARLAK KOCABAY<sup>1</sup>, Betül ÇİÇEK ÇINAR<sup>1</sup>, Gonca SENNAROĞLU<sup>1</sup>

Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi, Odyoloji Bilim Dalı, Ankara, Türkiye

### ÖZ

**Amaç:** Bu çalışmanın amacı, menenjitte bağlı işitme kaybı sonrasında koklear implant uygulanan bireylerin cerrahi sonrası impedans değerlerindeki değişikliklerin incelenmesi ve idiopatik etyolojiye sahip koklear implant kullanıcılarının impedans değerleriyle aralarındaki farkın karşılaştırılmasıdır.

**Gereç ve Yöntem:** Çalışmaya çalışma grubu ve kontrol grubu olmak üzere toplam 20 birey dahil edilmiştir. Çalışma grubunu menenjit sonrası işitme kaybına bağlı koklear implant cerrahisi geçiren 10 birey (3K, 7E); kontrol grubunu ise idiopatik etyolojiye sahip olan koklear implant kullanıcısı 10 birey (3K, 7E) oluşturmaktadır. Tüm bireylerin postoperatif 1. ay ve 6. ay kontrollerinde CG ve MP 1+2 stimülasyon modları için kaydedilen impedans değerleri değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler retrospektif olarak Cochlear firmasına ait Custom Sound 5.2 yazılımı üzerinden kaydedilmiştir.

**Bulgular:** Yapılan istatistiksel analizler sonucunda; çalışma grubunda post-op 6. ayda post-op 1. aya göre CG modu için 19-20-21-22. elektrotların; MP1+2 stimülasyon modu için 20-21-22. elektrotların; yani kokleanın apikal bölgesindeki elektrotların impedans değerlerinde anlamlı düşüş gözlenmiştir ( $p<0.05$ ). Post-op 6. aydaki impedans değerlerinin post-op 1. aya göre değişimi incelendiğinde çalışma ve kontrol grubu arasında anlamlı fark elde edilememiştir ( $p>0.05$ ).

**Sonuç:** Menenjit sonrası koklear implant kullanıcısı bireylerde diğer koklear implant kullanıcısı bireyler gibi erken dönemde kokleanın apikal bölgesindeki daha yüksek impedans değerleri elde edilir. Sonraki araştırmalarda elektrodun bulunduğu bölge, yaş ve kokleadaki patofizyolojik değişiklikler göz önüne alınması önerilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Koklear implant, menenjit, telemetri ölçümü, impedans, stimülasyon modu

### ABSTRACT

#### Investigation of Postoperative Impedance Changes in Individuals with Cochlear Implant due to Hearing Loss After Meningitis

**Objective:** The aim of this study was to investigate the postoperative impedance changes of cochlear implant (CI) users due to the etiology of the meningitis and to compare the difference between impedance values of cochlear implant users with idiopathic etiology.

**Material and Method:** Twenty subjects were included in this study; 10 subjects (3F, 7M) in the study group and 10 subjects (3F, 7M) in the control group. The study group consisted of the subject with CI due to the meningitis; and the control group consisted of subjects with CI with idiopathic etiology. The impedance data for CG and MP 1+2 stimulation modes for the first and sixth months after the CI surgery were obtained from the Custom Sound 5.2 software from Cochlear Corporation.

**Results:** At post-op 6th month, a significant decrease was observed in the impedance values of the electrodes in the apical region of the cochlea (E19-22) according to the post-op 1st month ( $p<0.05$ ). When the changes in the post-op 6th month impedance values were compared according to the 1st month, no significant difference was found between the study and control groups ( $p>0.05$ ).

**Conclusion:** Subjects with cochlear implants due to the meningitis have higher impedance values in the apical region of the cochlea in the early period like the other CI users with idiopathic etiology. In the future studies, it has been suggested to take in consider the region of electrode, age and the pathophysiological changes in the cochlea.

**Key Words:** Cochlear implant, meningitis, telemetry measurement, impedance, stimulation mode

**Cite this article as:** İkiz, M., Batuk, M., Parlak Kocabey, A., Çiçek Çınar, B., Sennaroğlu, G. (2019). Menenjitte Bağlı İşitme Kaybı Nedeniyle Koklear İmplant Uygulanan Bireylerde Postoperatif İmpedans Değişikliklerinin İncelenmesi. TJAHR, 2(1):5-9. <https://doi.org/10.34034/TJAHR.23158>

## GİRİŞ

Postnatal işitme kaybının en sık karşılaşılan nedenlerinden biri menenjittir. Menenjitli bireylerin %6-16'sında çok ileri derecede işitme kaybı ile karşılaşılır (Francis, Pulsifer, Chinnici, & et al., 2004). Menenjitte bağlı inflamasyon genellikle koklear akuadukt aracılığı ile subaraknoid alandan kokleaya ulaşır

(Merchant & Gopen, 1996) ve kokleaya yayılması saatler içinde gerçekleşebilir. Bunun sonucunda koklear ossifikasyon gelişerek intrakoklear yapılara zarar verir (Nichani et al., 2011). Menenjitte bağlı işitme kaybı olan hastalarda işitme kaybının mekanizması tam olarak belirlenememekle birlikte; koklea içerisinde bulunan

labirent yapılarına, nöroepitelyal yapılarına ve vasküler yapılarına zarar vermesi gibi çeşitli faktörlere bağlıdır (Kutz, Simon, Chennupati, Giannoni, & Manolidis, 2006). Farklı işitme kaybı etyolojisine sahip koklear implant adaylarının %10-15’inde belirli bir derecede koklear ossifikasyon olduğu belirtilirken, işitme kaybı etyolojisi menenjit olan bireylerin %80’inde koklear ossifikasyon olduğu belirtilmektedir. Koklear implant cerrahisinin başladığı ilk yıllarda koklear ossifikasyon koklear implantasyon için kontraendikasyon olarak düşünülürken, günümüzde bu hastaların uygun cerrahi teknikler ve erken müdahale ile koklear implanttan fayda gördüğü belirtilmektedir (Trudel et al., 2018).

Koklear implantlar, çok ileri derecede işitme kaybına sahip olan bireylerde spiral ganglion hücrelerini elektriksel olarak uyararak işitsel uyarımı sağlamaktadır. Bu sistemin güç gereksinimi elektrot çiftleri arasındaki elektrik impedansına dayanmaktadır. Elektrot impedansı bifazik uyarıma cevap olarak bir çift elektrotta oluşan voltajın kaydedilmesiyle ölçülmekte, elektrot ve temas ettiği doku ara yüzü hakkında bilgi vermektedir (Newbold et al., 2014).

Elektriksel impedans, rezistans ve kapasitans faktörlerinin toplamıdır. İmplant ameliyatından sonra intrakoklear fibrozis ve elektrotta karşı gelişen yabancı cisim reaksiyonu rezistansa neden olmaktadır (Newbold et al., 2014; Tykocinski, Cohen, & Cowan, 2005). Kapasitans, elektrot yüzeyindeki elektrokimyasal değişimleri yansıtmakta, protein ve hücrelerin elektrotlara temasından etkilenmektedir (Gross, Rhoades, Reust, & Schwalm, 1993). Koklear implant cerrahisinden sonraki ilk haftalarda, elektrotta fibrotik reaksiyon geliştikçe impedans artmasına rağmen elektriksel uyarım başladıktan sonra impedansın düştüğü görülmektedir. Bu durum elektriksel akımla beraber fibröz dokunun elektrodta uyum sağlamasına bağlı gelişmektedir. Elektriksel uyarım kaynaklı bu impedans değişimleri haricinde, koklear implant kullanıcılarının çoğunda cerrahiyi takip eden ilk aydan sonra impedans değerleri stabil kalmaktadır (Choi et al., 2017).

İmpedans değerlerinin çevre dokulardan ve intrakoklear sıvıdan etkilenmesi; özellikle menenjitte bağlı işitme kaybı olan bireylerde inflamasyona bağlı olarak kokleada doku artışı sonucu impedansın yükselmesi ve implantın yeterli fonksiyon görememesi açısından oldukça önemlidir (Durisin et al., 2015).

Bu çalışmada, menenjitte bağlı işitme kaybı gelişen ve koklear implant kullanıcısı olan bireylerin cerrahi sonrası impedans değişimlerinin incelenmesi ve farklı etyolojilere sahip koklear implant kullanıcılarının impedans değerleriyle karşılaştırılması amaçlanmıştır.

## GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışma Hacettepe Üniversitesi Kulak Burun Boğaz Anabilim Dalı’nda koklear implant ameliyatı olmuş ve odyolojik takipleri Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Odyoloji Bölümü’nde yapılmakta olan hastaların impedans verilerinin retrospektif olarak analizi ile yapılmıştır.

### Katılımcılar

Çalışma grubuna; menenjitte bağlı işitme kaybı sonrası 1997-2018 yılları arasında koklear implantasyon uygulanmış 127 hasta arasından Cochlear firmasına ait Custom Sound 5.2 yazılımında yer alan hasta bilgileri retrospektif olarak incelenmiştir. Yalnızca 10 bireyin postoperatif 1. ay ve 6. ay impedans verilerine ulaşılmıştır. Kontrol grubuna ise işitme kaybı etyolojisi menenjit olmayan, çalışma grubundaki bireylerle aynı cinsiyette olan ve implantasyon yaşı çalışma grubundaki bireylerin implantasyon yaşlarına en yakın olan 10 birey dahil edilmiştir. Çalışmaya dahil edilen bireylerin demografik bilgileri Tablo 1’de verilmiştir.

### Yöntem

Her katılımcı için Cochlear Custom Sound 5.2 yazılım programından Monopolar 1+2 (MP1+2) ve Common Ground (CG) elektrot stimülasyon modları postoperatif 1. ay ve 6. ay impedans değerleri ayrı ayrı ve manuel olarak seçilerek Microsoft Excel programına kaydedilmiştir. Elde edilen veriler SPSS .... ile analiz edilmiştir.

**Tablo1.** Demografik Veriler

Çalışma Grubu					Kontrol Grubu				
Vaka	Yaş	Cinsiyet	Kİ Yaşı	İmplant Tipi	Vaka	Yaş	Cinsiyet	Kİ Yaşı	İmplant Tipi
Ç1	66;9	E	57;2	CI24RE	K1	58;6	E	50;5	CI422
Ç2	11;4	E	1;1	CI24RE	K2	4;7	E	1;3	CI422
Ç3	10;6	E	1;5	CI24RE	K3	2;7	E	11;9	CI422
Ç4	47;6	E	36;3	CI24RE	K4	34;5	E	34;3	CI422
Ç5	25;11	E	25;2	CI24RE	K5	30	E	30;2	CI422
Ç6	17;5	K	15;3	CI24RE	K6	16;7	K	13;4	CI422
Ç7	52;8	K	50;9	CI24RE	K7	52;6	K	50;6	CI422
Ç8	58;6	E	53;5	CI24RE	K8	58;6	E	49;10	CI422
Ç9	16;8	K	2;3	CI24RE	K9	5;8	K	2;7	CI422
Ç10	15;11	E	4;5	CI24RE	K10	5;1	E	3;11	CI422

## BULGULAR

Çalışmaya dahil edilen çalışma grubunun yaş ortalaması 32 yaş 2 ay implantasyon yaş ortalaması 24;7 elde edilirken; kontrol grubunun yaş ortalaması 26,9 implantasyon yaş ortalaması 24,11 olarak elde edilmiştir.

Postoperatif 1. ay ve 6. aylardaki impedans değerleri arasındaki fark karşılaştırılmıştır. Normal dağılım gösteren bağımlı değişkenlerde t-test ile; normal dağılım göstermeyenlerde ise Wilcoxon testi ile istatistiksel analiz yapılmıştır.

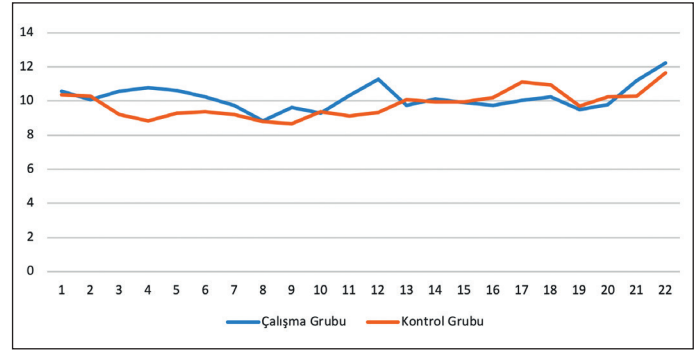
Yapılan istatistiksel analiz sonucu; CG modu için 19-20-21-22. elektrotların impedans değerlerinde; MP1+2 stimülasyon modu için 20-21-22. elektrotların impedans değerlerinde anlamlı düşüş gözlenmiştir ( $p<0.05$ ) (Şekil 1 ve Şekil 2).

Şekil 3 ve 4.'te postoperatif 1 ve 6. aylarda MP 1+2 stimülasyon modu için; Şekil 5 ve 6.'da CG stimülasyon modu için çalışma ve kontrol grubunun impedans değerleri arasında yapılan karşılaştırmanın grafikleri verilmiştir.

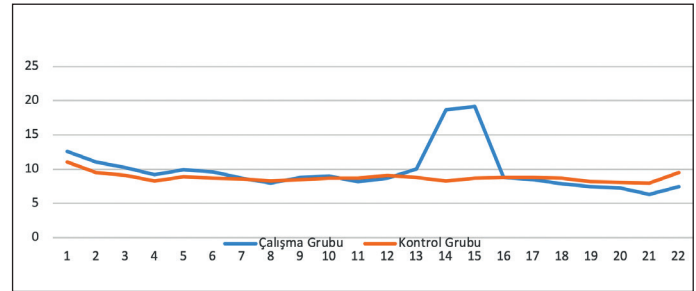
Postoperatif 1. ve 6. aylarda çalışma ve kontrol grubu impedans değerleri arasındaki karşılaştırma; normal dağılım gösteren değişkenlerde Student t-test ile, normal dağılım göstermeyen değişkenlerde ise Mann Whitney-U testi ile yapılmıştır.

Yapılan istatistiksel analiz sonucunda MP 1+2 ve CG stimülasyon modu için post-op 1. ay ve 6. ayda çalışma ve

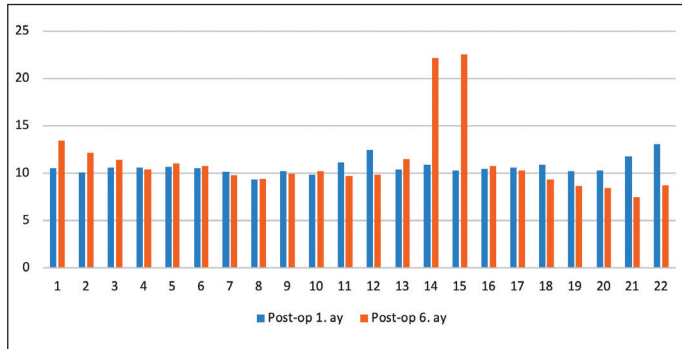
kontrol gruplarının impedans değerleri arasında anlamlı fark elde edilmemiştir ( $p>0,05$ ).



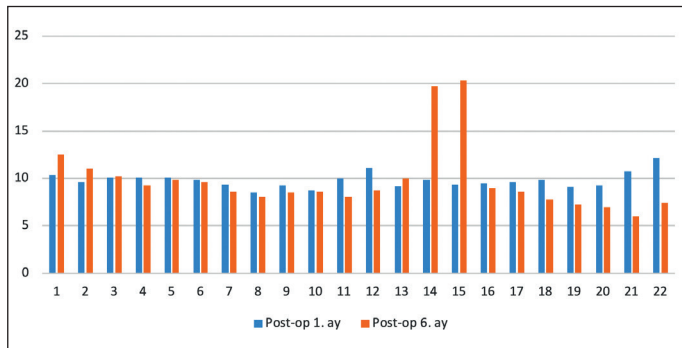
Şekil 3. Çalışma ve kontrol Grubu postoperatif 1. ay MP 1+2 modu impedans değerlerinin karşılaştırılması



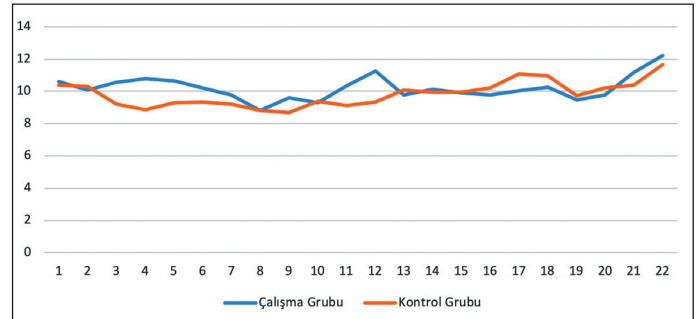
Şekil 4. Çalışma ve kontrol grubu postoperatif 6. ay MP 1+2 modu impedans değerlerinin karşılaştırılması



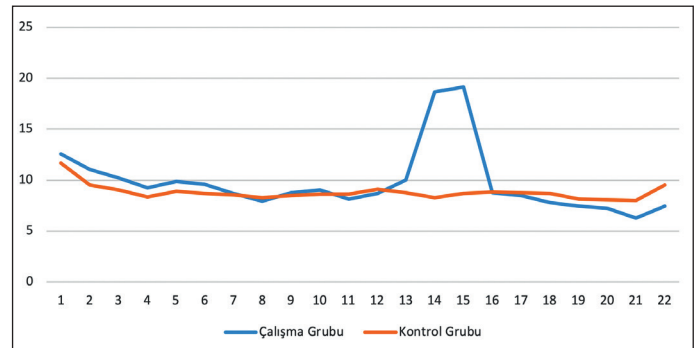
Şekil 1. Çalışma Grubu MP 1+2 stimülasyon modu impedans değerleri değişim grafiği



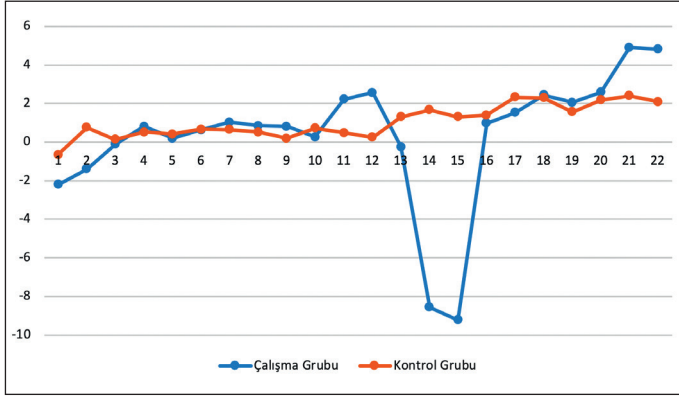
Şekil 2. Çalışma grubu CG stimülasyon modu impedans değerleri değişim grafiği



Şekil 5. Çalışma ve Kontrol Grubu postoperatif 1. ay CG modu impedans değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 6. Çalışma ve Kontrol Grubu postoperatif 6. ay CG modu impedans değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 7. MP 1+2 Stimülasyon modu impedans değerlerinin post-op 1 ve 6. Ay karşılaştırması

Şekil 7 ve 8'de MP 1+2 ve CG stimülasyon modlarında, çalışma ve kontrol grubu arasında yapılan, post-op 1 ve 6. Aylar arasındaki impedans değişiminin karşılaştırması verilmiştir.

Çalışma ve kontrol grubu post-op 1 ve 6. ay arasındaki impedans değerleri arasındaki karşılaştırma; normal dağılım gösteren değişkenlerde Student t-test ile, normal dağılım göstermeyenlerde ise Mann Whitney-U testi ile yapılmıştır.

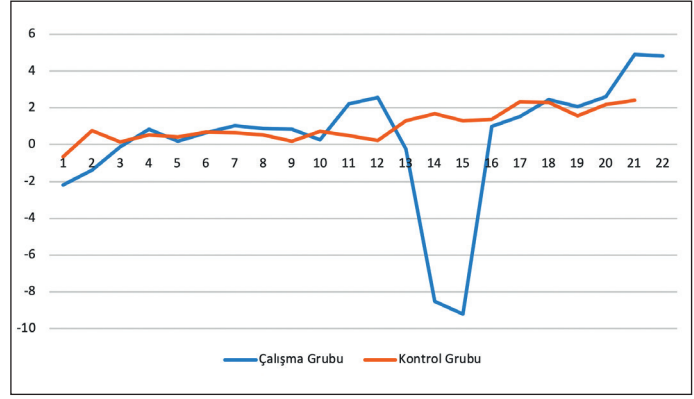
Yapılan istatistiksel analizler sonucu, çalışma ve kontrol grubunun post-op 6. ayda 1. aya göre impedans değişimi karşılaştırılmasında anlamlı farklılık elde edilememiştir ( $p>0,05$ ).

## TARTIŞMA

Bu çalışmada menenjitte bağlı işitme kaybı sonucu koklear implant ameliyatı olan hastaların elektrot impedans değerlerinin ameliyat sonrası 1 ve 6. aylardaki değerleri arasındaki değişimi ve farklı etyolojiye sahip implant kullanıcıları bireylerin impedans değerleriyle aralarındaki farkı araştırılmıştır. Literatürde menenjitte bağlı işitme kayıplı koklear implant kullanıcıları bireylerde cerrahi sonrası impedans değişimini gösteren az sayıda çalışmaya rastlanması nedeniyle bu çalışma planlanmıştır.

Cochlear firmasına ait intrakoklear elektrot dizilimi bazalde E1 ile başlayıp apikalde E22 ile sonlanmaktadır. E3-E8 arasındaki elektrotlar bazal bölge; E16-E22 arasındaki elektrotlar ise apikal bölge olarak sınıflandırılmaktadır. Bu çalışmada çalışma grubunda, CG ve MP 1+2 stimülasyon modlarında post-op 1. ayda apikal bölgenin impedans değerlerinin daha yüksek olduğu gözlenirken; post-op 6. ayda bazal bölgenin impedansının diğer bölgelere göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Bu çalışmada elde ettiğimiz bu bulgularla uyumlu olarak; yapılan farklı çalışmalarda; cerrahi sonrası erken dönemde apikal bölgede impedans değerlerinin daha yüksek olması, elektrot temas alanının bazal bölgede apikal bölgeye göre daha geniş olmasına ve koklear hacmin basal bölgede apikal bölgeden daha



Şekil 8. CG Stimülasyon modu impedans değerlerinin post-op 1 ve 6. Ay karşılaştırması

fazla olmasına bağlanmıştır (Hughes et al., 2001), (Li, Parkins, & Webster, 1999), (Phelps, 1992).

Farklı işitme kaybı etyolojilerine sahip koklear implant kullanıcıları bireylerde yapılan çalışmalar en düşük impedans değerlerinin intraoperatif ölçümler sırasında elde edildiğini, implantasyon sonrası implant açılış seansına kadar en yüksek değerlere ulaştığını ve sonraki 2-3 ay içerisinde sabit bir değere ulaştığını göstermektedir (Dorman, Smith, Dankowski, McCandless, & Parkin, 1992) (Busby, Plant, & Whitford, 2002). Bu bilgilerden yola çıkarak yapılan istatistiksel analizler sonucunda, çalışma grubunun post-op 1. ay ve 6. ay arasındaki impedans değişimi, kontrol grubunun impedans değerleri değişimiyle karşılaştırıldığında her iki grup arasında istatistiksel olarak anlamlı fark elde edilememiştir. Ayrıca post-op 1. ve 6. aylarda çalışma ve kontrol grubunun her bir elektrot impedans ortalamaları için yapılan karşılaştırmada da her iki grup arasında anlamlı fark elde edilememiştir. Bu durumun örneklem sayısının az olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Durisin ve ark. (2015), menenjit sonrası koklear implantasyon cerrahisi geçiren bireylerin impedans değerleriyle; farklı etyolojiye sahip koklear implant kullanıcılarının impedans değerlerini karşılaştırdıkları çalışmada, menenjitli bireylerde kokleanın bazal ve orta bölgelerindeki impedans değerlerinin kontrol grubuna göre daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca yüksek çözünürlüklü bilgisayarlı tomografi ile ossifikasyon derecesini inceledikleri bu çalışmada impedans değerlerinin yüksek elde edilmesinin sadece ossifikasyon derecesi ile ilişkili olmadığını, diğer patofizyolojik süreçlerin de göz önünde bulundurulması gerektiğini belirtmişlerdir (Durisin et al., 2015).

Bu çalışmaya dahil edilen koklear implant kullanıcılarının yaş aralığı 1 yaş 1 ay ile 57 yaş 2 ay arasında değişmektedir. Bu durum katılımcılar arasındaki impedans değerlerindeki değişikliklerin heterojen olmasına neden olmaktadır. Literatürde koklear implant kullanıcıları çocukların elektrot impedans değerlerinin erişkinlerden daha yüksek olduğunu gösteren çalışmalar mevcuttur (Busby et al., 2002). Bu nedenle ileriki çalışmalarda daha dar yaş aralıklarında çalışmaların planlanması önerilmektedir.

Literatür incelendiğinde menenjitli koklear implant kullanıcıları bireylerin impedans değerlerinin kontrol grubundaki koklear implant kullanıcıları bireylerden daha yüksek olduğu belirtilmesine rağmen bu çalışmada çalışma ve kontrol grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark elde edilememiştir. Elde edilen sonucun, örneklem sayısının literatürdeki çalışmalarda bulunan örneklem sayısından az olmasından, kokleadaki patofizyolojik değişikliklerin çalışmaya dahil edilmemiş olmasından ve yaş aralığının geniş tutulmasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmüştür.

Sonuç olarak, menenjit önemli bir koklear implant endikasyonudur. Menenjite bağlı işitme kayıplarında koklear implant uygulaması sonrasında elektrotların impedans değerlerinde değişiklikler olmaktadır. Bu değişiklikler elektrodun bulunduğu bölge, yaş ve kokleada ortaya çıkan patofizyolojik değişiklikler ile ilişkilendirilebilir.

**Peer-review:** Externally peer-reviewed.

**Author Contributions:** Concept – MOB, BÇÇ; Design – MOB, Mİ; Supervision – MOB, BÇÇ, GS; Resources – Mİ, APK; Materials – Mİ, APK; Data Collection and/or Processing – Mİ, MOB; Analysis and/or Interpretation – MOB; Literature Search – Mİ; Writing Manuscript – Mİ, MOB; Critical Review – GS.

**Conflict of Interest:** No conflict of interest was declared by the authors.

**Financial Disclosure:** The authors declared that this study has received no financial support.

**Hakem Değerlendirmesi:** Dış Bağımsız.

**Yazar Katkıları:** Fikir – MOB, BÇÇ; Tasarım – MOB, Mİ; Denetleme – MOB, BÇÇ, GS; Kaynaklar – Mİ, APK; Malzemeler – Mİ, APK; Veri Toplanması ve/veya İşlemesi – Mİ, MOB; Analiz ve/veya Yorum – MOB; Literatür Taraması – Mİ; Yazıyı Yazan – Mİ, MOB; Eleştirel İnceleme – GS.

**Çıkar Çatışması:** Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

**Finansal Destek:** Yazarlar bu çalışma için finansal destek almadıklarını beyan etmişlerdir.

## KAYNAKLAR

Busby, P., Plant, K., & Whitford, L. (2002). Electrode impedance in adults and children using the Nucleus 24 cochlear implant system. *Cochlear Implants International*, 3(2), 87-103.

- Choi, J., Payne, M. R., Campbell, L. J., Bester, C. W., Newbold, C., Eastwood, H., & O'leary, S. J. (2017). Electrode Impedance Fluctuations as a Biomarker for Inner Ear Pathology After Cochlear Implantation. *Otology & Neurotology*, 38(10), 1433-1439.
- Dorman, M. F., Smith, L. M., Dankowski, K., McCandless, G., & Parkin, J. L. (1992). Long-term measures of electrode impedance and auditory thresholds for the Ineraid cochlear implant. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 35(5), 1126-1130.
- Durisin, M., Büchner, A., Lesinski-Schiedat, A., Bartling, S., Warnecke, A., & Lenarz, T. (2015). Cochlear implantation in children with bacterial meningitic deafness: the influence of the degree of ossification and obliteration on impedance and charge of the implant. *Cochlear Implants International*, 16(3), 147-158.
- Francis, H. W., Pulsifer, M. B., Chinnici, J., & et al. (2004). Effects of central nervous system residua on cochlear implant results in children deafened by meningitis. *Archives of Otolaryngology-Head & Neck Surgery*, 130(5), 604-611. doi:10.1001/archotol.130.5.604
- Gross, G. W., Rhoades, B. K., Reust, D. L., & Schwalm, F. U. (1993). Stimulation of monolayer networks in culture through thin-film indium-tin oxide recording electrodes. *Journal of neuroscience methods*, 50(2), 131-143.
- Hughes, M. L., Vander Werff, K. R., Brown, C. J., Abbas, P. J., Kelsay, D. M., Teagle, H. F., & Lowder, M. W. (2001). A longitudinal study of electrode impedance, the electrically evoked compound action potential, and behavioral measures in nucleus 24 cochlear implant users. *Ear and hearing*, 22(6), 471-486.
- Kutz, J., Simon, L., Chennupati, S., Giannoni, C., & Manolidis, S. (2006). Clinical predictors for hearing loss in children with bacterial meningitis. *Archives of Otolaryngology-Head & Neck Surgery*, 132(9), 941-945. doi:10.1001/archotol.132.9.941
- Li, L., Parkins, C. W., & Webster, D. B. (1999). Does electrical stimulation of deaf cochleae prevent spiral ganglion degeneration? *Hearing research*, 133(1-2), 27-39.
- Merchant, S. N., & Gopen, Q. (1996). A human temporal bone study of acute bacterial meningogenic labyrinthitis. *The American journal of otology*, 17(3), 375-385.
- Newbold, C., Mergen, S., Richardson, R., Seligman, P., Millard, R., Cowan, R., & Shepherd, R. (2014). Impedance changes in chronically implanted and stimulated cochlear implant electrodes. *Cochlear Implants International*, 15(4), 191-199.
- Nichani, J., Green, K., Hans, P., Bruce, I., Henderson, L., & Ramsden, R. (2011). Cochlear implantation after bacterial meningitis in children: outcomes in ossified and nonossified cochleas. *Otology & Neurotology*, 32(5), 784-789.
- Phelps, P. D. (1992). The basal turn of the cochlea. *The British Journal of Radiology*, 65(773), 370-374.
- Trudel, M., Côté, M., Philippon, D., Simonyan, D., Villemure-Poliquin, N., & Bussièrès, R. (2018). Comparative Impacts of Scala Vestibuli Versus Scala Tympani Cochlear Implantation on Auditory Performances and Programming Parameters in Partially Ossified Cochleae. *Otology & Neurotology*, 39(6), 700-706.
- Tykocinski, M., Cohen, L. T., & Cowan, R. S. (2005). Measurement and analysis of access resistance and polarization impedance in cochlear implant recipients. *Otology & Neurotology*, 26(5), 948-956.