



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



DOKTORA TEZİ

KOKLEAR İMPLANT KULLANICILARINDA SES YÜKSEKLİĞİ DENGELEME
YÖNTEMİNİN ETKİNLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Burcu DENİZ

DANIŞMAN
Prof. Dr. Ahmet ATAŞ

Odyoloji Anabilim Dalı

Odyoloji, Dil ve Konuşma Bozuklukları, Doktora Programı

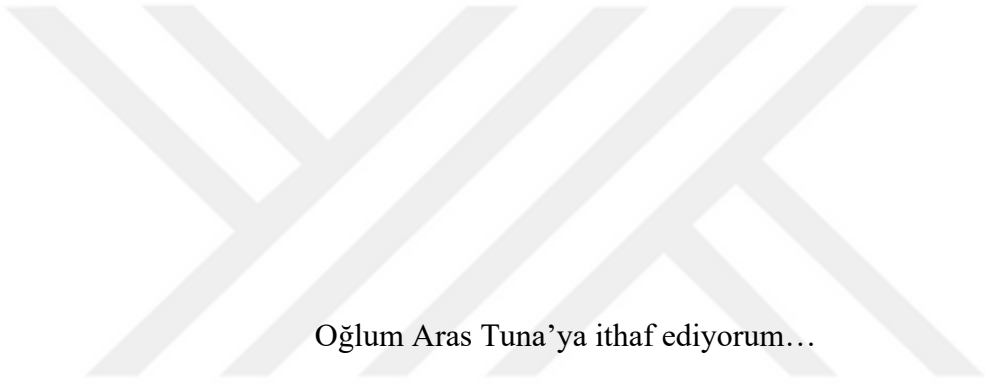
Mayıs, 2024

TEZ KABUL VE ONAYI

Burcu DENİZ tarafından, **Prof. Dr.Ahmet ATAŞ** danışmanlığında hazırlanan **KOKLEAR İMPLANT KULLANICILARINDA SES YÜKSEKLİĞİ DENGELEME YÖNTEMİNİN ETKİNLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI** başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **21/05/2024** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

	İmza	Sonuç
DANIŞMAN	Prof. Dr. Ahmet ATAŞ Koç Üniversitesi Kulak Burun Boğaz Anabilim Dalı	<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
ÜYE	Prof. Dr. Haydar Murat YENER İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Kulak Burun Boğaz Anabilim Dalı	<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
ÜYE	Dr. Öğr. Üyesi Eyyup KARA İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Odyoloji Anabilim Dalı	<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
ÜYE	Dr. Öğr. Üyesi Atılım ATILGAN İstanbul Medeniyet Üniversitesi Odyoloji Anabilim Dalı	<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
ÜYE	Dr. Öğr. Üyesi Oğuz YILMAZ İstanbul Medipol Üniversitesi Odyoloji Anabilim Dalı	<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret



Oğlum Aras Tuna'ya ithaf ediyorum...

BÜTÇE DESTEKLERİ

KOKLEAR İMPLANT KULLANICILARINDA SES YÜKSEKLİĞİ DENGEME YÖNTEMİNİN ETKİNLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Bu tez çalışmasının sahibi Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) 2214-A Yurt Dışı Doktora Sırası Araştırma Burs Programından yurt dışında doktora tezi ile ilgili araştırma yapmak üzere destek almıştır (Başvuru numarası: 1059B14220139).

TEŞEKKÜR

Lisans, yüksek lisans ve doktora eğitimimde büyük katkıları olan, tanıştığımız on üç yıl boyunca her türlü desteği gösteren değerli danışmanım Ahmet ATAŞ Hocam'a,

Anlayışı ve sevecen tavırlarıyla akademik hayatımıza değer katan bölüm başkanımız Esra ÖZCEBE Hocam'a

Gerek akademik gerekse özel hayatımda bana yol gösteren, dinleyen, yanımda olan Eyüp Hocam ve Halide Hocam'a,

Sevgili arkadaşlarım ve meslektaşlarım Bengi, Gökçe, Melda, Ebru, Dilek, Nurşah, Talha ve Yeşim'e

Bu süreçte beni yalnız bırakmayan ve hep destek olan eşim Rışvan'a, oğlum Aras Tuna'ya,

Canım aileme ve

Uzun süren akademik hayatım boyunca yanımda olduğunuz ve sabrınız için teşekkür ederim.

Son olarak Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) 2214-A Yurt Dışı Doktora Sırası Araştırma Burs Programı kapsamında beni desteklediği için teşekkür ederim.

Mayıs 2024

Burcu DENİZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI.....	ii
BEYAN	iii
BÜTÇE DESTEKLERİ	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ.....	x
KISALTMA LİSTESİ.....	xi
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE	3
2.1. Koklear İmplantlar	3
2.2. Koklear İmplantların Çalışma Prensipleri.....	4
2.3. Koklear İmplant Değerlendirme ve Takip Süreci	5
2.3.1. Preoperatif Değerlendirme	5
2.3.2. İntraoperatif Değerlendirme	8
2.3.3. Postoperatif Değerlendirme ve Hasta Takibi	9
2.3.4. Koklear İmplant Programlama	12
2.4. Spektral ve Temporal Çözünürlük	18
2.4.1. Koklear İmplant Kullanıcılarında Spektral ve Temporal Çözünürlük	19
2.5. Gürültüde Konuşmayı Anlama	21
2.6. Müzik Algısı	22
2.6.1. Koklear İmplant Kullanıcılarında Müzik Algısı	23
2.6.2. Koklear İmplant Kullanıcılarında Müzik Algısını Değerlendirmek İçin Kullanılan Bataryalar	28
2.6.3. Koklear İmplant Kullanıcılarında Konuşma Anlama ve Müzik Arasındaki İlişki..	31
3. YÖNTEM	33

3.1. Etik Kurul Onayı.....	33
3.2. Çalışmaya Dahil Edilme ve Çalışmadan Dışlanma Kriterleri	33
3.3. Uygulanan Prosedürler.....	33
3.3.1. Elektriksel Uyarılmış Stapes Refleks Eşiğine (ESRT) dayalı programlama	34
3.3.2. Davranışsal ses yüksekliği dengelemeye dayalı programlama	35
3.3.3. Serbest Alanda Gerçekleştirilen Testler	36
3.4. Veri analizi.....	43
3.5. İstatistiksel Analiz.....	43
4. BULGULAR.....	45
4.1. Serbest alanda gerçekleştirilen işitme testi sonuçları.....	46
4.2. MCL ve THR'lerin karşılaştırılması	47
4.3. Türkçe Matris Cümle (TURMatrix) Testi.....	49
4.4. Spektral Temporal Çözünürlük Testleri.....	49
4.5. Müzik Algısı	50
4.6. Konuşma Algısı ile Spektral-Zamansal Çözünürlük Arasındaki İlişki.....	50
4.7. Konuşma ve Müzik Algısı Arasındaki İlişki	51
4.8. Spektral-Zamansal Çözünürlük ile Müzik Algısı Arasındaki İlişki	52
5. TARTIŞMA.....	54
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR.....	62
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI	71
ETİK KURUL İZİN YAZISI	72
KURUM İZİNİ YAZILARI.....	74
ÖZGEÇMİŞ	75

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1: İki farklı koklear implant markasına ait (Sol MED-EL, sağ Cochlear) koklear implant dizaynı	4
Şekil 2: Elektriksel uyarılmış stapes refleks eşiği ölçüm ekranı	16
Şekil 3: Bir koklear implant kullanıcısının farklı elektrot bölgelerinden elde edilen elektriksel uyarılmış işitsel geç latans yanıt kayıtları.....	18
Şekil 4: Katılımcı 8'in elektriksel uyarılmış stapes refleks eşiğine dayalı koklear implant programlamasının ekran görüntüsü	35
Şekil 5: Katılımcı 8'in davranışsal ses yüksekliği dengelemeye dayalı koklear implant programlamasının ekran görüntüsü	36
Şekil 6: Türkçe Matris Cümle Testi (TURMatrix) kelimeleri	37
Şekil 7: Spektral Olarak Modüle Edilmiş Dalgalanma Testi arayüzü ve sonuç ekranı.....	38
Şekil 8: Rastgele boşluk tanıma testi sonuç kayıt formu.....	39
Şekil 9: Katılımcı 8'in mini-Profile of Music Perception Skills (Mini-PROMS) test sonucu .	41
Şekil 10: Melodik Kontur Tanıma testindeki 9 farklı kontur	42
Şekil 11: Melodik kontur tanıma testinin program ara yüzü ve ayar seçenekleri	43
Şekil 12: P1 ve P2 ile serbest alanda gerçekleştirilen koklear implantlı işitme ve konuşma testi sonuçları.....	47
Şekil 13: Apikal, medial ve bazal bölgeden seçilen elektrotların (e3,e6,e9) MCL değerlerinin kıyaslanması	48
Şekil 14: Apikal, medial ve bazal bölgeden seçilen elektrotların (e3,e6,e9) THR değerlerinin kıyaslanması	49

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1: Ses kaynaklarını ayırmak için kullanılan akustik değişkenler (Yost & Fay, 2012)...	19
Tablo 2: Daha önce koklear implant kullanıcıları ile yürütülen çalışmalarda kullanılan müzik algısı değerlendirme bataryaları	30
Tablo 3: Katılımcıların demografik özellikleri.....	45
Tablo 4: Elektriksel uyarılmış stapes refleksi eşiği (ESRT) ve davranışsal ses yüksekliği dengelemeye (LB) dayalı koklear implant programları ile elde edilen ortalama MCL ve THR değerleri.....	48
Tablo 5: P1 ve P2 ile sessizlikte ve gürültüde gerçekleştirilen Türkçe Matrix Cümle (TURMatrix) Testi.....	49
Tablo 6: P1 ve P2 ile gerçekleştirilen Spektral-Temporal Çözünürlük Test Sonuçları.....	50
Tablo 7: P1 ve P2 ile gerçekleştirilen miniPROMS ve Melodik Kontur Tanıma testlerinin sonuçları.....	50
Tablo 8: Spektral-temporal çözünürlük testleri ile Türkçe Matrix Cümle Testi (TURMatrix) test sonuçları arasındaki korelasyon tablosu	51
Tablo 9: Müzik algısı değerlendirme testleri ve Türkçe Matrix Cümle Testi (TURMatrix) test sonuçları arasındaki ilişki	52
Tablo 10: Spektral-temporal çözünürlük testleri ile müzik algısı değerlendirme testlerinin sonuçları arasındaki ilişki	53

KISALTMA LİSTESİ

Kısaltmalar	Açıklama
ABI	: İşitsel Beyinsapı İmplantı
ABR	: İşitsel Beyinsapı Yanıtları
ACE	: Advanced Combination Encoder İşleme Stratejisi
ART	: İşitsel Sinir Yanıtı Telemetrisi
BBE	: Boşluk Belirleme Eşiği
BOA	: Davranış gözlem odyometrisi
BT	: Bilgisayarlı Tomografi
CIS	: Continuous Interleaved Sampling İşleme Stratejisi
CPA	: Koşullu oyun odyometrisi
dB	: Desibel
EABR	: Elektriksel Uyarılmış İşitsel Beyinsapı Yanıtı
EALR:	: Elektriksel Uyarılmış İşitsel Geç Latans Yanıtı
ECAP	: Elektriksel Uyarılmış İşitsel Beyinsapı Yanıtı
ESRT	: Elektriksel Uyarılmış Stapes Refleks Eşiği
FSP	: Fine Structured Processing
GIN	: Gürültüde boşluk belirleme
HiRes	: High Resolution İşleme Stratejisi
Kİ	: Koklear İmplant
LB	: Ses yüksekliği Dengeleme
MCI	: Melodik Kontur Tanıma
MCL	: Rahat Duyulabilir Ses Seviyesi
Mini-PROMS	: Mini Profile of Music Perception Skills
NRI	: Nöral Yanıt Görüntüleme
NRT	: Nöral Yanıt Telemetrisi
OAE	: Otoakustik Emisyon
P1	: ESRT ile ayarlanmış 1.program

P2	: LB ile ayarlanmış 2.program
PST	: Promontoryum Stimülasyon Testi
RGDT	: Restgele Boşluk Tanıma Testi
RPO	: Ripple Per Octave
SDS	: Konuşmayı Ayırt Etme Oranı
SMRT	: Spektral Olarak Modüle Edilmiş Dalgalanma Testi
SNR	: Sintal Gürültü Oranı
SPL	: Ses Basınç Seviyesi
SRT	: Konuşmayı Alma Eşiği
SPEAK	: Spectral Peak İşleme Stratejisi
THR	: Eşik seviyesi
TURMatrix	: Türkçe Matriks Kelime Testi
VRA	: Görsel Pekiştirme Odyometrisi

ÖZET

[DOKTORA TEZİ]

[KOKLEAR İMPLANT KULLANICILARINDA SES YÜKSEKLİĞİ DENGELEME YÖNTEMİNİN ETKİNLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI]

[Burcu DENİZ]

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Odyoloji Anabilim Dalı

Odyoloji, Dil ve Konuşma Bozuklukları, Doktora Programı

[Danışman : Prof. Dr. Ahmet ATAŞ]

Koklear implant (Kİ) üst uyarım seviyelerindeki (diğer adıyla rahat duyulabilir ses seviyesi) ses yüksekliği dengesizlikleri, seslerin düzensiz, hışırtılı veya yankılı olarak algılanmasına neden olabilir ve Kİ kullanıcısının dinleme performansını olumsuz etkileyebilir. Bu sorunları aşmak için programlama sonrası ses yüksekliği dengelemesi yapılmalıdır. Bu tez çalışmasında hipotezimiz davranışsal ses yüksekliği dengelemeye dayalı programlamanın, konuşmayı daha iyi anlama, daha iyi spektral-zamansal çözünürlük ve müzik algılama puanları ile sonuçlanacağı ve bu puanlar arasında bir ilişki olacağıdır. Çalışmaya 26 tek taraflı Med-EL CI kullanıcısı dahil edilmiştir. Her katılımcı için elektriksel olarak uyarılmış stapes refleksi eşliğine (P1) ve davranışsal ses yüksekliği dengelemesine (P2) dayanan iki farklı CI programı kaydedilmiştir. Konuşma algısını değerlendirmek amacıyla Türkçe Matris Cümle Testi (*TURMatrix*) uygulanmıştır; spektral zamansal çözünürlük becerilerini değerlendirmek için Rastgele Boşluk Tespiti Testi (RGDT) ve Spektral Olarak Modüle Edilmiş Ripple Testi (SMRT); Müzik algısını değerlendirmek için Mini Profil Müzik Algılama Becerileri (mini-PROMS) ve Melodik Kontur Tanıma (ing. Melodic Contour Identification, MCI) testleri uygulanmış ve sonuçlar

karşılaştırılmıştır. P2 ile gürültülü ve sessiz ortamda yapılan *TURMatrix* testlerinde daha iyi puanlarla anlamlı bir fark elde edilmiştir. SMRT puanları, sessizlik ve gürültüde *TURMatrix* ve miniPROMS ses algılama sonuçlarıyla anlamlı düzeyde ilişkili bulunmuştur. miniPROMS toplam puanı ve MCI için P2 ile daha iyi puanlar elde edilirken, sadece MCI için istatistiksel anlamlı fark bulundu. Bu çalışmadan elde edilen veriler, CI elektrotları arasındaki ses yüksekliğinin dengelenmesinin daha iyi algısal keskinliğe yol açtığını göstermiştir. Ayrıca konuşma algısı, spektral-zamansal çözünürlük ve müzik algısı arasındaki ilişkiyi de ortaya koymuştur.

Mayıs 2024 , [91] sayfa.

Anahtar kelimeler: [Koklear implant, Konuşma anlaşılabilirliği, Müzik algısı]

ABSTRACT

[Ph.D. THESIS]

**[THE EFFECT of LOUDNESS BALANCING METHOD in COCHLEAR IMPLANT
USERS]**

[Burcu DENİZ]

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Audiology

Audiology, Language and Speech Disorders Programme

[Supervisor : Prof. Dr. Ahmet ATAŞ]

[Cochlear implant (CI) users may experience impaired auditory performance if sounds are perceived as irregular, gravelly, or excessively echoed due to imbalances in volume at higher stimulation levels. Loudness balancing should be performed after fitting to overcome these problems. It was hypothesized that programming based on behavioral loudness balancing would lead to improved music perception, speech comprehension, and spectral-temporal resolution; furthermore, we postulated that these scores would exhibit a correlation. The study included 26 unilateral Med-EL CI users. Each participant was assessed using two different CI programs, which were determined using behavioral loudness balancing (P2) and electrically evoked stapedial reflex threshold (P1). The outcomes of the following assessments were compared: speech perception was evaluated using the Turkish Matrix Sentence Test (TURMatrix); spectral temporal resolution abilities were assessed using the Random Gap

Detection Test (RGDT) and Spectrally Modulated Ripple Test (SMRT); and music perception was evaluated using the Mini Profile of Music Perception Skills (mini-PROMS) and Melodic Contour Identification (MCI) tests. A significant difference was obtained with better scores in *TURMatrix* tests performed in noise and quiet with the P2. SMRT scores was significantly correlated with *TURMatrix* in quiet and noise, and miniPROMS sound perception results. While better scores were obtained with P2 in miniPROMS total score and MCI, a significant difference was found only for MCI. Equalization of loudness across CI electrodes improves perceptual acuity, according to the findings of the present study. Additionally, the correlation between music perception, speech perception, and spectral-temporal resolution was unveiled.]

May 2024, [91] pages.

Keywords: [cochlear Implant, speech Intelligibility, music perception]

1. GİRİŞ

Koklear implantlar (Kİ), ileri veya çok ileri derecede işitme kaybı olan kişilerin işitme duyusunu geri kazandırabilen implante edilmiş tıbbi cihazlardır. Koklear implantlardaki teknolojik gelişime rağmen, kullanıcılar normal işiten dinleyiciler kadar iyi performans gösteremezler. Bunun nedeni olarak elektrotlar uyarıldığında üretilen kanal etkileşimlerinden kaynaklanan ses algısının bozulması, normal işitenlerle kıyaslandığında daha kötü perde algısı ve normal bir kokleanın işlevselliğini taklit etmek için basit elektronik modeller kullanması gösterilebilir. Koklear implantlardaki zamansal perde ipuçlarının, temel frekans ayrımı ve melodi tanıma için bir araç sağladığı gösterilmiştir. Temel frekans, konuşmacının tanınması ve konuşma anlaşılabilirliğinin iyileştirilmesi için önemlidir. Öte yandan dinleme ortamı zorlu hale geldiğinde (örneğin gürültülü ortam gibi) konuşmayı gürültüden ayırmak veya birden fazla konuşmacıyı ayırt etmek için daha iyi spektral çözünürlük gerekir. Benzer şekilde harmonik perdeyi algılamak ve melodileri ve enstrümanları tanımlamak için iyi bir spektral çözünürlük gereklidir.

Birçok Kİ kullanıcısı, implantasyon sonrasında müzik algısından veya gürültüde konuşma anlaşılabilirliğinden memnun değildir. Müziğin bireyler üzerindeki etkisi düşünüldüğünde, Kİ ile müzik ve konuşma algısının iyileştirilmesi kullanıcının yaşam kalitesinin artmasını ve ses algısının iyileşmesini sağlayabilir. Bu nedenle kullanıcıların spektral çözünürlük, gürültüde konuşma algısı ve müzik algısını iyileştirmeye yönelik yapılacak çalışmalar cihazdan alınacak fayda ve memnuniyeti artırabilir.

Daha önce farklı işleme stratejileri, kompresyon oranları, kanal etkileşimini azaltma veya aktif elektrot sayısındaki değişikliklerin implant kullanıcılarının konuşma ve müzik algısı üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada ise davranışsal olarak elektrotlar boyunca ses yüksekliklerini dengelemenin implante kullanıcılarının konuşma ve müzik algısı ile spektral temporal çözünürlük becerilerine etkisini araştırmak amaçlanmıştır.

Ses yüksekliği dengeleme çoğunlukla bimodal cihaz kullanıcıları için bildirilmiştir. Tek bir koklear implantın elektrotları boyunca ses yüksekliği dengeleme görevini içeren çalışma sayısı ise kısıtlıdır. Ses yüksekliği dengeleme, iki veya daha fazla uyaran arasında algısal bir

değişken olarak ses yüksekliğini azaltmak için kullanılan psikofiziksel bir görevdir. Perde sıralaması ve ölçeklendirme, boşluk tespiti ve elektrot ayırt etme gibi diğer psikofiziksel ölçümler, uyarıların ses şiddetinden etkilenir. Bu nedenle, bu ölçümleri elektrotlar arasında değerlendiren görevlerden önce tipik olarak uyarıların arasındaki ses yüksekliği farklılıklarını hafifletmek için ses yüksekliği dengeleme görevi gelir. Uyarıların algısal boyutlarını tanımlamayı içeren çok boyutlu ölçeklendirme görevlerinde, dikkatin geri kalan perde tını gibi farklı boyutlara odaklanabilmesi için ses yüksekliği boyutunu ortadan kaldırılmalıdır. Bu amaçla, elektrotların ses yüksekliği, denekler uyarılarına eşit derecede yüksek ve ses yüksekliklerini dengeli algılayacak kadar ayarlanır. Daha sonra prosedür, ardışık elektrot grupları için tekrarlanır.

Literatürde elektrot dizisi boyunca ses yüksekliği dengelemenin eşit ve dengeli bir ses kalitesi ile sonuçlanacağı öne sürülmüştür. Bu nedenle çalışmanın hipotezi, ses yükseklikleri dengelenmiş bir koklear implant programının kullanıcıların konuşma ve müzik algısı ile spektral temporal çözünürlük becerilerinde iyileşmeye yol açacağıdır.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. Koklear İmplantlar

Çok kanallı koklear implantlar, tıp tarihindeki en başarılı duyuşal protez cihazlarından biridir. Kİ, ameliyat ile koklea içine yerleştirilir ve kokleanın duyuşal işlevini atlayarak koklear siniri doğrudan uyarır. Sistem, harici bir konuşma işlemcisinden, verici bobin ve kablodan ve bir dahili alıcı/stimülatörden oluşur. Alıcı (manyetik bölüm), mastoid çıkıntı üzerindeki temporal kemiğe cerrahi olarak implante edilir ve stimülatör (veya elektrot dizisi) cerrahi olarak kokleaya yerleştirilir (Welling & Ukstins, 2017).

İşitme kayıplı kişilerde koklear sinir sağlam ve işlevsel olsa da ileri/çok ileri derece işitme kaybı ve buna eşlik eden tüy hücrelerinin kaybı durumunda, koklear sinir koklear duyu hücrelerinden yeterli uyarıyı alamaz. Sonuç olarak, işitsel sinir sistemine ciddi şekilde zayıflamış bir sinyal iletilir. Elektrik stimülasyonu doğrudan fonksiyonel koklear sinire iletiildiğinden, tüm konuşma frekansı aralığını kapsayan bileşenleri içeren daha sağlam bir işitsel sinyal sağlar. Bu nedenle Kİ, ileri-çok ileri derece işitme kaybı olan birçok kişi için önemli fayda sağlamaktadır (Wolfe, 2018). İleri/çok ileri derecede işitme kaybı olan yetişkin bireyler Kİ ile oldukça iyi açık-uçlu konuşma tanıma elde edebilir ve birçoğu telefonla dahi iletişim kurabilir (Helms et al., 2004). İleri/çok ileri derecede işitme kaybıyla doğan ve yaşamın ilk yılında Kİ takılan çocuklar ise sıklıkla yaşlılarına uygun konuşma dil becerileri geliştirebilir (Wolfe et al., 2016).



Şekil 1: İki farklı koklear implant markasına ait (Sol MED-EL, sağ Cochlear) koklear implant dizaynı

2.2. Koklear İmplantların Çalışma Prensibi

Kİ'nin harici ses işlemcisi mikrofonu, gelen ses sinyalini yakalar ve bunu bir elektrik sinyaline dönüştürür. Elektrik sinyali, sinyal-gürültü oranını iyileştirmek için sinyalin amplitüdünü artıran preamplifikatöre iletilir. Ardından, frekans, zaman ve şiddet alanlarında ses girişinin bileşimini belirlemek için, sinyal ses işlemcisinin dijital sinyal işlemcisi tarafından analiz edilir. İşlemin bu aşamasında sinyal, frekansa özgü işleme ve nihai uyarın sunumuna izin vermek için farklı analiz bantlarına (frekans bantları veya kanallar) bölünür. Geniş bant giriş sinyalinin spektral analiz bantlarına ayrıştırılması, dijital filtreleme (örneğin, hızlı Fourier dönüşümü, Hilbert transformu) ile gerçekleştirilir. Ses sinyali spektral olarak analiz edildikten ve farklı analiz bantlarına atandıktan sonra farklı bantlardan gelen çıktı, sinyalin amplitüd zarfını (yani spektral bantların her biri arasındaki sınırı) yakalamak için bu bantlardan gelen bilgiyi düzeltmeye ve alçak geçirgen filtrelemeye tabi tutulur.

Dijital sinyal işlemcisi işlenmiş sinyali, bir taşıyıcı frekans ile (dijital elektromanyetik indüksiyon/radyofrekans iletimi aracılığıyla) koklear implantın dahili bobinine ileten kodlanmış bir elektrik sinyaline dönüştürür. İşlemciden Kİ'ye iletilen sinyal, implantın koklear sinire nasıl bir elektrik stimülasyonu iletmesi gerektiğini belirler. Kİ kendi güç kaynağını

içermez, bu nedenle ses işlemcısından iletilen RF sinyali de koklear implantı çalıştırmak için kullanılır. Kİ, sayısallaştırılmış RF sinyalini aldığı anda, implantın dijital sinyal işlemcisi tarafından analiz edilir (Wolfe, 2018).

Kİ sabit, orta veya yüksek bir hızda genellikle bifazik elektrik darbeleri üreten bir stimülatöre sahiptir. Bu elektrik darbelerinin genliği, her analiz bandındaki sinyalin amplitüd zarfının büyüklüğü ile modüle edilir, yani değiştirilir. Başka bir deyişle, elektrik darbelerinin genliği, orijinal sinyalin amplitüd zarfının büyüklüğü ile doğru orantılıdır. Amplitüd modülasyonlu elektrik darbeleri, belirli bir analiz bandına karşılık gelen elektrot kontaklarına iletilir. Çok kanallı Kİ'ler, kokleanın bazal ucuna doğru yerleştirilmiş elektrotlara yüksek frekanslı sinyaller ve daha apikal konumlara doğru alçak frekanslı sinyaller ileterek kokleada var olan doğal tonotopik organizasyondan yararlanır.

2.3. Koklear İmplant Değerlendirme ve Takip Süreci

Koklear implant kriterleri, Amerikan Gıda ve İlaç İdaresi'nin (*İng. Food and Drug Administration, FDA*) yetişkinler için çok kanallı koklear implantları ilk kez 1985 yılında onaylamasından bu yana hızlı bir şekilde gelişmiştir. Adaylık kriterleri hastanın yaşına, işitme kaybının etiyojisine, bazı durumlarda Kİ üreticisine ve bazen de ülkelere göre değişir. Adaylığın belirlenmesini zorlaştıran konu Kİ'ler, işitme cihazları, kemiğe entegre işitme cihazları, orta kulak implantları ve işitmenin korunmasına yönelik daha kısa elektrot, atravmatik Kİ cerrahisinin seçimi gibi örtüşen endikasyonların varlığıdır. Tüm bu değişkenler göz önüne alındığında, uygun Kİ adaylarının seçimi karmaşık bir süreç olabilmektedir. Öte yandan, Kİ üzerine düzenli olarak çalışmayan klinisyenler, kaç hastanın potansiyel olarak bu teknolojiye yararlanabileceğinin tam olarak farkında olmayabilir. Yetişkin Kİ aday seçimi sürecinde dikkate alınması gereken birçok husus vardır. Birçoğu saf ses işitme ve konuşmayı tanıma testleri de dahil genel odyolojik değerlendirmeyle ilgili olsa da dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi gereken tıbbi, radyolojik ve psikolojik boyutlar da vardır.

2.3.1. Preoperatif Değerlendirme

Kİ cerrahisi öncesi (preoperatif) değerlendirmenin amacı, hastanın fonksiyonel işitme yeteneğini ve Kİ ile belirgin bir iyileşme elde edilip edilemeyeceğini değerlendirmektir. Preoperatif değerlendirme medikal, odyolojik, dil ve konuşma, radyoloji ve nöropsikolojik

değerlendirmeyi kapsar. Gerekli olması durumunda ek başka bölümlere de konsültasyon istenmelidir.

Medikal değerlendirme için kapsamlı hasta öyküsü alınmalıdır. Hasta, ilişkili medikal veya gelişimsel problemler açısından değerlendirilmelidir. Varsa önceki medikal ve odyolojik kayıtları incelenmelidir. Genel anestezi için medikal bir engel olup olmadığı sorgulanmalıdır. Dış kulak kanalı, timpanik membran ve orta kulağın durumunu incelemek için kapsamlı otoskopik muayene yapılmalıdır.

Odyolojik değerlendirmede hastanın kullandığı işitme cihazının ayarının hasta için optimal olması ve hasta tarafından düzenli kullanılmış olması gereklidir. Serbest alanda işitme cihazlı işitme hasasiyeti ve konuşma algısı değerlendirilmelidir. Kapsamlı odyolojik değerlendirme; elektrofizyolojik [işitsel beyin sapı yanıtları (ABR) gibi], elektroakustik [Otoakustik emisyonlar (OAE) gibi], davranışsal işitme testleri (konuşma testleri dahil), akustik immitansmetri ve işitme cihazlı testleri içermelidir. Preoperatif dönemde, bazı olguların Kİ veya işitsel beyinsapı implantı [*ing. auditory brainstem implant (ABI)*] kararında (radyolojik görüntüleme dışında) davranışsal veya elektrofizyolojik yanıtların elde edilmesi büyük öneme sahiptir.

Preoperatif dönemde işitme sinirinin etkinliğini değerlendirmek için özellikle elektriksel uyaran kullanılan sistemler uygundur. İntraoperatif dönemde ise benzer şekilde elektriksel uyarılmış yanıtlar Kİ'nin doğru yerleşip yerleşmediğinin tayini ve başlangıç uyarım seviyelerinin belirlenmesi için kullanılmaktadır. Post-operatif dönemde ise elektriksel uyaran veya davranışsal yöntemler kullanılarak cihazın programlanmasını, cihazlı işitsel performans ve dil gelişiminin değerlendirilmesi süreçleri izlemektedir.

Elektriksel uyarılmış işitsel beyinsapı yanıtları (*ing. Electrically Evoked Auditory Brainstem Responses, EABR*), işitsel sinirinin uyarımı sonucu beyin sapında ortaya çıkan senkron sinirsel aktivitenin kayıdır. EABR preoperatif, intraoperatif ve postoperatif dönemde kaydedilebilir. Hem doğuştan çok ileri derece işitme kayıplı çocuklarda hem de sonradan işitme kaybı olmuş kişilerde ve farklı implant tipleri kullanan kişilerde EABR başarılı bir şekilde ölçülebilmektedir (Brown et al., 1994). EABR dalgasının analizinde, amplitüd, latans ve morfoloji parametreleri incelenir. Akustik ABR'de olduğu gibi, EABR, I-V dalgaları ile karakterizedir. EABR'nin 1. dalgası genellikle kaydın başlangıcındaki elektriksel uyarı artefaktı nedeniyle gözlenmez. Genel olarak akustik ABR'nin V. dalga latansına kıyasla EABR'deki V. dalga latansı 1.0-1.5 ms daha erken elde edilir. Ortalama olarak, V. dalganın latansı yüksek

seviyelerde yaklaşık 3,7 ila 4,0 ms ve eşik değerine yakın seviyelerde ise 4,1 ila 4,7 ms civarındadır. EABR, uyarın şiddetindeki değişikliklerden çok düşük düzeyde etkilenir. Uyarın şiddetindeki azalma ile amplitütlerde düşüş ve latanslarda uzama gözlenebilir. Ancak latans üzerindeki etkiler akustik ABR ile görülen kadar belirgin değildir (Firszt et al., 2002).

Elektriksel uyarın kullanılan bir diğer test olan promontoryumun stimölasyonu ile işitsel bir duyum oluşması, çalışan bir koklear sinir varlığını doğrulayabilir. Promontoryum stimölasyon testi (PST), sağ kalan spiral ganglion sinir liflerinin bir Kİ için gerekli uyarımı sağlayıp sağlayamayacağını tespiti için 1974'te House ve Brackmann tarafından tasarlanmıştır (House & Brackmann, 1974). Kafa travması veya temporal kemik kırıklarında ve hipoplazik sinir olduğundan şüphelenilen durumlarda kullanışlıdır. Koklear sinirin durumunun belirsiz olduğun bir tümör çıkarma öyküsü olan hastalarda promontoryum stimölasyonu ameliyat sonrası 6. hafta itibari ile uygulanabilir. PST, hasta supine pozisyondayken timpanik membranın topikal anestezisi sonrasında promontoryum üzerine bir transtimpanik iğne elektrot yerleştirilerek yapılır. İşlem sonrası kulak zarı hızlıca iyileşir. PST için kokleovestibüler sinir elektrikle uyarılır, hastanın işitsel gerilemesi yok ise ya da koklea ve sinir aktivitesi yeterli ise elektriksel uyarandaki farklılıkları algılar. Gönderilen elektrik pulsları ile; temporal çözünürlüğün frekans, zaman ve şiddet ayırt etme bileşenleri ölçülür. Bunun için hastaya kesikli veya devamlı uyarını, uyarandaki boşlukları, uyarın şiddetindeki artış veya düşüşleri, rate'indeki değişikliklere bağlı perde değişikliklerini fark edip fark etmediği sorulur. Promontoryum stimölasyonundan sonra kaba ses algısı veya ses algısı olan hastalara önce koklear implantasyon uygulanabilir. Ancak PST, bireylerin %5-10'unda PST'de olumsuz bir yanıt yanlış pozitif yanıtla sonuçlanabilir (House & Berliner, 1986; Kileny et al., 1991). Bu nedenle promontoryum stimölasyon testinde yanıt olmaması, Kİ'den fayda elde edilemeyeceğinin kesin bir göstergesi olarak kabul edilmemelidir (ya da tam tersi). Kİ, uygun bir risk profiline sahip hastalarda ABI'dan önce denenebilir (Deep et al., 2019).

Hastanın dil ve konuşma becerilerinin değerlendirilmesi, implantasyon öncesi mevcut dil ve konuşma becerilerinin seviyesinin sağlanması için önemlidir. Bu sayede hastanın en iyi şekilde desteklendiğinden ve uyanık olduğun saatlerde sürekli olarak işitme cihazı kullanıldığından emin olunabilir ve implantasyon sonrası ilerleme kaydedilebilir.

Radyolojik değerlendirmeye ise, kokleayı değerlendirmek için temporal kemiğinin yüksek çözünürlüklü bilgisayarlı taraması (BT) gerçekleştirilir. Konjenital malformasyonların ve cerrahi anatomi, progresif işitme kaybına sebep olan vestibüler akuadukt çapı, fasiyal sinir,

mastoid kemiğin havalanması değerlendirilir. İnternal akustik kanalın fundusundaki vestibulokoklear kompleks, işitme siniri ve diğer yumuşak dokuların bütünlüğü, fasiyal sinire göre koklear sinirin çapının ölçümü için manyetik rezonans görüntüleme yapılır. Koklear osifikasyon veya fibroz doku, elektrot dizisinin tam yerleştirilmesini sınırlayabileceğinden implant seçimini ve yerleştirme şeklini değiştirebilir. Bunlar dışında bilişsel handikapları dışlamak için zeka testleri, psikolojik uygunluğun değerlendirilmesi, hastanın implantasyona dair beklentisi ve motivasyonları veya ek hastalıkların implantasyon üzerine olası etkileri ilgili branşlar tarafından değerlendirilmelidir.

2.3.2. İntraoperatif Değerlendirme

Skala timpaniye optimal, atravmatik bir elektrot yerleşimi, koklear implant başarısını en üst düzeye çıkarmak için iyi bilinen bir ön koşuldur. Ameliyat sırasında yapılan intraoperatif ölçümler ile yanlış elektrot yerleşimi veya stimülatör hatası/arızası varlığı tespit edilir. Böylece hasta anestezi altındayken sorunların üstesinden gelinebilir. Koklear implantasyon sırasında intraoperatif monitörizasyon için çeşitli elektrofizyolojik ve radyolojik teknikler kullanılmaktadır. Elektrot yerleşimi sonrası telemetri ölçümleri yapılarak toprak elektrot ve intrakoklear elektrotların impedans değerleri ölçülür. Herhangi bir kısa devre, açık devre ya da ekstra-koklear elektrot varsa cerrah bu konularda bilgilendirilir. Ardından elektriksel uyarılmış stapes refleksi eşiği [*ing. Electrically Evoked Stapedius Reflex Threshold (ESRT)*] ve elektriksel uyarılmış bileşik aksiyon potansiyeli [*ing. Electrically Evoked Compound Action Potential (ECAP)*] ölçümleri gerçekleştirilir. ESRT ve ECAP ölçümlerden alınan cevaplar implantın uygun alana yerleştirildiğini ve implantın sorunsuz bir şekilde çalıştığının bir göstergesi olarak kabul edilir. Bazı sendromik veya şüpheli radyolojik bulgusu olan vakalarda EABR yapılabilir. Ölçümler sonrası elektrotun yerinden çıkmayacak şekilde desteklenmesi ile intraoperatif süreç tamamlanır.

Öte yandan bir hastaya Kİ adaylığı olduğu bildirildiğinde, derinlemesine danışmanlık ve eğitim kritik önem taşır. Bu aşama Kİ değerlendirme randevusunun önemli bir bölümünü oluşturur. Hastayı Kİ'nin işlevi ve ne yaptığı ile implantın işitsel işlevi nasıl yeniden sağladığı (normal işitme fonksiyonundan bahsederek) konusunda bilgilendirmeyi içerir. Ayrıca hastaların koklear implantasyonla ilgili en sık sorduğu soru, ameliyat sonrasında konuşmayı anlama açısından ne kadar iyi olacaklarıdır. Bu soruyu cevaplarırken, yaş, odyometrik eşikler, ameliyat öncesi konuşma algılama performansı, işitme kaybı süresi, öncesindeki cihaz kullanma tecrübesi, koklear ve sinir yapılarının bütünlüğü, işitme kaybının etiyojisi ve cerrahi

müdahale gibi postoperatif sonuçları etkileyen bir dizi potansiyel faktör göz önünde bulundurulmalıdır.

2.3.3. Postoperatif Değerlendirme ve Hasta Takibi

2.3.3.1. İşitmenin Değerlendirilmesi

Ameliyat sonrası işitme testinin testin ilk aktivasyon randevusunda tamamlanması önerilir. Böylece cihazın cerrahi olarak yerleştirilmesinin, koklear fonksiyon üzerindeki etkisi değerlendirilebilir. Ayrıca işitme testi, rezidüel akustik işitmenin gelecekte yeniden değerlendirildiği durumlarda karşılaştırma yapılabilmesine olanak sağlar (Gifford, 2013).

İlk aktivasyon randevusunda hem hava iletimi hem de kemik iletimi eşik değerlerinin ölçülmesi gereklidir. Bunun nedeni, orta kulak boşluğunda hâlâ kan ve/veya sıvı kalıntısının bulunabilmesidir. Bu nedenle, ilk aktivasyonda muhtemelen iletim kaynaklı kayıp mevcut olabilir. Timpanogramlar olası sıvının varlığını doğrulayabilir, ancak ameliyattan sonraki ilk 2 haftadan daha kısa bir sürede aktivasyon yapılacaksa uygulama yapmak için görüş alınması önerilir (Gifford, 2013). Rezidüel işitmenin korunması durumunda, zaman içinde rezidüel işitmenin korunup korunmadığı belirli aralıklarla kontrol edilmelidir. Bu özellikle başlangıçta iletim tipi bir kaybın mevcut olduğu durumlarda geçerlidir.

2.3.3.2. Koklear İmplant Uyarım Parametrelerinin Seçimi

Kİ haritalama (veya programlama), implantın ses işlemcisinde oluşturulan ve saklanan kişiselleştirilmiş bir işitme programıdır. Yazılım, aşamalı sırayla bir bilgisayar ekranında görüntülenen implanttaki elektrotların grafiksel temsilinden oluşur. Elektrotlar, koklea içine yerleştirildikleri sıraya (soldan sağa, apekten bazala doğru sıralama) karşılık temsil edilir (González et al., 2017).

Kİ programlama prosedürünün amacı, kullanıcıya sunulan konuşma bilgisini en üst düzeye çıkarmaktır (Incerti et al., 2018). Kİ işlemcisini programlama, genellikle her takip randevusunda gerçekleştirilen bir işlemdir. Oluşturulan programlar hasta tarafından kullanılmak üzere konuşma işlemcisine kaydedilir. Kullanılabilir programların sayısı, konuşma işlemcisinin bellek kapasitesine bağlıdır ve markalara göre değişiklik gösterir. Açılış programında uyarım stratejisi, aktif kanalların sayısı, stimülasyon oranı ve stimülasyon modu belirlenir. Ancak günümüzde çoğu programlama sistemi yazılımı varsayılan parametreler önermektedir ve bunlar her hasta için optimum programı sağlamasa da genellikle başlangıç için

yeterlidir. Özellikle çocuk kullanıcılar da parametreler zamanla değiştiğinden işlemci programlaması dzenli bir şekilde geręekleřtirilmelidir. Benzer şekilde, yetişkin kullanıcılar da program seviyelerinde dalgalanmalar gzlenebilir. Kullanıcı için uygun olmayan programlar Kİ performansını etkileyebilir.

Programlama öncesinde tüm elektrotların uygun şekilde çalışıp çalışmadığı ve hepsinin koklea içinde olup olmadığını kontrol etmek için telemetri ölçümü yapılır. İmpedans telemetrisi ölçümü elektrotların normal empedanslara sahip olup olmadığını göstermektedir. Anormal derecede yüksek impedanslara sahip elektrotlar, kısa veya açık devre olan elektrotlar programlama sırasında kapatılmalıdır. Açık devreler örneğin koklea içindeki bir hava kabarcığının sonucu olabileceğinden ve bu elektrotların impedansları daha sonra normale dönebileceğinden, impedansları birkaç kez yeniden ölçmek önemlidir. Ancak kısa devre elektrotlar tekrar uyarılamayacağından kalıcı olarak devre dışı bırakılmalı veya işaretlenmelidir (Cooper & Craddock, 2006).

Konuşma işleme stratejisi seçildikten sonra, programlama sırasında manipüle edilebilecek bazı parametreler vardır. Programlama sırasında parametreler klinisyen tarafından manipüle edilirken, diğerleri hasta yanıtlarına dayalı olarak yazılım içinde otomatik olarak manipüle edilmektedir. Klinik manipülasyon için mevcut olan spesifik programlama parametreleri, üreticilerin her biri tarafından sağlanan referans kılavuzlarında belgelenmektedir.

Mevcut Kİ sistemlerinde iletilen uyarı sinyalleri genellikle her kanalın zamansal zarfını belirli bir sabit (analiz) hızda rnekleyerek ve yoğunluğunu kullanarak ilgili elektrot bölgesine iletilen stimlasyon akım seviyesini kontrol eder (yine tipik olarak analiz hızına eşit olan sabit bir stimlasyon hızında). Cihazlarda kullanılan stimlasyon hızları aralığı, düşük (<500 pps/ch), orta (500-1000 pps/ch) ve yüksek (>1000 pps/ch) olmak üzere sistemler arasında büyük farklılıklar göstermektedir (Arora, 2012). Düşük stimlasyon hızı kullanıldığında darbeler (*ing. pulse*) nispeten uzak aralıklıdır, bu nedenle orijinal dalga formunun tüm önemli zamansal ince yapısı işlenemeyebilmektedir. Daha yüksek bir hız kullanıldığında, darbeler daha yakın yerleşir ve zamansal ince yapıyı daha hassas bir şekilde taşıyabilirler (Loizou et al., 2000). Sinyal işleme açısından bu makul görünse de uygulamada, Kİ kullanıcılarının algısal performansı daha yüksek hız kullanıldığında gelişmeyebilmektedir (Arora, 2012).

İşleme stratejisi, ses işlemcisinin akustik sinyalleri analiz ettiği ve bunları implanta iletme üzere kodladığı bir dizi kural olarak tanımlanır. Koklear implantın sinyal işleme

stratejisi, mikrofondan gelen girdileri elektriksel uyarılara dönüştürür. Koklear implantlarda konuşma bilgisini temsil etmek için kullanılan mevcut stratejiler; *continuous interleaved sampling (CIS)*, *spectral peak (SPEAK)*, *fine structure processing (FSP, FS4, FS4-P)*, *advanced combination encoder (ACE)*, *high resolution (HiRes)*'dur. Bu stratejiler arasında FSP-4, ACE ve HiRes Optima stratejileri sırasıyla MEL-EL, Cochlear ve Advanced Bionics cihazlarının en son sürümleri için varsayılan seçeneklerdir.

MED-EL koklear implant firmasının geliştirdiği FSP sinyal kodlama stratejisi, ses giriş sinyalini analiz etmek ve spektral, genlik zarfı ve ince zamansal yapı bilgilerini çıkarmak için bir Hilbert dönüşümü kullanır. Ayrıca, daha iyi spektral çözünürlük sağlamak için çan şeklindeki, örtüşen bant geçiş filtreleri kullanılarak ara perdeler oluşturulabilir; bu, yer ipuçları temelinde tanımlanan ünsüzler (örneğin, /s/, /) dahil olmak üzere yüksek frekanslı ses birimlerinin tanınması için önemlidir. f/, /t/). Ara perdelerin ince zamansal yapısının sağlanmasıyla birlikte CIS tabanlı bir sinyal kodlama stratejisinin kullanılması, ses kalitesini, gürültüde konuşma tanımayı, müzik beğenisini ve müzik tanımayı iyileştirebilir. FS4, 1000 Hz'e kadar olan kanallarda (yani apikal üç veya dört kanal) ince yapı işlemeyi (fine structure processing) sağlar. Birincil amaç, alçak frekans aralığı boyunca gelişmiş ince yapı işleme sağlamaktır. FS4-p ise FS4 sinyal kodlama stratejisinin bir varyasyonudur. FS4-p ile 1000 Hz'e kadar ince yapı işleme sağlanır ve ince zamansal yapı sağlamak için aynı anda en dört apikal kanaldan ikisini aynı anda uyarmak için paralel uyarım (eşzamanlı uyarım) kullanılır (Wolfe, 2018). ACE ise Cochlear marka implantlarla kullanılan mevcut varsayılan sinyal kodlama stratejisidir. Uygulamada ACE, monopolar elektrot bağlantısı kullanır. ACE'nin daha yüksek stimülasyon oranları yoluyla ince zamansal yapı ipuçları sağlanması nedeniyle muhtemelen daha iyi performans sağladığı öne sürülmüştür (Wolfe, 2018).

Mevcut Kİ sistemlerinin çoğu, intrakoklear ve ekstrakoklear elektrotlar kullanır. Kİ sistemlerinde üç temel akım uyarım modu kullanılmaktadır: monopolar, bipolar ve common ground. Monopolar stimülasyonda elektrik akımı, bir aktif intrakoklear elektrot ile temporal kasın altına bir top (*ing.ball*) elektrot olarak veya alıcı (*ing.receiver*) muhafazası üzerine bir plaka elektrot olarak yerleştirilen ekstrakoklear elektrotlar (geri dönüş akımı yolunu sağlar) arasında geçer. Bipolar stimülasyonda akım, koklea içindeki bir aktif ve bir geri dönüş elektrotu arasında akar; common ground stimülasyonunda, akım koklea içindeki bir elektrottan diğer tüm intrakoklear elektrotlara akar.

Elektriksel uyarılar girdinin temel unsurlarını, hasta tarafından algılanabilecek ve kullanılacak şekilde temsil eder. Strateji seçiminden sonraki basamak ise davranışsal veya elektrofizyolojik yöntemlerle minimum uyarım eşiği ve konfor seviyesini (ya da üst uyarım seviyeleri) belirlemektir.

2.3.4. Koklear İmplant Programlama

2.3.4.1. Davranışsal Koklear İmplant Programlama

Kİ eşik seviyesi (*ing. threshold, THR*) uyarının zamanın yüzde ellisinde tanımlanabildiği seviye olarak kabul edilir. Eşik seviyesi, bireyin uyarıyı duymaya başlayabildiği seviyedir. Rahat duyulabilir ses seviyesi (*ing. most comfortable level, MCL veya upper stimulation level*) ve eşik seviyesi arasındaki fark ise dinamik alan olarak tanımlanır.

Kullanıcının her bir elektrot veya elektrot gruplarındaki elektriksel dinamik aralığını belirlemek için psikofiziksel ölçümler kullanılabilir. Psikofiziksel testler için kullanılan ölçüm uyarıları, canlı ses, tonal sesler veya gürültü benzeri uyarıları içerebilir. Bu ölçümler, uyarı için "eşik" elde etmenin yanı sıra maksimum ses seviyesi veya en rahat dinleme seviyelerini içerebilir. Elektriksel dinamik aralığının alt ve üst sınırları, implant üreticileri arasında farklı şekilde tanımlanır. Eşik seviyesi her bir elektrot için mümkünse ayrı ayrı ayarlanmalıdır. Bunun dışında örneğin Advanced Bionics ve MED-EL şirketleri, hasta programlamasının alt sınırlarının elektriksel dinamik aralığın %10'unda varsayılan ayarlanmasını önerir (Ruckenstein, 2020). Elektrik stimülasyon eşiği, Kİ kullanıcısının elektrik sinyalleri (tipik olarak iki fazlı elektrik darbeleri) elektrotlara bırakıldığında algılayabileceği daha düşük stimülasyon miktarını ifade eder.

Programlamada ayrıca bir stimülasyon üst limiti belirlenmelidir. Yine bu seviye, üreticilerin yazılımları bağlamında tanımlanır. Cochlear ve MED-EL, uyarımın üst sınırı olarak maksimum konforlu dinleme seviyesini kullanır. Advanced Bionics, stimülasyonun üst sınırlarını en rahat dinleme seviyesi olarak tanımlar. Bununla birlikte, tüm üretici yazılımları, klinisyenin takdirine bağlı olarak dinamik aralık parametrelerinin manipülasyonuna izin verir.

Düşük seviyeli seslere daha iyi erişim sağlamak için THR seviyeleri doğru bir şekilde ayarlanmalıdır. Hastanın yaşına göre uygun şartlandırma ve gözlem yöntemlerinin kullanılmasıyla çocukların büyük çoğunluğunda bunu belirlemek mümkündür. Bu teknikler arasında **davranışsal gözlem odyometrisi** (*ing. behavioral observation audiometry-BOA*), **görsel pekiştirme odyometrisi** (*ing. visual reinforcement audiometry-VRA*), **koşullu oyun**

odyometri (*ing.conditioned play audiometry-CPA*) ve yetişkinler için **standart odyometrik teknikler** yer alır.

- **Davranışsal Ses Yüksekliği Dengeleme (Loudness Balancing)**

Ses yüksekliği dengeleme (*ing. loudness balancing, LB*), her biri dinamik aralığın belirli bir yüzdesinde sunulan uyarıların eşit derecede yüksek olarak algılanmasını sağlamak için iki veya daha fazla aktif elektrotta programlama uyarısının art arda sunulmasını ifade eder. Araştırmacılar, elektrot dizisi boyunca eşit ses yüksekliği algısı ile sonuçlanan stimülasyon sağlanmasının, optimal ses kalitesi ve konuşma tanıma ile sonuçlandığını bildirmiştir (Dawson et al., 1997; Sainz et al., 2003). Wolfe ve Schafer (2015), elektrot dizisi boyunca eşit derecede yüksek olan üst stimülasyon seviyelerinin sağlanmasının, ses kalitesi ve konuşma tanımayı optimize edecek bir program oluşturmanın en önemli unsurlarından biri olduğunu öne sürmüştür.

Klinik uygulamada, iki veya daha fazla elektrot, üst stimülasyon seviyesinde (yani MCL seviyesinde) veya yakınında (örneğin, MCL'nin %80'i) uyarılır. Kullanıcıdan uyarıların eşit derecede yüksek olup olmadığını veya bir elektrotun daha yüksek bir algıya sahip olup olmadığını bildirmesi istenir. Kısacası klinisyen elektrotlar arasında dengeli ses yüksekliği elde etmek için bir ayarlama yapılır. Programlamaya elektrot dizisindeki en apikal konumdaki aktif bir elektrot ile başlanır ve elektrotlar arasında bazal yönde ilerlenir. Belirli bir denemede dengelenen elektrotların sayısı genellikle klinisyenler arasında değişir (bir seferde iki, üç, dört veya daha fazla), ancak bir seferde yalnız iki elektrot arasında ses yüksekliği dengeleme genellikle tercih edilendir.

Örnek verilecek olursa, klinisyen kullanıcıdan elektrot 22 ve 21 için (Cochlear marka için en apikal elektrotlar) ses yüksekliğini rahat duyulabilir seviyeyi ifade eden C seviyesinde (Med-El için MCL olarak kısaltılır) yargılamasını isteyerek başlarsa ve elektrot 21 elektrot 22'den daha fazla ses yüksekliğine sahipse, elektrot 21 için stimülasyon seviyesi bir miktar azaltılır. Ardından iki elektrotun ses yüksekliği daha sonra yeniden değerlendirilir. Kullanıcı, elektrotlar arasında ses yüksekliğinin dengelendiğini bildirdikten sonra, elektrot 21 ile 20 arasında ve bunu izleyecek şekilde elektrot dizisinin geri kalanı için ses yüksekliğini MCL düzeyinde karşılaştırır. İlk elektrot dizisindeki önceki elektrota göre dengelendiğinden, stimülasyon seviyesi ayarı her zaman çiftteki ikinci elektrota göre yapılmalıdır (Wolfe & Schafer, 2014).

Kİ fittinginin hasta uygun ve doğru yapılması konuşma anlaşılabilirliği için yeterli ses kalitesine ulaşmak için önemlidir. Farklı kanallarda ses yüksekliğinin dengelenmesi davranışsal Kİ ayarının önemli bir bileşenidir. Bazı kanallardaki herhangi bir dengesizlik diğer kanallar ile kıyaslandığında, sesin aşırı yüksek ya da düşük algılanmasına yol açabilir. Ortalama ile kıyaslandığında eğer bazı kanallardaki ses yüksekliği çok düşükse işitme hassasiyeti azalır ve bu bantlardaki şiddet çözünürlüğü azalır. Öte yandan bazı kanallardaki uyarım seviyesi çok yüksekse, hasta daha rahat işitebilmek için global ses yüksekliğinin azaltılması talep edebilir ve bu durum geri kalan kanallar için işitme hassasiyetinin azaltır (Wolfe & Schafer, 2014). Bu nedenle ses yüksekliği dengesizliği, işitme kalitesini azaltır ve anlaşılabilirliği zorlaştırır.

Ancak ses yüksekliği dengelemesini etkileyebilecek ve göz önünde bulundurulması gereken bazı durumlar vardır ve bunlar şöyle özetlenebilir (Sainz et al., 2003):

- Koklea boyunca nöral liflerin durumu pozisyona göre değişir. Çünkü her bir koklear bölüm patojenik ajanlardan farklı şekillerde etkilenir. Bu durum elektrotun yerleşimine göre işitme duyusunun değişmesine neden olduğundan kokleanın farklı bölümlerinde üretilen uyarıların tutarlı bir şekilde karşılaştırılmasını zorlaştırır.
- Dengeleme farklı elektrotlarda sunulan uyarıların şiddetleri arasında karşılaştırma yapılmasını gerektirir. Bazı hastalar (özellikle uzun süreli işitme kaybı olanlar) ton ve şiddet farklılıklarını ayırt etmekte zorluk çekebilirler.
- MCL seviyeleri rahatsız edici ses seviyesine yakın olabildiğinden MCL'yi dengelemek hastalar için zor olabilir. Yüksek uyarım seviyeleri bazen işitsel bir duyuya yol açmadan fasiyal ya da vestibüler uyarıya sebep olabilir. Bu gibi durumlarda hastanın rahat algılayabildiği seviyeye dayalı MCL hesaplaması elektrotların doğru dengelenmesi için yeterli olmayabilir.
- Kİ ile sunulan uyarılar fitting sırasında ve normal durumda birbirinden farklıdır.
- Dil becerileri kısıtlı hasta grubunda kanalların dengelenmesi sırasında alınan dönütler kısıtlı olabilir.

Ses yüksekliği dengeleme prosedürünün en zor kısmı, görevi hastaya açıklamaktır. Dengeleme apikalden bazala doğru yapılacaksa, piyano ile çalınan notaları dinleme analogisinin faydalı olduğu kanıtlanmıştır, çünkü algılanan perde değiştiğinde ses yüksekliğine karar verme görevini farklılaştırır. Hastaların görevi daha iyi anlamalarına yardımcı olmak için prosedürün

görsel olarak da anlatılması veya ses yüksekliği yargısını yapmayı kolaylaştıracak çizelgelerin kullanılması faydalı olabilir.

2.3.4.2. Objektif Koklear İmplant Programlama

Objektif ölçüm yöntemleri, güvenilir davranışsal tepkilerin elde edilmesinin mümkün olmadığı durumlarda Kİ programlama için kullanılmaktadır (Brown, 2003). Küçük çocuklar, öğrenme güçlüğü çeken yetişkinler, ses yüksekliği yargısı yapamayan uzun süre işitme kayıplı yetişkinler veya zihinsel engelli bireylerde bu yöntemler sıklıkla kullanılır.

- **Elektriksel Uyarılmış Bileşik Aksiyon Potansiyeli**

Elektriksel olarak uyarılmış bileşik aksiyon potansiyeli (ECAP) kaydı, işitsel sinir liflerinin senkronize ateşlemesini yansıtır. Postoperatif olarak ise ECAP yanıtı, programlama için kullanılabilir. Programlama yapılması zor veya sakın olmayan bireylerde dahi ölçümler kolayca elde edilebilir (Kosaner et al., 2018). Hastanın ECAP eşliğinin bireyin elektriksel dinamik aralığında gerçekleşeceği kabul edilse de ECAP'ın kullanımı son literatürde programlama için tek başına önerilmemektedir (Holstad et al., 2009; Potts et al., 2007). Bunun yerine, davranışsal ölçümler ile kombinasyonu daha optimal bir program oluşturmak için tercih edilebilir. ECAP'ı referans alan terminoloji, implant üreticilerine göre değişir. Advanced Bionics, ECAP ölçümlerini Nöral Yanıt Görüntüleme (*ing. Neural Response Imaging-NRI*) olarak ifade eder. Nöral Yanıt Telemetrisi (*ing. Neural Response Telemetry-NRT*), Cochlear tarafından ölçümü tanımlamak için kullanılan terimdir. MED-EL, ölçümlerini İşitsel Sinir Yanıt Testi (*ing. Auditory Nerve Response Testing-ART*) olarak ifade eder. Kısaltmalardan bağımsız olarak, bu testlerin tümü elektriksel olarak uyarılmış bileşik aksiyon potansiyelini yansıtır.

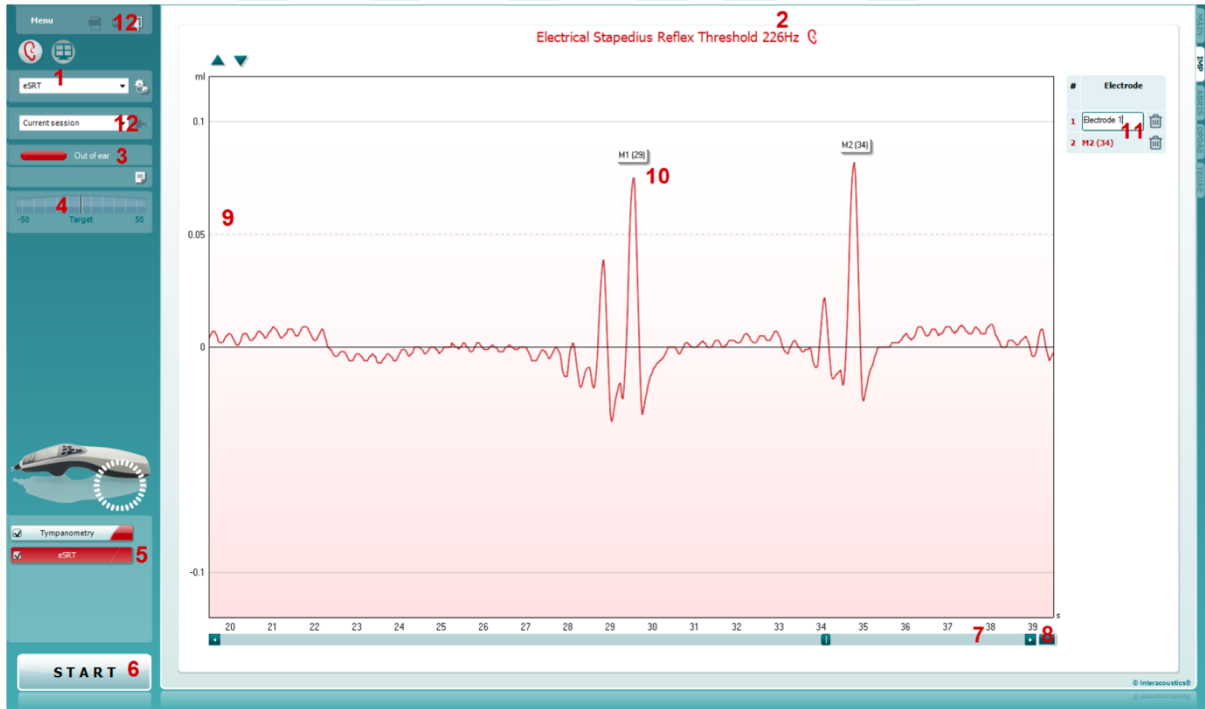
Çalışmalar, elde edilen ECAP eşiklerinin, test edilen Kİ kullanıcılarının çoğu için THR ve C/MCL seviyeleri arasındaki aralığa düştüğünü göstermektedir. Ancak hastalar arasında bireysel değişkenlikler mevcuttur, bu nedenle programlamaya hastanın da katılımı tercih edilir (Brown et al., 2000; Cullington, 2000; Hughes et al., 2000). Bazı çalışmalar ECAP ile oluşturulmuş bir program kullanıldığında, hastanın katılımı ile oluşturulmuş bir programın kullanımına kıyasla konuşma algılama puanlarında değişkenlik gösterdiğini bildirmiştir ancak, farklar istatistiksel olarak anlamlı değildir (Sun et al., 2004). Bu durum ECAP ayarlarının optimal olmayabileceğini düşündürse de konuşma bilgilerine makul bir erişim sağlanabilir.

- **Elektriksel Stapedial Refleks Eşiği**

Elektriksel uyarılmış stapedial refleks eşiği (ESRT), optimal Kİ programlamasının kritik bileşenlerinden biridir ve elektrik stimülasyonu için stapedial refleksin ortaya çıktığı en düşük

seviyeyi temsil eder. Klinik olarak ESRT, Kİ yoluyla elektriksel uyarana yanıt olarak kulak kanalının statik girişinde bir değişiklik olarak gözlenir. Bu sapma, bir immitans köprüsü üzerindeki bozunma aracılığıyla gözlemlenebilir. ESRT, başlangıçtan 0,02 sapma ile sonuçlanan en düşük elektriksel stimülasyon miktarı olarak tanımlanır (Gelfand, 2016). Kİ aracılığıyla bir elektriksel uyarı verilirken, stapedral refleks geleneksel bir akustik immitansmetre kullanılarak ölçülür.

ESRT ölçümündeki potansiyel diğer sınırlayıcı faktörler, güvenilir ölçümü karıştırabilecek miyojenik aktivite düzeyi veya orta kulak disfonksiyonu öyküsüdür. ESRT'nin davranışsal olarak ölçülen üst konfor seviyeleriyle (C/M veya MCL seviyeleri) yakından uyumlu olduğu bulunmuştur ve bu nedenle programlama sırasında uygun C/M seviyelerinin belirlenmesine yardımcı olabilir (Andrade et al., 2014). Ameliyat sonrası ESRT ile maksimum konfor seviyeleri arasında güçlü bir ilişki gösterilmiştir, bu da ESRT'yi potansiyel olarak programlamada tek başına ECAP'tan daha kullanışlı hale getirmektedir (Bresnihan et al., 2001).



Şekil 2: Elektriksel uyarılmış stapes refleks eşiği ölçüm ekranı

- ***Elektriksel Uyarılmış İşitsel Beyin Sapı Yanıtı***

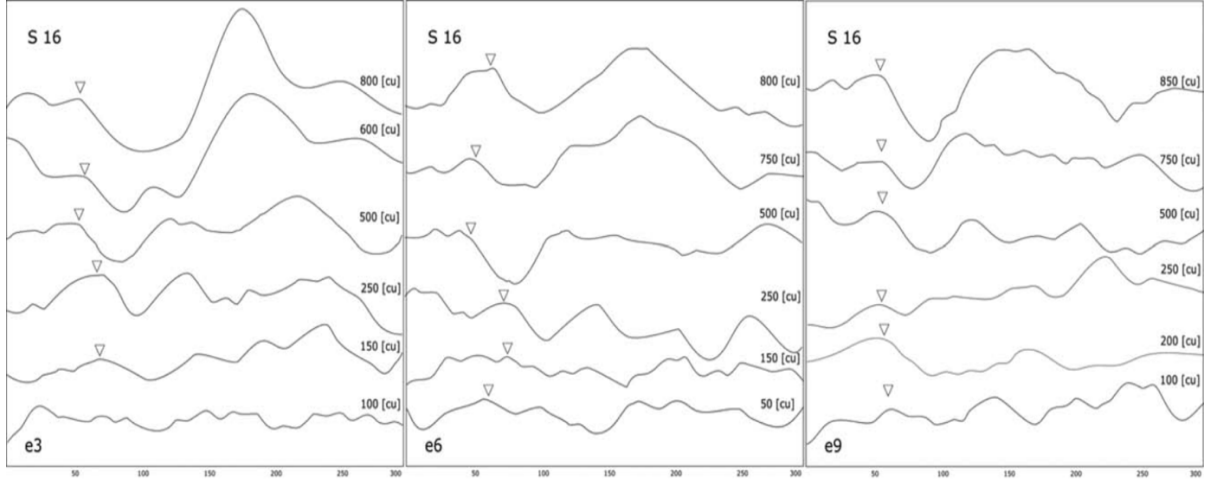
Elektriksel olarak uyarılmış işitsel beyin sapı yanıtı (EABR), periferik işitsel sinir yollarıyla ilgili bilgiler sunar ve intraoperatif olarak veya Kİ programlaması sırasında gerçekleştirilebilir. Ancak ölçüm, test kurulumu ve yönetimine harcanan zaman nedeniyle, klinik olarak ECAP veya ESRT'den daha az kullanılma eğilimindedir. Ayrıca sonuçlar ESRT kaydında olduğu gibi, miyojenik aktivite düzeyi gibi hasta değişkenlerinden de etkilenebilir (Deniz et al., 2021).

EABR Çocuklarda Kİ programlaması için objektif bir ölçüm yöntemi olarak kullanılabilir. Özellikle kullanıcıların THR seviyesini tahmin etmek için de kullanılabilir. 75 çocuk üzerinde yürütülen bir çalışmada EABR eşiklerinin MCL'den ziyade THR seviyeleri ile korele olduğu bulunmuştur. Çalışmada elektrik ABR eşiği her zaman THR ve MCL seviyeleri arasında bulunmuştur (Mittal et al., 2015). Diğer çalışmalar ise EABR eşiğinin THR düzeyi ile daha fazla korele olmasına rağmen bu ilişkinin yeterince güçlü olmadığını bildirmiştir (Abbas et al., 2004; Truy et al., 1998).

- ***Elektriksel Uyarılmış Geç Latans Yanıtları***

Akustik geç latans yanıtlarında uyaran bir hoparlör aracılığıyla sunulduğundan, yanıtlar ses işlemcisinin parametrelerinden (farklı ses kodlama stratejileri, mikrofon özellikleri vb. kullanılarak) etkilenebilir. Bireysel değişkenlikler de göz önüne alındığında, farklı yanıt modellerinin nörofizyolojik işlemlerden mi yoksa konuşma işlemcisinden mi kaynaklandığını belirlemek zordur. Akustik uyaran yerine doğrudan elektriksel uyarının kullanılması bu farklılıkları ortadan kaldırmaktadır (Deniz et al., 2022).

Mevcut çalışmalar, elektriksel uyarılmış geç latans yanıtlarının (EALR) latansı ve amplitüdlerinin orta ve kısa vadede iyi test-tekrar test güvenilirliğine sahip olduğunu göstermiştir (He et al., 2016; Pike et al., 2020). Ayrıca, Kİ kullanıcılarıyla yapılan çeşitli çalışmalar, Kİ performansının ve işitsel kortikal gelişimin izlenmesinde EALR ölçümünün yararlılığına odaklanmıştır, ancak EALR'nin Kİ programlamasında kullanımına ilişkin veriler sınırlıdır (Guiraud et al., 2007). Ülkemizde yürütülen bir araştırmada Deniz ve ark. (2023), EALR'nin, MCL'nin belirlenmesinde objektif bir yöntem olarak tercih edilebileceğini ortaya koymuştur (Deniz et al., 2022).



Şekil 3: Bir koklear implant kullanıcısının farklı elektrot bölgelerinden elde edilen elektriksel uyarılmış işitsel geç latans yanıt kayıtları

2.4. Spektral ve Temporal Çözünürlük

İnsanlar birden fazla kaynaktan gelen seslerin zaman ve frekans bakımından örtüştüğü karışık ortamlarda bulunurlar. İşitme sistemi, bileşik sinyale katkıda bulunan bağımsız kaynaklara özgü bilgileri ayırabilir ve her bir kaynak için bilgileri ayrı ayrı işleyebilir. Buna “işitsel sahne analizi” veya “ses kaynağını belirleme” denir. Bileşik bir sinyalde hangi ses kaynaklarının bulunduğu belirleme yeteneğine olmadan, spektral profili (yani frekansın bir fonksiyonu olarak genlik paternini) tanımlamak çok zor veya imkansızdır (Sinex, 2005).

Aynı anda var olan ancak bağımsız olarak üretilen sesler, nispeten basit akustik boyutlar boyunca farklılık gösterme eğilimindedir. Bu boyutlar, seslerin asenkron olarak başladığı veya bittiği zaman olduğu gibi “temporal” veya seslerin farklı temel frekanslara sahip olduğu durumlarda olduğu gibi “spektral” olabilir. Psikofiziksel deneyler, insan dinleyicilerin ses kaynaklarını izole etmek için bu boyutları kullanma yollarından bazılarını tanımlamıştır. Spektral yapının işlenmesinin parametrik olarak incelemesi için basit ama kullanışlı bir uyarın, örneğin yanlış ayarlanmış bir bileşeni olan veya olmayan bir harmonik karmaşık bir ton kullanılabilir. Bu "yanlış ayarlanmış ton", çeşitli psikofiziksel deneylerde ve daha yakın zamanda, özellikle harmonisiteye dayalı ayırışmanın altında yatan nöral mekanizmaları ele alan çalışmalarda kullanılmıştır (Sinex, 2005).

İşitmede spektral ve zamansal çözünürlük, konuşma algısında kilit rol oynamaktadır. Bir konuşma sesi çok sayıda karşıt frekans ve zamansal ipucu içermektedir. Örneğin, ünlü kontrastları ve ünsüzlerin artikülasyon kontastlarının yeri (örneğin /b/-/d/-/g/) temel olarak

frekans alanındaki ipuçlarıyla belirtilirken, diğer bazı kontrastlar sesli ünsüzler (örneğin /p/-/ b/) ve afrikatifler (örneğin İngilizce’de "sh" ve "ch") zamansal alandaki belirgin ipuçları ile ilişkilidir (Winn et al., 2016).

Gerçek dünyadaki iki ses bağımsız olarak üretildiğinde, bunların ayrışma ve nihai ses kaynağı belirleme için kullanılacak süre veya periyodiklik gibi nispeten basit akustik boyutlar açısından farklılıklar sergilemeleri muhtemeldir. Yost ve Sheft ses kaynaklarını ayırmak için kullanılacak altı akustik değişkeni listelemiştir (Yost & Fay, 2012).

Tablo 1: Ses kaynaklarını ayırmak için kullanılan akustik değişkenler (Yost & Fay, 2012)

Fiziksel Değişken	İpucu Tipi
Harmonisite	Spektral
Spektral ayırt etme	Spektral
Spektral profil	Spektral
Amplitüd modülasyonu	Temporal
Temporal ayırt etme	Temporal
Spatial ayırt etme	Spektral ve temporal

2.4.1. Koklear İmplant Kullanıcılarında Spektral ve Temporal Çözünürlük

Kİ kullanıcılarının çoğu işlevsel olarak konuşmayı tanıyabilir ve cihazla ilgili memnuniyetlerini bildirir (Holden et al., 2013). Bununla birlikte, cihazın sinyal işlemedeki sınırlamalar, kokleaya implante edilen sınırlı sayıda elektrot ve elektriksel işitme ile nöral uyarımın yayılması nedeniyle implantların spektral alanda (yani koklear aktivitesinin uzamsal yayılımı) çok zayıf çözünürlüğe sahip olduğu bilinmektedir (Boëx et al., 2003). Ayrıca, implantın kokleada ne kadar derine yerleşebildiği frekans enerjisinin yukarı kaymasına ve spektral

kompresyon gibi spektral zarfta daha fazla bozulmaya neden olur (Başkent & Shannon, 2005). Spektral çözünürlük çeşitli şekillerde ölçülebilir. Örneğin, her bir elektrotun aktivasyonundan kaynaklanan nöral uyarımın yayılma derecesi veya Kİ kullanıcılarının farklı elektrotlardan kaynaklanan perde algılarını sıralama yeteneğini ölçmek mümkündür (Abbas et al., 2004; Nelson et al., 1995).

Spektral çözünürlüğü değerlendirmenin bir başka yöntemi ise belirli bir spektral modülasyon derinliğinde değişken sayıda spektral tepe noktası içeren bir akustik uyarandır. Bu tür spektral dalgalanma (*ing.ripple*) uyarıları, normal işiten, işitme kayıplı ve Kİ'li dinleyicilerde frekans çözünürlüğünü değerlendirmek için kullanılmaktadır (Henry & Turner, 2003; Henry et al., 2005; Supin et al., 1997). Oktav başına daha fazla sayıda dalgalanma uyarılarını ayırt edebilen Kİ dinleyicilerinin, iki konuşmacılı *babble* ve sabit durum gürültüsünde ve daha az elektrot etkileşimi ile daha iyi konuşma algısı sergilediklerini göstermiştir (Jones et al., 2013). Normal şartlar altında, doğal konuşma seslerini kullanarak spektral çözünürlüğü doğru bir şekilde tahmin etmek mümkün değildir, çünkü konuşma, algıyı etkileyebilecek bir dizi spektral olmayan ipucu içermektedir. Spektral ipuçları nedeniyle konuşma seslerinin özel olarak tanımlanıp tanımlanmadığını bilmek mümkün olmadığından, geleneksel kelime tanıma testleri, arzu edilen bir spektral çözünürlük testi değildir.

Temporal çözünürlük yeteneği, ses uyarlarındaki küçük ve ani değişikliklerin algılanmasını sağlar. İyi işitsel temporal çözünürlük yeteneği, normal işiten dinleyiciler, işitme cihazı kullanıcıları, koklear implantlı bireyler ve dil bozukluğu olan grupların gürültüde konuşmayı anlamaları için önemlidir (Kumar et al., 2016). Temporal işleme, hem sözel hem de sözel olmayan uyarıların algılanmasında temel bir yetenektir. Literatür müzik, ritim, periyodiklik, fonem ayırt etme, süre ayırt etme ve perde ayırt etmede zamantemporal işlemenin önemini bildirmiştir (Downie et al., 2002; Phillips, 2002). İşitsel sinyallerdeki temporal ipuçları, özellikle sesin başlangıç ve bitiş zamanını ve uyarıların diğer geçici kısımlarını saptamak için konuşma tanımanın temelidir. Doğru konuşma tanıma, hassas bir temporal işleme gerektirir çünkü konuşma çok sayıda karşıt frekans ve zamanlama ipucu içerir. Pek çok çalışma temporal işleme yeteneğinin doğrudan konuşma algısı ile ilişkili olduğunu öne sürmüştür (Fu, 2002; Padilla Romero, 2004). Cesur ve Derinsu (2020), Kİ'li ve normal işiten iki grubu Gaps in Noise (GIN) testi ile karşılaştırdığında normal işitenlerde ortalama GIN eşliğinin 3.33 ± 1.2 msn, Kİ(Yost & Fay, 2012) kullanıcılarında ise 9.56 ± 3.49 msn olduğunu bildirmiştir. Ayrıca GIN toplam yüzde puanının ortalama değerinin normal grupta %90.77 ve Kİ grubunda

%47.22 olduğu gözlenmiştir (Cesur & Derinsu, 2020). Konuşmayı anlama kapasitesi ve zamansal çözümlemenin Kİ hastaları arasında büyük farklılıklar gösterdiği ve yaş, işitme kaybının süresi gibi çeşitli faktörlere bağlı olduğu bilinmektedir. Normal bir koklea, zamansal ve spektral işlemeyi etkileyen çok sayıda bağımsız kanala sahiptir ancak Kİ'nin kanal sayısı sınırlıdır. Bu durum Kİ tarafından işitsel sisteme iletilen bilgileri bozmaktadır.

2.5. Gürültüde Konuşmayı Anlama

Gürültüde konuşma anlaşılabilirliği, arka plan gürültüsü varlığında konuşulan kelimeleri tanımlama yeteneğidir. Gürültüde konuşmayı anlamak, iyi işiten dinleyiciler için bile önemli bir zorluk teşkil etmektedir. Bu zorluk, işitme bozukluğu olan dinleyiciler ve özellikle hem işitme hem de bilişte yaşa bağlı düşüşlerden etkilenen yaşlı yetişkinler için daha da artmaktadır (Roberts & Allen, 2016). İşitme kayıplı bir bireyin gürültülü bir ortamda normal işiten bir dinleyici ile aynı performansa ulaşabilmesi için sinyal gürültü oranının (*ing. signal to noise ratio, SNR*) 3 - 6 dB daha yüksek olması gereklidir (Alcántara et al., 2003).

Normal işiten dinleyicilerde sağlam koklea, gelen sinyaldeki perde (F0), zamanlama (konuşma başlangıçları, kaymalar ve fonemler arasındaki geçişler) ve tını (harmonikler) olarak algılanan spektro-zamansal ipuçlarını çözümler, bu sayede konuşmanın gürültüden ayrılmasına katkıda bulunur (Anderson & Kraus, 2010; Best et al., 2007).

Dinleyicilerin, mesajın beyin düzeyinde tanınmasına (“yukarıdan aşağıya” işleme) yardımcı olan dilsel ve bilişsel kaynaklara başvurarak zayıf sinyallerle başa çıktıkları bildirilmiştir (Rönnberg et al., 2013; Stenfelt & Rönnberg, 2009). Örneğin, fonemik ve söz dizimsel bilginin konuşma akışını hecelere ve kelimelere ayırmaya yardımcı olduğu, semantik bilginin ise dinleyicinin cümlenin içeriği hakkında çıkarımlar yapmasına ve olası tepkileri sınırlandırmasına izin verdiği bulunmuştur (Spehar et al., 2015). Çalışma belleği (*ing. working memory*) ise bozulmuş işitsel girdi ile daha önce kodlanmış ve uzun süreli bellekteki kelime dağarcığında depolanmış bilgi arasındaki olası uyumsuzlukları çözmek için konuşma sinyalini yeterince uzun süre saklamak amacıyla devreye girmektedir.

2.5.1.1. Koklear İmplant Kullanıcılarında Gürültüde Konuşma Anlama

Kİ kullanıcılarının gürültüde yaşadığı zorluklar, cihazının zayıf çözümlene yeteneğinin sonucudur ve bu da bozulmuş bir sinyale işlemeye (aşağıdan yukarıya) yol açar (Zaltz et al., 2020). Kİ, nispeten az sayıda spektral kanal ve zamansal ince yapıyı çözümlemesi nedeniyle ilettiği konuşma sinyalinin spektral bilgisi de sınırlıdır (Lorenzi et al., 2006; Rubinstein, 2004).

Bu durum kokleada elektriksel olarak uyarılmış nöronal uyarımın nispeten geniş yayılımına nedeniyle fonemik algı için gerekli olan spektro-zamansal bilginin belirsiz temsillerini üretir (Drennan & Rubinstein, 2008). Bununla birlikte prelingual implant kullanıcıları implantasyon öncesi dönemde işitsel uyarandan yoksun olduklarından, normal işitenlere kıyasla daha zayıf dilsel ve/veya bilişsel becerilere sahiptir çünkü gürültüde algılama için yukarıdan aşağıya öngörücü kodlama stratejilerinden yararlanma yetenekleri sınırlıdır (de Boer & Thornton, 2008; Rubinstein, 2004; Song et al., 2011).

Kİ kullanıcılarının gürültüde konuşma anlaşılabilirliğine katkıda bulunan faktörlerin özellikle işitme kaybı yaşı, rezidüel işitme, iletişim modu ve implantasyon yaşı gibi kişisel faktörler olduğu bildirilmiştir (Cejas et al., 2018; Davidson et al., 2011). Örneğin gelişimdeki kritik dönemde yapılan erken implantasyonunun kortikal bağlantıyı verimli bir şekilde geri kazandırdığı ve gürültüde konuşmanın tanınması için gerekli olabilecek fonksiyonel çapraz modal (*ing. cross-modal*) organizasyona izin verdiği düşünülmektedir (Kral et al., 2019; Kral & Sharma, 2012).

2.6. Müzik Algısı

İmplantasyon için uygun adaylar, her iki kulağında ileri veya çok ileri derecede işitme kaybı olan, akustik işitme cihazlarının kullanımından çok az fayda gören veya hiç fayda sağlamayan, ancak konuşma dilini öğrenmek ve anlamak için yeterli işitmeye sahip olan yetişkinlerle sınırlandırılmıştır. İlk cihazlar, çoğu kullanıcının görsel ipuçlarının yokluğunda konuşmayı anlamasını sağlayabilecek işitme sistemlerinden ziyade, esasen konuşmayı okumaya (dudak okuma) yardımcı olacak cihazlardı. İmplant teknolojilerinin sürekli gelişimi ve psikofizik, sinyal işleme ve fonksiyonel nöral uyarım gibi ilgili alanlarda artan bilgi ile elde edilecek sonuç beklentisi de istikrarlı bir şekilde artmıştır. Günümüzde rezidüel işitmeye sahip bazı kişilere Kİ uygulanmakta ve bu kişiler implanttan önemli ölçüde fayda sağlamaktadır. Ayrıca giderek artan sayıda insana bilateral implant uygulanmaktadır. İmplant kullanıcılarının büyük bir kısmı, uygun dinleme koşullarında konuşmayı anlayabilir ve diğer birçok ses türünü tanıyabilir. Ne yazık ki, mevcut Kİ sistemleri, karmaşık müzik sesleri için halen yetersiz işitsel bilgi sağlamaktadır.

Kİ kullanıcılarının müziği nasıl algıladıklarına ilişkin yayınlanmış araştırmaların çoğu, müziğin ritim, melodi ve tını gibi az sayıda temel özelliğe sahip organize bir ses dizisi olarak nitelendirilebileceği varsayımına dayanmaktadır. Seslerin harmoni ve genel gürülük gibi ek

özellikleri müziğin yapısına katkıda bulunur. Bu özelliklerin her biri, akustik sinyallerin fiziksel parametreleri cinsinden tanımlanabilir. Örneğin, bir sesin yüksekliği, şiddeti ile ilişkilidir ve çoğu müzik stilinde ritim, ses yüksekliğindeki orta derecede hızlı değişimlerle iletilir. Bununla birlikte, seslerin bu nesnel özelliklerinin ötesinde, müzik dinleme deneyiminde de önemli olan çeşitli fenomenler vardır (ruh hali, müziğin kalitesi vb.)(McDermott, 2004).

2.6.1. Koklear İmplant Kullanıcılarında Müzik Algısı

Kİ cihazları, her biri zaman içinde modüle edilen farklı spektral kanallar ile sesi iletir. Bu kaba temsil, sessizlik te konuşma anlaşılabilirliği ve müzikte ritmik algısını desteklemek için yeterli bilgi sağlar, ancak gürültüde konuşma anlaşılabilirliği veya melodik tanıma için yeterli değildir. Melodi tanıma, karmaşık perde algısı için bir miktar kapasite gerektirir; bu da büyük ölçüde spektral ince yapı ipuçlarına erişime bağlıdır. Bu nedenle, müzik algısı için spektral ince yapı ipuçlarına ihtiyaç duyulurken, optimal dinleme koşulları altında konuşma algısı için zamansal zarf ipuçları yeterlidir (Galvin III et al., 2009). Ayrıca işitsel nöronların sağlamlığı, elektrot yerleştirme derinliği ve elektrotların koklea içindeki yerleşimi gibi bir dizi bireysel hasta değişkeni de müzikal bilginin başarılı bir şekilde şifresinin çözülme derecesini etkiler (McDermott, 2004). Basit ritim kalıpları algılama normal işitenlere benzemesine rağmen, melodi ve tını tanıma Kİ kullanıcılarında önemli ölçüde daha zayıf bulunmuştur (Gfeller, Witt, et al., 2002; Kong et al., 2004; Leal et al., 2003).

2.6.1.1. Ritim algısı

Ayrt edici bir ritim sağlayan müzikal seslerdeki temporal paternler genellikle yaklaşık 0,2 ila 20 Hz frekans aralığında meydana gelir. Bundan daha yavaş değişen akustik özellikler, ses yüksekliğindeki (müzikteki “dinamik”) genel varyasyonlarla ilişkilidir. Akustik sinyallerin daha yüksek frekans bileşenleri, ise perde bilgisini taşır.

Kİ’li dinleyicilerin ritim ayırt etme yetenekleri birkaç araştırmacı tarafından araştırılmıştır. Örneğin Schulz ve Kerber (1994)’in araştırmasında, sekiz Kİ kullanıcısı tarafından bildirilen ritmik örüntü tanıma ve yeniden üretme değerlendirmelerinin sonuçları, normal işiten yedi denek tarafından elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldı. Tanıma görevi, dinleyicilerin dört ortak müzik ritmini temsil eden kalıpları (vals veya tango ile ilişkili olanlar gibi) tanımlamasını gerektirirken, yeniden üretim görevi, dinleyicilerin üç veya beş vuruştan oluşan birkaç farklı ritmik kalıplara dokunarak tekrar etmelerini gerektirmekteydi. Her bir grup için ortalama puanların, her iki değerlendirme türü için de en az %80 doğru olduğu bildirilmiş

(Schulz, 1994) ancak iki grup arasında performans açısından herhangi bir anlamlı farklılık olup olmadığını belirlemek için hiçbir istatistiksel analiz sunulmamıştır.

Leal ve ark. (2003), yirmi dokuz Nucleus 24 kullanıcısının ritim algısını değerlendirmiştir. Yirmi denek ACE ses işleme algoritmasını kullanırken geri kalanlar SPEAK algoritmasını kullanmaktaydı. Deneklerden uygulanan ayırt etme testine ek olarak (yani, ses dizilerinin çiftlerinin aynı veya farklı ritme sahip olup olmadığını gösteren), ritmik değişimin her bir dizide nerede meydana geldiğini belirtmelerinin istendiği bir tanımlama testi de yapılmıştır. Bireysel sonuçlar, deneklerin puanlarının iki ölçüt puanından büyük veya az olmasına göre “iyi” ve “kötü” olarak sınıflandırılmıştır. Sonuçlar ritim ayırt etme ve tanımlama testleri için sırasıyla %90 ve %75 doğrulukta bulunmuştur. Bu temelde, yirmi dokuz denekten yirmi dördü ritim ayırt etme testinde iyi performans elde ederken, deneklerden sadece on ikisi ritim tanımlama testinde iyi performans elde etmiştir. İki ses işleme şemasının kullanımıyla ilgili, performans açısından hiçbir farklılık rapor edilmemiştir (Leal et al., 2003).

Başka bir ritim algılama testinde, üç implant kullanıcısı ve normal işiten dört deneye yedi farklı ritmik modelden birini tanımlamaları talimatı verilmiştir. İmplant edilen deneklerden ikisi Nucleus cihazı ve SPEAK ses işleme algoritmasını kullanırken, üçüncüsü CIS algoritması birlikte Clarion I sistemini (*Advanced Bionics, Sylmar, CA*) cihazı kullanmaktaydı. Normal işiten denekler, testte %100'e yakın doğru puanlar elde ederken, bir Nucleus kullanıcısı benzer şekilde mükemmel yakın puanlar elde etmiş, ancak geri kalan iki denekin yüzde 10 ila 25 puan daha düşük puanlara sahip olduğu gözlenmiştir. İlginç bir şekilde, her denek için puanlar, aynı test materyallerinin farklı toplam hızlarda (dakikada 60-150 vuruş) sunulduğu 4 alt test için çok benzer bulunmuştur (Kong et al., 2004).

Bu bulgular, ritmik patern algılama görevlerindeki performansın implant kullanıcıları ve normal işiten dinleyiciler için genel olarak benzer olduğunu bildiren çalışmalar nedeniyle tutarsız görünse de farklılıkların temel olarak deneysel çalışma planı ilgili olabileceği düşünülmektedir.

2.6.1.2. Melodi Algısı

Melodi tanıma bireyin müzik geçmişi ve dinleme deneyimi ile bu deneyimin içinde kazanıldığı sosyal kültürel ortam ve kişinin hem ezgilere hem de adlarına ilişkin hafızası gibi oldukça değişken bir dizi faktöre bağlıdır. Örneğin, Batı müzik geleneğinde, Doğum Günün Kutlu Olsun (ing. Happy Birthday) şarkısı genel nüfus için en tanınan melodiler arasında derecelendirilir ve notaların tonlamasına, ritmin doğruluğuna veya dinleme durumunun akustik kalitesine

bakılmaksızın, uygun koşullarda hemen hemen herkes tarafından tanınır. Bu nedenle, perde ve zamansal kalıplar gibi müzikal seslerin temel özelliklerini doğru bir şekilde algılama yeteneği, melodi tanıma için her zaman bir ön koşul değildir (McDermott, 2004).

Çoğu Kİ kullanıcısının ritim algısı testlerindeki performansının, normal işiten dinleyicilerin performansına benzer olduğu bildirilmektedir. Bu gözlem, Kİ kullanıcılarının belirgin bir ritmik örüntüye sahip melodileri daha az ritmik olan melodilerden daha kolay tanıyabilecekleri beklentisine yol açmaktadır. Kırk dokuz çok kanallı koklear implant kullanıcısı ve normal işiten on sekiz kişiye 12 iyi bilinen melodinin sunulduğu bir çalışmada, implant kullanıcıları test materyallerini ACE, CIS veya SPEAK algoritmaları ile programlanmış kendi ses işleme cihazları aracılığıyla dinlemişlerdir. İmplant kullanıcıları için toplam ortalama melodi tanıma puanı yaklaşık %19 doğru iken, normal işiten denekler için karşılık gelen puan yaklaşık %83 olarak bildirilmiştir. Her bir grup için, ritmik olarak sınıflandırılan melodilerin ortalama puanı, aritmik melodilerin puanından yaklaşık % 12 daha yüksek bulunmuştur. Cihazın uyguladığı ses işleme algoritmasının türü ile ilgili olabilecek önemli bir performans farklılığı ise bildirilmemiştir (Gfeller, Turner, et al., 2002). Kong ve ark. (2004) ise, implant kullanıcıları için melodi tanımada ritim bilgisinin önemini destekleyen daha fazla kanıt yayınlamıştır. Deneylerinde, altı çok kanallı koklear implant kullanıcısından ritmik ipuçları olan ve olmayan 12 tanıdık şarkıyı tanımlamaları istenmiştir. Çalışmaya katılan normal işiten altı denek, melodiler her iki durumda da sunulduğunda mükemmel yakın tanıma puanları elde ederken, implant kullanıcılarının sonuçları ritmik ipuçları mevcut olduğunda yaklaşık %63 bulunmuştur. Her notanın süresi ve notalar arasındaki sessiz aralıklar eşitlenerek ritmik ipuçları ortadan kaldırıldığında ise implant kullanıcılarının ortalama performansı şans seviyelerine düşmüştür (Kong et al., 2004).

Melodiye aşinalık etkisinin değerlendirildiği bir çalışmada yirmi dokuz Nucleus kullanıcısına (ACE veya SPEAK algoritması) kelimelerle ve kelimeler olmadan ve mevcut materyale aşinalıklarına bağlı olarak her bir deneğe yedi veya sekiz melodi olacak şekilde sunulmuştur. Bu melodiler bir orkestra tarafından sözel ipuçları olmadan çalındığında, yalnızca bir denek kapalı uçlu prosedürde melodilerin yarısından fazlasını tanımlayabilmiştir. Deneklerin yirmi sekizi ise sözler orkestra eşliğinde söylendiğinde şarkıların en az yarısını tanıyabilmiştir.

Farklı perde kontürlerini ayırt etme görevi de melodi tanımlama ile ilgilidir, ancak test materyalinde mevcut olan işitsel ipuçlarının sayısının azalması nedeniyle genellikle daha

zordur. Tipik bir melodik örüntü tanıma deneyinde, dinleyicilerden iki perde dizisini aynı veya farklı olarak etiketlemeleri istenir. Her bir dizi çiftini oluşturan notalar aynı ritimlerle sunulur ve hiçbir çakışan sözlü ipucu sunulmaz. Bu nedenle, ayırt etme, dinleyicinin perdedeki bir değişiklik paternini algılama yeteneğine dayanır. Ancak, iki dizinin ayırımının yapılması için her notanın ne mutlak ne de görelî perdesinin doğru olarak algılanması gerekmez. Örneğin, her bir nota dizisi boyunca genel olarak yükselen veya alçalan bir perde algısı gibi genel bir perde kontürünün tespiti dinleyicinin dizileri ayırt etmesi için yeterli olabilir (McDermott, 2004).

Dorman ve ark. (1991), on altı Ineraid çok kanallı implant kullanıcısından bir müzik skalasının, artan mı yoksa azalan paternde mi çalındığını değerlendirmesi istenmiştir. Deneklerin çoğu, perde dizilerini net bir şekilde ayırt edememiştir (Dorman et al., 1991). Buna karşılık başka bir araştırmada tek kanallı cihaz kullanıcısı 8 denek benzer bir testte şans skorundan daha yüksek puanlar elde etmiştir (Schulz, 1994). Bu çalışmada, aynı prosedürle test edilen normal işitmeye sahip denekler, %100'e yakın doğru ortalama puanlar elde etmiştir. Bu puanlar, implant kullanıcılarının puanlarından yaklaşık yüzde 15 ila 30 daha yüksek bulunmuştur.

2.6.1.3. Tını Algısı

Tını, bir dinleyicinin, benzer şekilde sunulan ve aynı ses yüksekliği ve perdeye sahip iki sesin farklı olduğuna hükmedebileceği işitsel duyum özelliğidir (American Standards Association, 1960). Tınının başka bir tanımı ise, müzik notaları birkaç farklı enstrümanda aynı perde ve ses yüksekliği ile çalındığında ortaya çıkan ton (veya "ton rengi") farklılıklarını karakterize eden kalitedir. Temel özellikleri, sesin frekans spektrumu ve genlik zarfıdır. Ancak ses kaynaklarının uzamsal konfigürasyonu gibi diğer özellikler de ilgili olabilir. Bununla birlikte, Kİ kullanıcılarında tını algısı üzerine yayınlanmış çalışmaların çoğu, dinleyicilerin farklı müzik aletlerinin seslerini tanıma veya ayırt etme yeteneğine odaklanmaktadır. Tınının değerlendirilmesinde, tını tanımadan farklı olarak, kişilerden müzik aleti seslerinin kalitesini "güzel" veya "net" gibi sıfatlar kullanarak tanımlamaları veya sese genellikle sayılar olmak üzere derecelendirmeler vermeleri istenmektedir. Bu derecelendirme ölçekleri tipik olarak "hoşluk" veya "doğallık" gibi bir veya daha fazla öznel tanımlayıcıya dayanmaktadır (McDermott, 2004)

Gfeller ve ark. (2002b), çeşitli cihaz türleri ve ses işleme algoritmaları kullanarak elli bir implant kullanıcısı ve yirmi normal işiten dinleyici ile gerçekleştirdikleri bir enstürüman tanıma testinden elde ettikleri sonuçları bildirmiştir. Uyarı olarak aynı kısa nota dizisini çalan

sekiz farklı enstrüman kullanılmıştır. Denekler, yanıtlarının her birini bir dizi on altı olası alternatif arasından seçmiştir. Kİ kullanıcıları testte ortalama %46.6 doğru puan alırken, bu sonuç normal işiten denekler tarafından elde edilen %90.9 ortalama puandan önemli ölçüde düşük gözlenmiştir. Ayrıca, Kİ kullanıcılarının yanıtlarında mevcut olan düzensizlikler dağınık bir model sergilerken, normal işiten denekler tarafından yapılan hatalar daha çok aynı aile içindeki enstrümanlar (yani, nefesli çalgılar, vurmali çalgılar veya teller) arasındaki düzensizliklerdi (Gfeller, Witt, et al., 2002). Leal ve ark. (2003), tarafından bildirilen bir tanımlama testinde ise sadece üç farklı enstrümanın kayıtları kullanılmıştır. Aynı melodi, benzer perde aralığında ve enstrümanların her birinde (yani trombon, piyano ve keman) benzer bir tarzda çalınmıştır. Deneklerden her kaydı dinledikten sonra enstrümanı isimlendirmeleri istenmiştir. Çalışmaya katılan yirmi dokuz Nucleus kullanıcılarından yirmisi, üç aleti de doğru bir şekilde tanımlamıştır. Geri kalan deneklerden biri hariç tümü, enstrümanlardan ikisini tanımlayabilmiştir (Leal et al., 2003).

2.6.1.4. Ritim algısı

Müzikte ritim algısı, seslerin sürelerinin ve sesler arasındaki boşlukların algılanması ile ilgilidir. Çoğu müzik türündeki ritim kalıplarını yeterince algılamak için, süre veya boşluklarda gereken zamansal çözünürlük muhtemelen milisaniye düzeyindedir. Sentetik, müzikal olmayan sinyallerin algılanmasını araştıran birkaç psikofiziksel çalışma, çoğu Kİ kullanıcılarının müzikal ritimleri algılamak için sinyallerdeki zamansal değişiklikleri çözme konusunda yeterli yeteneğe sahip olduğunu göstermiştir. Örneğin, orta şiddetteki basit sinyaller için boşluk algılama eşiğinin, çok yumuşak sinyaller için 50 ms'nin üzerine çıkabilmesine rağmen, genellikle 10 ms'den az olduğu rapor edilmiştir (Shannon, 1989). Melodiler tanıdık olsa ve izole notalar dizisi olarak çalınsa dahi implant kullanıcıları melodi tanımakta büyük zorluk çekerler. Ayırt edici ritim kalıpları implant kullanıcılarının melodileri tanımlarken kullandıkları bilgilerin çoğunu sağlamaktadır. Tını algısının Kİ kullanıcıları için normal işiten dinleyicilere göre çok daha zayıf olduğu bildirilmiştir. En önemli bulgu, yalnızca işitsel ipuçlarını kullanan çoğu implant kullanıcılarının çalınan müzik aletini kolayca tanımlayamaması, ancak bazen seslerin zamansal zarfındaki farklılıklar bariz olduğunda enstrümanlar arasında ayırım yapabilmesidir (bir flütün sesini davulunkinden ayırt edebilmek gibi). Bu, müzik aleti tınlarını karakterize eden spektral şekle ilişkin bilgilerin, yalnızca mevcut Kİ sistemleri tarafından üretilen elektrik uyarılarında kabaca temsil edildiğini düşündürmektedir.

2.6.2. Koklear İmplant Kullanıcılarında Müzik Algısını Değerlendirmek İçin Kullanılan Bataryalar

Hem müzik hem de konuşma karmaşık iletişim biçimleridir; hiçbir test tek başına konuşmanın veya müziğin tüm yönlerini yakalayamamaktadır. Test bataryaları müzik ve konuşma testleri, izole edilmiş yapısal bileşenlerin yanı sıra daha büyük bir bağlantılı müzik veya konuşma biriminin algısını da değerlendirmelidir. Ancak yalıtılmış ses birimlerinin algılanması, bağlantılı gerçek dünya dinleme görevlerinin doğruluğunu tam olarak tahmin etmez. Bu nedenle testler, çeşitli yanıt görevlerini içermelidir: Bunlar müzik uyaranlarının tespiti, ayırt edilmesi, tanımlanması, anlaşılması süreçleridir. Mevcut bataryalar açık ve kapalı uçludur. Bataryalar değerlendirme (takdir etme, keyif alma) testlerinin yanı sıra algısal doğruluk testlerini de içerebilir. Algısal doğruluk, müzik beğenisi/keyfi ile her zaman ilişkili değildir (Gfeller et al., 2008). Yani algısal doğruluk zevki garanti etmez; bir kişi müziği çok doğru algılayabilir ama yine de sesi rahatsız edici bulabilir veya tem tersi durum da geçerlidir (Wright ve Uchanski, 2012). Örneğin bazı Kİ kullanıcılarının perde ve tını algısı zayıf olmasına rağmen yine de müzik dinlemekten keyif alıyorlar.

Öte yandan insanlar müziği genellikle zevk almak için dinlediğinden ses kalitesi müzik algısı açısından önemli bir husustur. Hem konuşma hem de müzik, Kİ kullanıcılarının kendi kültürleri içinde gerçekleşir, bu nedenle testlerin, test edilenlerin kültürel ve deneyimsel arka planını hesaba katması gerekir. Çünkü bir ülkedeki (örneğin Amerika Birleşik Devletleri) Kİ kullanıcılarının bildiği müzik, diğer ülkelerdeki (örneğin Türkiye) Kİ kullanıcılarına tanıdık gelmeyebilir. Bu durumda özellikle melodi tanıma görevlerinde aşına olunmayan veya aşına olunan melodilerin seçimi ve sonuçları dikkate alınmalıdır. Ya da bazı testler daha çok dahili dizinin veya sinyal işlemenin teknik özelliklerinin değerlendirilmesiyle ilgiliyken, diğer testler, gerçek dünyadaki müzikal veya sözlü iletişim için Kİ'nin işlevsel faydasını değerlendirmeye daha ilgilidir.

Müzik görevleri çoğu Kİ kullanıcısı için zor görevlerdir. Tüm Kİ kullanıcıları müzik dinleyemez ve sesleri müzik notalarıyla ilişkilendiremez. Kelimeler belirli düşünceleri, inançları, duyguları iletmek için ifadeler, cümleler, paragraflar halinde birleştirilirken; müzik belirli kavramları ifade etmez, ancak duyguların iletilmesiyle, estetik güzellik ve keyifle ilişkilendirilir. Kısacası bir müzik sesinin ne ölçüde hoş olduğu müzik algısının önemli bir yönüdür. Kİ kullanıcıları için kullanılacak müzik bataryaları, bireyin yaşına, işitme kaybının

başlangıcına ve implantasyon yaşına uygun olmalı ve normal işiten ve Kİ kullanıcıları arasındaki farkı ortaya koyabilmelidir.

Kİ'ler, konuşmanın anlaşılması en belirgin özelliklerini taşıyacak şekilde tasarlanmıştır. Müziğin iki temel özelliği olan perde ve tını, sinyal işleme tarafından doğru bir şekilde temsil edilmez.

Algısal doğruluk değerlendirilirken (Cochlear Implant (CI) Technology and Music: Music Perception, Music Enjoyment: Information for Audiologists, 2022);

- Arındırılmış müzik bileşenlerin algılanması (perde, süre, tını, dinamikler)
- Ayırt etme: İki ses veya nota düzeni (perde, ritim, tını, dinamik) aynı mı yoksa farklı mı?
- Nota kalıpları (melodik kontürler) yükseliyor mu, alçalıyor mu, yoksa aynı mı kalıyor?
- Müzik enstrümanı veya müzikal enstrümanı ailelerini sınıflandırabiliyor mu? (Örneğin piyano veya keman, telli, vurmali, nefesli çalgılar vs.)
- Bir erkek ve kadın şarkıcı arasındaki farkı ayırt edebiliyor mu?
- Tanıdık bir şarkıyı tanıyabiliyor mu? (Örneğin, "İyi ki doğdun" "Ali babanın çiftliği)
- Bir şarkının sözlerini tekrarlayabilir mi?

Müzik beğenisini değerlendirme, Kİ aracılığıyla müziğin ne kadar hoş veya doğal algılandığı. Bu, müzik zevki veya tercihiyle (örneğin, hangi müzik tarzının tercih edildiği) aynı şey değildir. Değerlendirme, izole edilmiş müzik özelliklerine (örneğin, farklı enstrümanlardan tek notalar) veya bağlantılı veya gerçek dünyadan müzik alıntılarına ilişkin olabilir (Cochlear Implant (CI) Technology and Music: Music Perception, Music Enjoyment: Information for Audiologists, 2022).

- Müzik kulağa ne kadar doğal geliyor veya ne kadar hoş algılanıyor? Likert tipi derecelendirmeler
- Ses kalitesinin iki kutuplu sıfatlar ile tanımlanması (Örn. doğal-doğal olmayan).

- Müzik dinlemek için günde veya haftada ayrılan zaman kaç saattir?

Tablo 2: Daha önce koklear implant kullanıcıları ile yürütülen çalışmalarda kullanılan müzik algısı değerlendirme bataryaları

Montreal Battery for Evaluation of Amusia (MBEA)	Altı müzik işleme bileşenini değerlendiren bir testtir: ölçek, kontur, aralık, ritim, metrik ve müzik belleği. Batarya farklı amusia türlerinin teşhisine olanak tanır (Nunes-Silva & Haase, 2012).
Appreciation of Music in Cochlear Implantees (AMICI)	Müzik ile gürültüyü ayırt etme; müzik aletlerini tanıma, müzik tarzlarının belirleme ve farklı müzik parçalarının tanınması testlerinin içerir (Spitzer et al., 2008).
Melodic Contour Identification (MCI)	Kİ kullanıcılarının müzikal melodileri tanıma yeteneğini ölçmek için geliştirilmiştir. Temelde alçalan, yükselen veya sabit kalan 9 farklı melodik kontur test edilir (Galvin III et al., 2007).
Clinical Assessment of Music Perception (CAMP)	CAMP testi perde yönünü ayırt etme, melodi tanıma ve tını tanıma olmak üzere üç alt testten oluşur. Perde çiftlerinin aralıklı yönünü algılama ve kapalı setlerden sırasıyla ortak melodileri ve çeşitli müzik enstrümanlarının seslerini tanımlama yeteneğini değerlendirir (Kang et al., 2009).
Multidimensional Scale Study (MDS)	MDS, nesnel arasındaki farklılıkların geometrik temsilini üretir. Nesnel (müzik enstrümanı sesleri) noktalar halinde temsil edilir ve noktalar arasındaki geometrik mesafeler, denekler tarafından tahmin edilen farklılık miktarını yansıtır.
Music perception test (MPT)	Müziğin ritim, tını, perde ve melodi bileşenlerini test etmek için kullanılır.
Iowa Music Perception Battery	Tanıdık melodi tanıma, tını tanıma, müzik beğenisi, kompleks melodi tanıma, sözlü veya enstrümantal müzik parçalarının hoşnutluğunu değerlendirme.
Musical and vocal emotion perception	Ses ve müzikteki duyguyu algılayabilme yeteneği için Kİ kullanıcılarında daha önce uygulanmıştır

	(Paquette et al., 2018). Duygu türü, güven, duygusal değer ve uyarılma düzeyini bir görsel analog skala aracılığıyla değerlendirir.
Musical Sounds in Cochlear Implants (Mu. S.I.C)	Müzik algısının altı nesnel (perde, ritim, melodi, harmoni ve tını algısı) ve öznel (duygu ve uyumsuzluk algısı) iki ölçümünü test eder. Sentezlenmemiş enstrümanların içeren müzik kayıtları kullanır.
Music quality rating test battery (MQRTB)	Müzik sesi kalitesindeki değişiklikleri değerlendirir. Modern, klasik, milli marş veya ikonik melodiler, country veya western türlerinden az bilinen veya tanıdık parçalar içermektedir (Looi et al., 2011).
Cochlear Implant (CI)-Multiple Stimulus with Hidden Reference and Anchor (MUSHRA)	Kİ kullanıcılarında müzik sesi kalitesini değerlendirmek için kullanılmaktadır.
Music in Children With Cochlear Implants (MCCI)	Ritim, perde, melodi, harmoni ve tını algısını değerlendirir.

2.6.3. Koklear İmplant Kullanıcılarında Konuşma Anlama ve Müzik Arasındaki İlişki

Bazı araştırmalar, Kİ kullanıcılarında müzik algısının iyileştirilmesinin, sessiz ve gürültülü ortamlarda konuşma tanıma gibi diğer pratik görevlerde de fayda sağlayacağını güçlü bir şekilde ortaya koymaktadır. Bu nedenle, Kİ kullanıcılarında müzik algılama yeteneğinin geliştirilmesinin birçok alanda klinik fayda sağlayacak ve Kİ kullanıcılarının yaşam kalitesini önemli ölçüde artırabilecek bir unsur olduğu düşünülmektedir. Müziğin konuşma üzerindeki bu etkisi Patel'in OPERA hipotezi ile açıklanmaya çalışılmıştır (Patel, 2011, 2012). OPERA hipotezi, beş koşul karşılandığında müzik eğitiminin konuşmanın sinirsel kodlamasını geliştirdiğini öne sürmektedir: örtüşme (ing. overlap), kesinlik (ing. precision), duygu (ing.emotion), tekrarlama (ing.repetition) ve dikkat (ing.attention).

Bu koşullar hep birlikte işitsel işleme ağlarında adaptif nöral plastisiteyi harekete geçirerek bunların sıradan konuşma iletişimi için gerekenden daha yüksek hassasiyetle çalışmasına yol açar. İşitsel sistem, karmaşık seslerden örneğin perdeyi çözmek için sinir mekanizmalarına sahiptir ve konuşma ve müzikte perde işlemede örtüşen beyin sapı

devrelerinin yer alması çok muhtemeldir (McDermott & Oxenham, 2008). Ancak yine de insanlar belirgin perde değişiklikleri içermeyen konuşmaları anlayabilmektedir (Patel et al., 2010). Ancak müzik dinlemek yüksek hassasiyette perde kodlaması gerektirir. Çünkü müzik eğitiminden kişi sürekli olarak müzik aletinin akortunun doğru olup olmadığını veya doğru notaları çalıp çalmadığını izlemelidir. Bununla birlikte, konuşma ve müzik alt-kortikal ses perdesi işleme devrelerini paylaştığından, konuşma işlemeğe fayda sağlar. Örneğin, ses perdesinin daha yüksek keskinlikle kodlanması, gürültüde konuşma algısını geliştirebilir çünkü ses perdesindeki doğal modülasyonlar, gürültüde konuşmanın daha iyi anlaşılabilirliğine katkıda bulunur. Ses perdesinin daha keskinlikle kodlanması, müzisyenlerin konuşmadaki duygulanımsal prozodiyi tanımadaki üstün performansına da katkıda bulunabilir.



3. YÖNTEM

3.1. Etik Kurul Onayı

Çalışmamız, 83045809-604.01.01-649595 kayıt numarası ile 23.03.2023'te Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Klinik Araştırmalar Yerel Etik Kurulu tarafından onaylanmıştır.

3.2. Çalışmaya Dahil Edilme ve Çalışmadan Dışlanma Kriterleri

Bu çalışmaya dahil edilme kriterleri şunlardır:

- İç kulak malformasyonu veya koklear ossifikasyona sahip olmamak (normal radyolojik bulgular ile)
- 12-45 yaş arasında tek taraflı Med-El Kİ kullanıcısı olmak
- Düzenli Kİ kullanmak
- Anormal otoskopik bulguya sahip olmamak, tanılanmış orta kulak hastalığına sahip olmamak ve Tip A timpanograma sahip olmak
- Gelişim, öğrenme veya davranış problemleri ile nörolojik veya progresif sistemik hastalıklara sahip olmamak
- Davranışsal ses yüksekliği programlamasına koopere olabilmek
- Elektrot dizisinde açık veya kısa devre olmaması veya kapalı Kİ elektrotunun olmaması

Çalışmaya dahil edilme kriterleri karşılamayan tüm denekler çalışma dışında tutulmuştur.

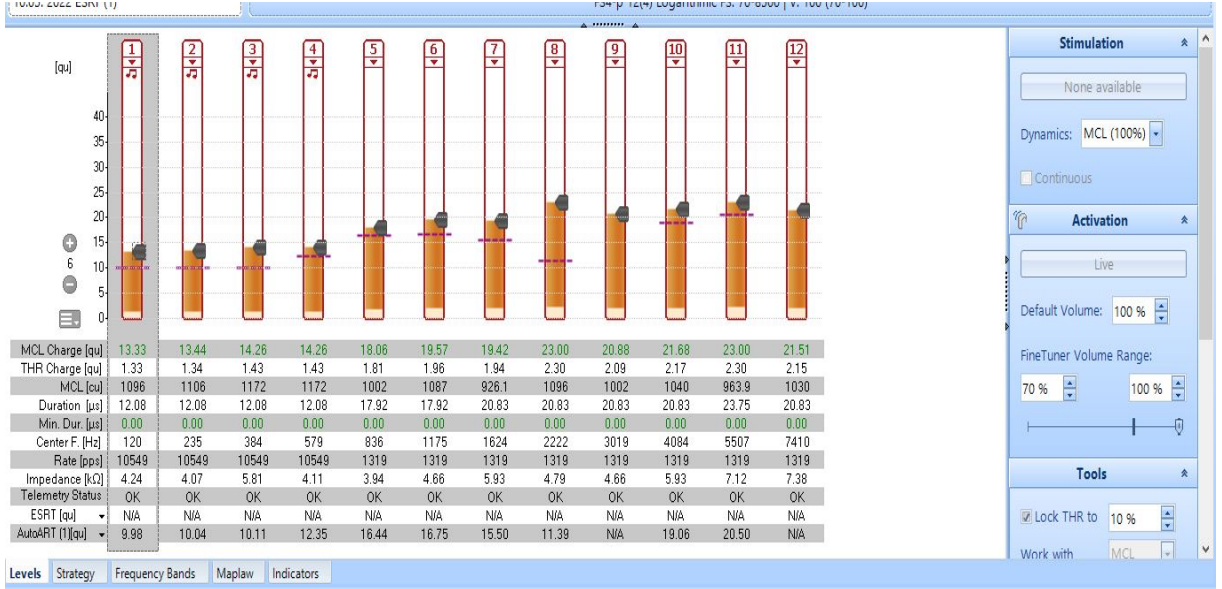
3.3. Uygulanan Prosedürler

Tüm katılımcıların orta kulak fonksiyonlarının normal olduğundan emin olmak için testlerden önce otoskopik muayene ve timpanometri testleri yapılmıştır. Daha sonra sırasıyla ESRT (P1) ve davranışsal ses yüksekliği dengelemeye (P2) dayalı iki yeni programlama yapılmış ve bu

programlar katılımcıların işlemcilerine kaydedilmiştir. Ardından sırasıyla serbest alanda koklear implantlı işitme ve konuşma testleri, Türkçe Matriks Cümle (TURMatrix) testi ve spektral-zamansal çözünürlük testleri (Spektral Olarak Modüle Edilmiş Ripple Testi, Rastgele Boşluk Tanıma Testi) ve müzik algılama testleri (Mini Müzik Algılama Becerileri Profili, Melodik Kontur Tanıma Testi) gerçekleştirildi. Tüm işlemlerin tamamlanması yaklaşık 3 saat sürdü ve ilk programdaki değerlendirmeler tamamlandıktan sonra katılımcılara diğer programdaki testlere geçmeden önce dinlenme süresi verildi.

3.3.1. Elektriksel Uyarılmış Stapes Refleks Eşiğine (ESRT) dayalı programlama

Katılımcıların ilk programlamasında (bundan sonra P1 olarak anılacaktır), MCL'ler ESRT ile ayarlandı ve THR'ler MCL'lerin %10'una ayarlandı. ESRT'ler, Interacoustic Titan IMP440 (*Allél 5500 Middefart Danimarka*) immitansmetri cihazının refleks decay modülünde 1000 Hz'lik bir prob ton kullanılarak kaydedildi. Katılımcıların karşı kulağına uygun bir immitansmetri probu yerleştirildi ve uyarılar, kullanıcıların önceki MCL'sinin altından başlayarak yazılım aracılığıyla sunuldu. ESRT eşiği, elektriksel stimülasyona minimum tekrarlanabilir yanıtın belirlendiği seviye olarak tanımlandı. Bu işlem tüm elektrotlar için tekrarlandı ve ESRT eşikleri yeni programdaki MCL'ler olarak kabul edildi. Objektif ESRT'ye dayalı oluşturulan bu program için bir ses yüksekliği dengesi gerçekleştirilmedi. Program kaydedilmeden önce katılımcıların yeni programları ile dinlerken herhangi bir rahatsızlıkları olup olmadığı canlı ses ile kontrol edildi.

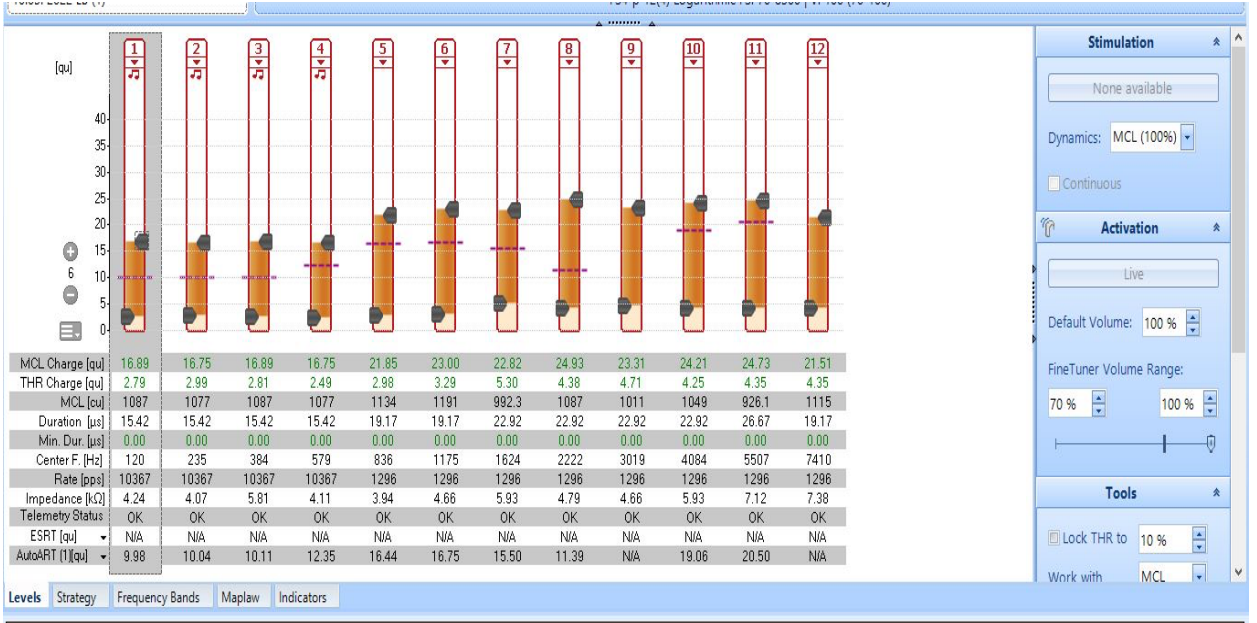


Şekil 4: Katılımcı 8'in elektriksel uyarılmış stapes refleks eşiğine dayalı koklear implant programlamasının ekran görüntüsü

3.3.2. Davranışsal ses yüksekliği dengelemeye dayalı programlama

İkinci programlamada (bundan sonra P2 olarak anılacaktır) MCL'ler davranışsal olarak ayarlanarak canlı seste hastanın seslerden rahatsız olmadığından emin olundu ve ardından davranışsal ses yüksekliği dengeleme uygulandı. Davranışsal ses yüksekliği dengeleme yöntemleri ve etkileri ile ilgili bilgiler kavramsal çerçevede sunulmuştur.

Davranışsal ses yüksekliği dengeleme için bazaldaki en apikal elektrota (referans elektrot) yakın olan elektrotun (test elektrotu) ses yüksekliği, referans elektrota göre dengelendi. Test elektrodu için bir ses yüksekliği değeri belirlendiğinde, test elektrodu bir sonraki elektrot için referans elektrot olarak kullanıldı. Böylece her elektrotun ses yüksekliği önceki elektrota göre dengelendi. LB öncesinde benzer şekilde dengelem yapıldıktan sonra da canlı seste hastanın rahatsızlık hissetmediğinden emin olundu. Bu programlamada THR seviyeleri ise her elektrot için davranışsal olarak ayarlandı.



Şekil 5: Katılımcı 8'in davranışsal ses yüksekliği dengelemeye dayalı koklear implant programlamasının ekran görüntüsü

3.3.3. Serbest Alanda Gerçekleştirilen Testler

Katılımcılar çift cidarlı sessiz kabinindeki tüm görevleri iki Kİ programıyla da tamamladılar. Öğrenmenin test sonuçları üzerindeki etkisini en aza indirmek için ilk test edilecek program sıraya göre seçildi. Örneğin Katılımcı 1'de ilk P1 ardından P2 ile testler gerçekleştirildi. Katılımcı 2'de ise ilk olarak P2 ardından P1 test edildi. Uyarılar, testlerin yapıldığı bilgisayara bağlı bilgisayarlı bir odyometre (*Madsen Astera, Taastrup, Danimarka*) aracılığıyla iletildi. Katılımcılar kulak hizasındaki bir hoparlörün doğrudan karşısına (0 derece azimut) ve 1 metre uzağa yerleştirildi.

3.3.3.1. Koklear İmplantlı İşitme ve Konuşma Testleri

Kİ ile serbest alan işitme eşikleri, her iki programda da 500, 1000, 2000, 4000 ve 6000 Hz'de warble tone uyarılar kullanılarak ölçüldü. Katılımcıların Konuşmayı Alma Eşikleri (*ing. Speech Reception Threshold, SRT*) Türkçe çok heceli kelimelerle test edildi. Buna karşılık, Konuşma Ayırt Etme Skorları (*ing. Speech Recognition Threshold, SDS*), sessiz ortamda 25 tek heceli kelimedenden oluşan liste ile en rahat ses seviyesinde test edildi. SRT ve SDS kelimeleri bir kadın konuşmacı tarafından canlı olarak sunuldu.

3.3.3.2. Türkçe Matris Cümle Testi (TURMatrix)

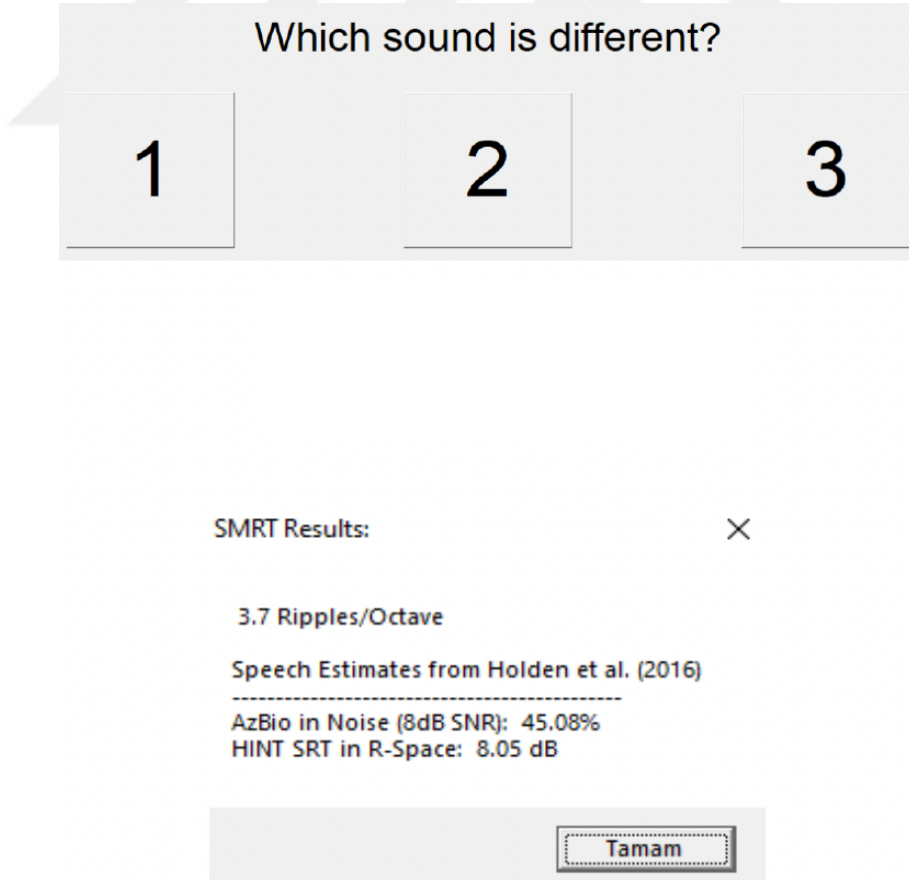
Matris testi, adaptif ve non-adaptif (adaptif olmayan) uygulama seçenekleriyle, sessiz ve gürültülü ortamda uygulanabilen bir konuşmayı anlama testidir (Zokoll et al., 2015). Adaptif matris cümle testinde, sinyal-gürültü oranı (SNR) eşliğini belirlemek için sabit gürültü ve değişen konuşma sinyali seviyesi sunulur. Non-adaptif matris cümle testinde, tek başına konuşma (sessizlikte) veya sabit SNR'de gürültülü konuşma sunulur. Türkçe Matris Cümle testi (*ing.Turkish Matrix Sentence Test, TURMatrix*), elli kelimeyi kapsayan temel matris içerisinde aynı sözdizimsel yapıya sahip on cümleden oluşur. TURMatrix 'de yalnızca kadın konuşmacı sesi mevcuttur (Zokoll et al., 2015). TURMatrix cümleleri sözdizimsel olarak açıktır ancak anlamsal olarak tahmin edilmesi zor cümlelerdir. Test cümlelerinden birini oluşturmak için kelimeler rastgele seçilir. Cümleyi oluşturan beş kelimedeki doğru tekrarlanan kelime veya kelimeler ekranda işaretlenir. Test prosedürüne bağlı olarak hastanın arka plan gürültüsündeki konuşmayı anlama puanları (örneğin %50 konuşma anlaşılabilirliğinde sinyal-gürültü oranı veya konuşmayı ayırt etme yüzdesi) belirlenir. Bu çalışmada sessiz ortamda non-adaptif ve gürültüde adaptif TURMatrix testleri uygulandı. Testler açık uçlu formatta gerçekleştirildi. Non-adaptif sessizlikte TURMatrix testinde konuşma seviyesi 65 dB SPL olarak ayarlanırken, adaptif gürültüde TURMatrix testinde gürültü seviyesi 65 dB SPL'de sabit tutuldu ve konuşma seviyesi adaptif olarak değişti. Katılımcının sözlü yanıtları odyolog tarafından işaretledi.

İsim	Sayı	Sıfat	Nesne	Yüklem	İngilizce çevirisi
Gönül	yedi	mavi	sepet	haketmiş	Gönül deserved seven blue baskets
Zuhal	bir	yeni	kilim	verdi	Zuhal gave a single new rug
Fırat	sekiz	beyaz	yatak	satmış	Fırat sold seven white beds
Hikmet	üç	küçük	çatal	getirdi	Hikmet brought three small forks
Tuncay	altı	yeşil	cımbız	bulmuş	Tuncay found six green tweezers
Nurşen	beş	temiz	gömlek	çizdi	Nurşen drew five clean shirts
Poyraz	dokuz	renkli	balon	fırlatmış	Poyraz threw nine colourful balloons
Seyhan	on	bordo	minder	gördü	Seyhan saw ten maroon cushions
Meltem	iki	güzel	terlik	kazanmış	Meltem won two nice slippers
Dilek	dört	siyah	fincan	yolladı	Dilek sent four black cups

Şekil 6: Türkçe Matris Cümle Testi (TURMatrix) kelimeleri .

3.3.3.3. Spektral Olarak Modüle Edilmiş Dalgalanma Testi (SMRT)

Spektral Olarak Modüle Edilmiş Dalgalanma Testi (*ing. Spectral-Temporally Modulated Ripple Test, SMRT*), hedef uyarının dalga yoğunluğunun, dinleyici referans ve hedef uyarın arasında ayırım yapamayacak duruma gelene kadar değiştirildiği adaptif bir prosedürdür (Aronoff & Landsberger, 2013). Uyarın, sinüs dalgası tarafından spektral olarak modüle edilen genliklere sahip 202 saf ses frekansından oluşur. Dalga çözünürlüğü eşiği, üç aralıklı, iki alternatifli zorunlu seçimli, bir yukarı/bir aşağı uyarlamalı prosedür kullanılarak belirlenir. Referans uyarınların dalgalanma yoğunlukları oktav başına 20 dalgalanmadır (*ing. ripple per octave, RPO*). Katılımcılardan üç uyarından farklı olan sesi belirlemeleri ve bunu bilgisayar ekranında işaretlemeleri istenir. Test, her biri 10 geri dönüşten oluşan altı çalışmadan sonra tamamlanır. Daha yüksek bir puan daha iyi spektral çözünürlüğü temsil eder. SMRT için kullanılan bilgisayar bir odyometreye bağlandı ve test uyarınları serbest alanda 65 dB'de sunuldu. Katılımcı yanıtını bilgisayarın dokunmatik ekranında kendisi işaretledi.



Şekil 7: Spektral Olarak Modüle Edilmiş Dalgalanma Testi arayüzü ve sonuç ekranı

3.3.3.4. Rastgele Boşluk Tanıma Testi (RGDT)

Kİ kullanıcılarının zamansal çözünürlük yeteneklerini değerlendirmek ve algılayabilecekleri en kısa zaman aralığını belirlemek için Rastgele Boşluk Tanıma Testi (*ing. Random Gap Detection Threshold, RGDT*) kullanıldı. Tonal uyarın çiftleri 500, 1000, 2000 ve 4000 Hz frekanslarında sunuldu. Uyarılar arasındaki boşluklar sunum sırasına göre ms cinsinden iletildi (Muluk et al., 2011). Katılımcılardan test sırasında bir mi yoksa iki ses mi duyduklarını bildirmeleri istendi. Katılımcının tespit ettiği en düşük boşluk ms cinsinden RGDT formuna yazıldı. Testten önce 1000 Hz'de bir eğitim seansı gerçekleştirildi.

RANDOM GAP DETECTION TEST (RGDT)
(Revised AFT-R)

Name _____ Age _____ Sex _____ Date _____

Interstimulus Interval (Gap) in msec.
(In order of presentation)

ONES

Subtest 1: Screening/Pratice

	0	2	5	10	15	20	25	30	40	Lowest Gap _____ msec.
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Subtest 2: Standard

500 Hz	10	40	15	5	0	25	20	2	30	Lowest Gap _____ msec.
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
1000 Hz	30	10	15	2	0	40	5	20	25	Lowest Gap _____ msec.
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2000 Hz	20	2	40	5	10	25	15	0	30	Lowest Gap _____ msec.
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4000 Hz	5	10	40	15	20	2	30	0	25	Lowest Gap _____ msec.
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Şekil 8: Rastgele boşluk tanıma testi sonuç kayıt formu

3.3.3.5. Mini Müzik Algılama Becerileri Profili (miniPROMS)

Mini-PROMS (*ing. Mini Profile of Music Perception Skills*), PROMS kısa versiyonun Melodi, Nota Vurgusu (*ing. Accent*), Tempo ve Akort (*ing. Tuning*) alt testlerinden oluşmaktadır. Test süresi yaklaşık 15 dakikadır. Mini-PROMS, geçerlilik ve amaca yönelik ihtiyaçları dengeleyen müzik algılama becerilerinin değerlendirilmesi için bir araçtır (Zentner & Strauss, 2017).

Melodi alt testinde, tüm melodiler tek seslidir ve sabit ritimlerden oluşmaktadır (sekizinci notalar). Uyarıların müzik notaları G3'ten C5'e (orta C olarak C4), 88 notalı bir klavye/piyanonun orta aralığına kadar değişmektedir. Denemelerin zorluğu, nota yoğunluğu ve atonalite artırılarak manipüle edilmiştir. Atonal melodilerin kodlanması tonal melodilere göre daha zordur. Uyarılar, Logic Pro 9'daki "klavsen" tınısıyla bestelenmiştir (çünkü nispeten nötrdür) çünkü çoğu dinleyici bu sese piyano, keman veya elektro gitar sesine kıyasla daha az aşinadır. Nota vurgusu alt testi, ritmik bir düzende belirli notalara verilen göreceli vurguyu ayırt etme becerisini değerlendirir. Bu haliyle müzikte ölçü ve konuşmada vurgu kavramları ile ilişkilidir. Mutlak nota süreleri (ritimler), standart ve karşılaştırma uyarıları arasında aynıdır. Vurgulu notalar diğer alt testlerin yoğunluklarında sunulurken, vurgusuz notaların yoğunluğu 3dB azaltılmıştır. Kolay test denemelerinde, değişikliği tespit etme olasılığını artırmak için çoğu ses olayına şiddet değişiklikleri uygulanmıştır. Orta ve zor test denemelerinde, tanımlanacak daha ince algısal becerileri gerektiren daha az yoğunluk değişikliği vardır. Tempo alt testinde, karşılaştırma uyarılarında dinleyicilere aynı veya farklı tempoya sahip müzikal uyarılar sunulmaktadır. Denemelerin zorluğunu manipüle etmek için, karşılaştırma uyarıları standart uyarılardan 7 bpm (kolay) ve 1 bpm (zor) arasında farklılık göstermektedir. Belirli bir enstrüman veya ritim tercihinin bu testteki performansı etkileme riskini azaltmak için farklı ritmik yapılara ve tınılara sahip uyarılar kullanılmıştır. Tınılar davul, bas, armoni ve melodiydi (çok katmanlı); conga ve çalkalayıcı (çift katmanlı); ve rim shot sesidir (bagete belirli bir açı vererek kask ve deriye aynı anda vurarak yüksek bir ses çıkarma tekniği, tek katmanlı).

Akort alt testinde, her bir uyarı C4, E4, G4 ve C5'ten oluşmakta ve 1.5 s uzunluğunda bir C akoru oluşturulmaktadır. Bu diatonik armoni kombinasyonu, göreceli olarak "kültürden bağımsız" olduğu ve dolayısıyla dinleyicilerin müzikal geçmişleri nedeniyle "doğru akort" hakkında yanlış anlaşılma riskini azalttığı için seçilmiştir. Viyana Senfoni Kütüphanesi'nden piyano ses örnekleri kullanılmıştır. Test odyometreye bağlı bir dizüstü bilgisayar aracılığıyla gerçekleştirildi. Uyarılar 65 dB'de sunuldu. Katılımcılara mini PROMS için basılı cevap

anahtarları verildi ve odyolog yanıtlarını bilgisayarda işaretledi. Mini PROMS testi skorları bilgisayar tarafından hesaplanmakta ve sonuçlar rapor olarak sunulmaktadır.

Your Total Test Score = 11

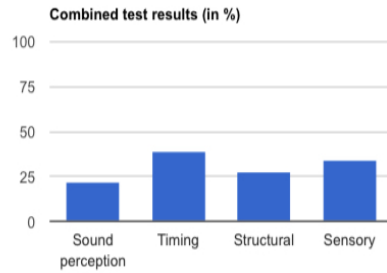
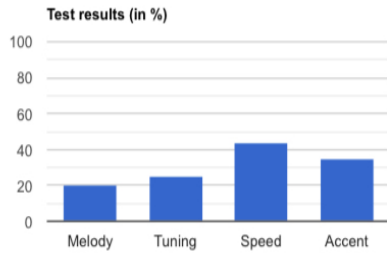
Please look at the table below to see what this score means in terms of your performance.

Basic:	< 18
Good:	18-22.5
Excellent:	23-27.5
Outstanding:	> 28

Please see below for a more detailed break-down. You will also see two graphs. The first simply tells you how you did on each of the four tests. The second looks at particular combinations of tests (see explanation below).

Test results:	
Melody (max. 10 points):	2
Speed (max. 8 points):	3.5
Accent (max. 10 points):	3.5
Tuning (max. 8 points):	2

Combined test results:	
Sound perception (max. 18 points):	4
Timing (max. 16 points):	7
Structural (max. 20 points):	5.5
Sensory (max. 16 points):	5.5

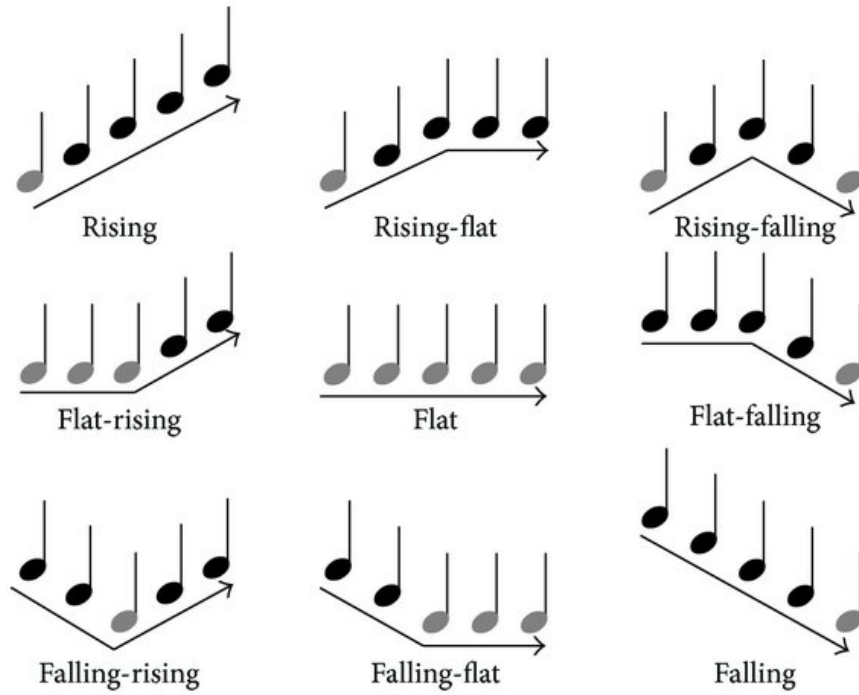


Şekil 9: Katılımcı 8'in mini-Profile of Music Perception Skills (Mini-PROMS) test sonucu

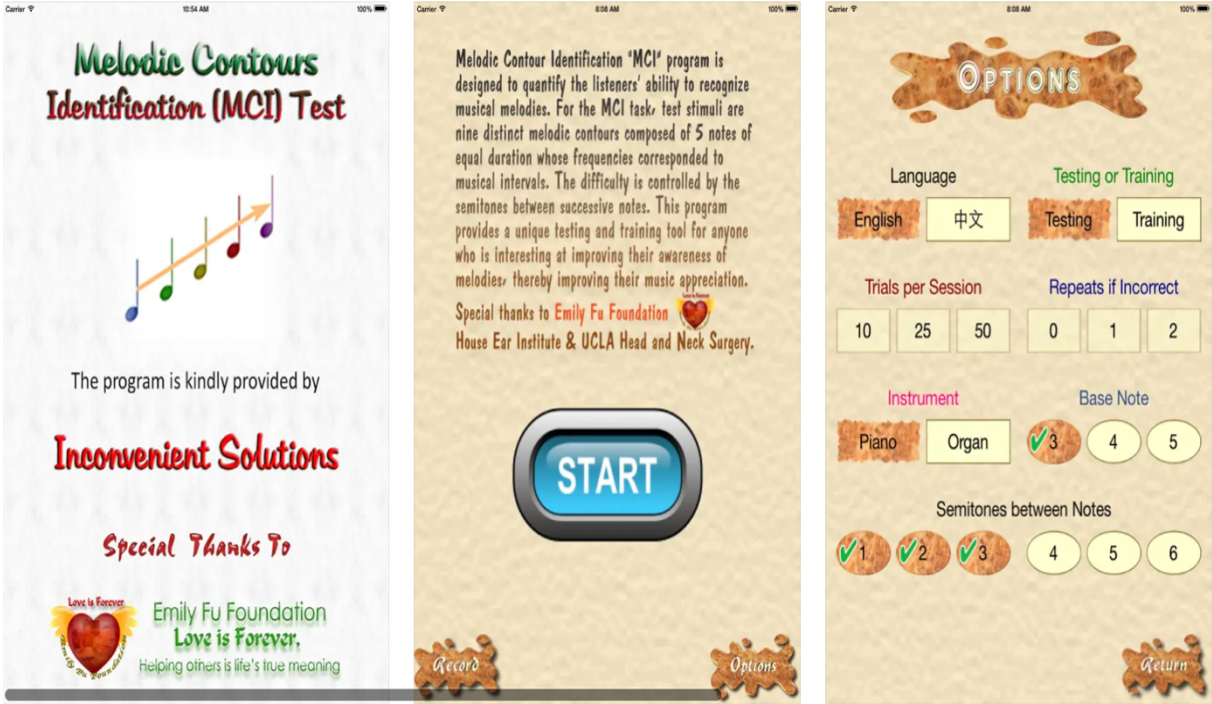
3.1. Melodik Kontur Tanıma Testi (MCI)

Melodik kontur tanıma (*ing. Melodic contour identification, MCI*) dokuz adet beş notalı melodik bir kalıbın; yükselen, yükselen-düz, yükselen-alçalan, düz-yükselen, düz, düz-alçalan, alçalan-yükselen, alçalan-düz veya alçalan biçimde yargılamasını içerir bir testtir (Galvin III et al., 2007). Dokuz desen, basit perde hatlarını ve perde hattındaki değişiklikleri temsil eder. Melodik konturdaki ardışık notalar arasındaki aralık 1 ila 5 yarım ton arasında değişir. 220 ila 2794 Hz, uyarın setinin kapsadığı temel frekans aralığıdır. CI kullanıcılarının gerçek dünyadaki müzik algısına yaklaşmayı amaçlayan müzik notalarında saf sesler yerine harmonik kompleksler kullanılmıştır. Notalar arasındaki aralık 50 milisaniyedir. Test sonuçları yüzde olarak puanlanır.

Sekanslar, A majör anahtarında diyatonik olarak bir klarnetin (3 tonlu kompleks) değiştirilmiş bir dijital örnekleme sinin tınısıyla, A3'ten (220 Hz) E4'e (329.6 Hz) kadar çalınmaktadır. Konturlar, toplam 27 deneme için her varyant üç kez görünecek şekilde rastgele sırada sunulmaktadır. MCI testi, orijinal olarak Zurich Müzik Test Bataryası'ndan Galvin ve arkadaşları tarafından uyarlanmıştır (Galvin III et al., 2007). Melodik konturlar, bir "kök nota" (yani melodideki en düşük nota) ile ilişkili olarak oluşturulmuştur. Şekildeki gölgeli notalar, her bir konturdaki kök notayı temsil eder. MCI piyano için A3 (220 Hz), A4 (440 Hz) ve A5 (880 Hz) kök notalarıyla ölçüldü. Her konturdaki ardışık notalar arasındaki aralık 1 ila 3 yarım ton arasında değişmektedir. Çalışmada MCI uyarı nları bir bilgisayar aracılığıyla 65 dB'de sunuldu. Katılımcı duyduğunu düşündüğü melodik konturü kendisi işaretledi.



Şekil 10: Melodik Kontur Tanıma testindeki 9 farklı kontur



Şekil 11: Melodik kontur tanıma testinin program ara yüzü ve ayar seçenekleri

3.4. Veri analizi

Çalışmada, biri apikal bölgeden (elektrot 2), biri orta bölgeden (elektrot 6) ve biri bazal bölgeden (elektrot 9) seçilen üç elektrotun P1 ve P2 programlarındaki MCL ve THR seviyelerini karşılaştırdık. Daha sonra her iki programla yapılan serbest alan işitme değerlendirmeleri, TURMatrix testi ile cümle tanıma skorları, spektral-zamansal çözünürlük testleri ve müzik algılama testlerinin sonuçları karşılaştırıldı. Ayrıca bu çalışmanın ana odak noktası olan P2 (Davranışsal ses yüksekliği dengelemeye dayalı programlama) için konuşma algısı, spektral-zamansal çözünürlük ve müzik algısı arasındaki ilişki incelenmiştir.

3.5. İstatistiksel Analiz

Çalışmanın istatistiksel analizi SPSS v21.0 (IBM Corporations, Chicago, IL, ABD) kullanılarak yapıldı. Veri setinin normal dağılıma uygunluğunun belirlenmesinde Shapiro-Wilk Testi kullanıldı. Bağımsız örneklemelerin ortalamalarını karşılaştırmak amacıyla parametrik veriler için independent sample t-test, parametrik olmayan veriler için Mann-Whitney U testi kullanıldı. Eşleştirilmiş ölçümlerde parametrik veriler için paired Samples Test, parametrik

olmayan veriler için Wilcoxon Testi kullanıldı. Üç veya daha fazla eşleştirilmiş ölçümün karşılaştırılmasında Repeated Samples Test ve Friedman Testi kullanıldı. Anlamlı bulguların post-hoc analizinde normal dağılım için Tukey HSD testi, normal olmayan dağılım için Mann-Whitney U Testi ve Bonferroni düzeltmesi uygulandı. Olası korelasyonları araştırmak amacıyla parametrik verilerde Pearson korelasyon analizi, parametrik olmayan verilerde ise Spearman korelasyon analizi kullanıldı. $p < 0,05$ olan bulgular istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.



4. BULGULAR

Çalışmaya dahil edilme kriterlerini karşılayan 14-41 yaş arası (Ort±SS: 21.92±7.02), 26 tek taraflı MED-EL implant kullanıcısı katılmıştır. Çalışmaya katılan on üç kullanıcının prelingual işitme kayıplıyken (HL), diğer katılımcıların postlingual işitme kaybı (HL) vardı. Katılımcıların 11'i erkek 15'i ise kadın Kİ kullanıcısıydı. Katılımcıların ortalama Kİ kullanım süresi 7±2.69 yıldır. Katılımcıların demografik bilgileri ve Kİ özellikleri Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 3: Katılımcıların demografik özellikleri

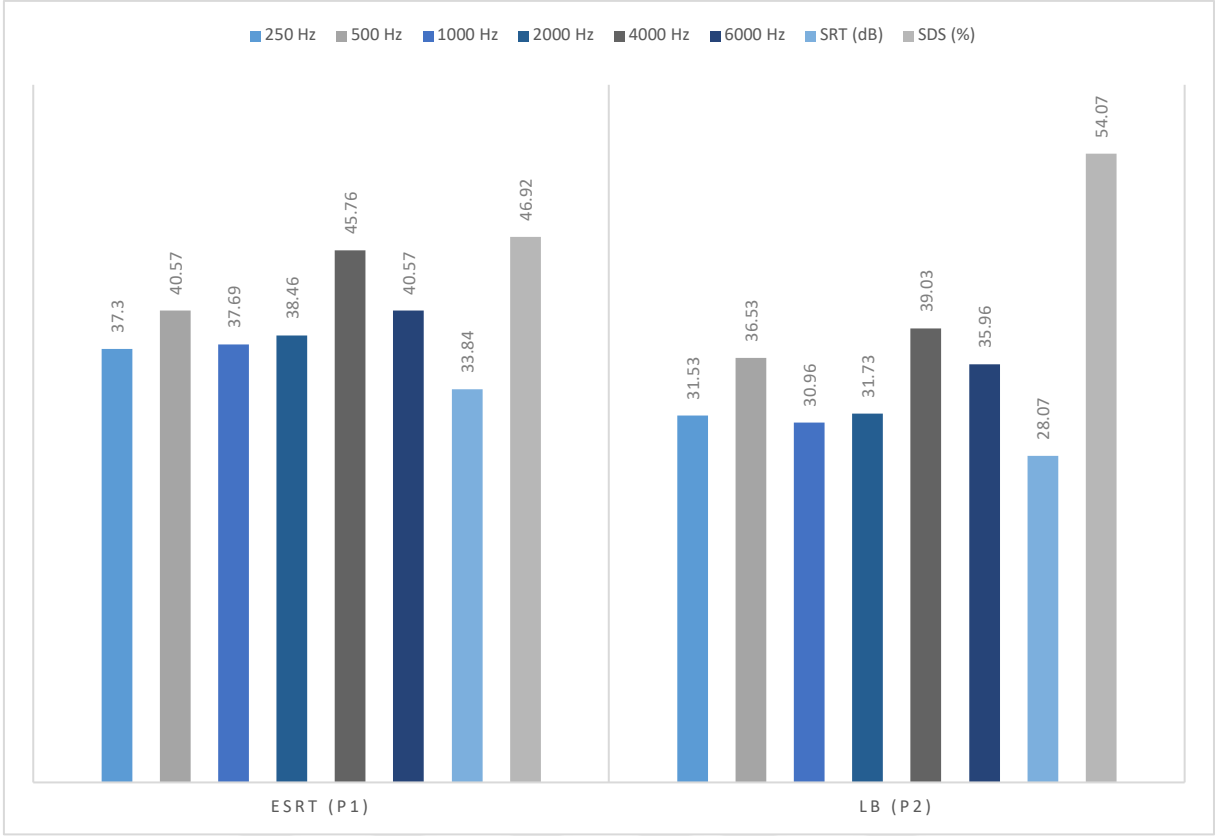
Katılımcı	Yaş (yıl)	Cinsiyet	Kİ Yönü	İşitme kaybının tanı yaşı	Kİ kullanım süresi (yıl)	Ses İşlemcisi	Kİ Modeli	Elektrot Modeli
1	15	E	Sağ	Doğuştan	13	SONNET	SONATAti100	Standard
2	21	K	Sağ	11	7	OPUS 2	SONATAti100	Medium
3	20	K	Sol	4	9	RONDO	SONATAti100	Standard
4	22	K	Sağ	3	8	RONDO	SONATAti100	Standard
5	21	E	Sol	9	5	SONNET	Mi12xx	Flex28
6	23	K	Sağ	4	7	RONDO	SONATAti100	Medium
7	20	K	Sol	2	6	SONNET	Mi12xx	Standard
8	15	E	Sağ	3	2	RONDO 2	SONATAti100	Standard
9	38	E	Sağ	16	9	RONDO 3	SONATAti100	Standard
10	41	K	Sol	24	7	RONDO	SONATAti100	Standard
11	17	E	Sol	6	4	SONNET	Mi12xx	Standard
12	30	K	Sol	23	3	SONNET	Mi12xx	Standard
13	25	K	Sağ	15	4	RONDO	Mi12xx	Flex28
14	19	K	Sol	7	6	SONNET	Mi12xx	Standard
15	22	K	Sağ	10	5	RONDO	Mi12xx	Flex28
16	21	K	Sağ	5	4	SONNET	Mi12xx	Flex24
17	15	K	Sağ	2	12	OPUS 2	Mi10xx	Standard
18	20	E	Sol	2	6	RONDO	Mi12xx	Standard

19	22	E	Sağ	Doğuştan	8	SONNET 2	SONATAti100	Standard
20	24	E	Sağ	Doğuştan	9	RONDO 2	SONATAti100	Standard
21	14	E	Sol	Doğuştan	8	RONDO 2	SONATAti100	Standard
22	16	E	Sol	7	8	OPUS 2	SONATAti100	Standard
23	15	K	Sol	2	4	RONDO 2	SONATAti100	Standard
24	14	K	Sağ	2	9	OPUS 2	SONATAti100	Standard
25	31	K	Sağ	20	9	RONDO	SONATAti100	Standard
26	29	E	Sağ	10	10	RONDO	SONATAti100	Medium

Kİ: Koklear implant, K: kadın, E: Erkek,

4.1. Serbest alanda gerçekleştirilen işitme testi sonuçları

İkinci program (P2 için 28.08 dB \pm 6.79) ile gerçekleştirilen serbest alan testleri ilk programa (P1 için 33.85 dB \pm 7.39) kıyasla; 250-6000 Hz arası koklear implantlı eşikleri ve SRT'ler anlamlı olarak daha iyiydi ($p < 0.05$). Benzer şekilde SDS skorları ise P2 (54.07% \pm 19.53) için P1 (46.92% \pm 20.09) ile karşılaştırıldığında anlamlı derecede daha iyiydi ($p < 0.001$).



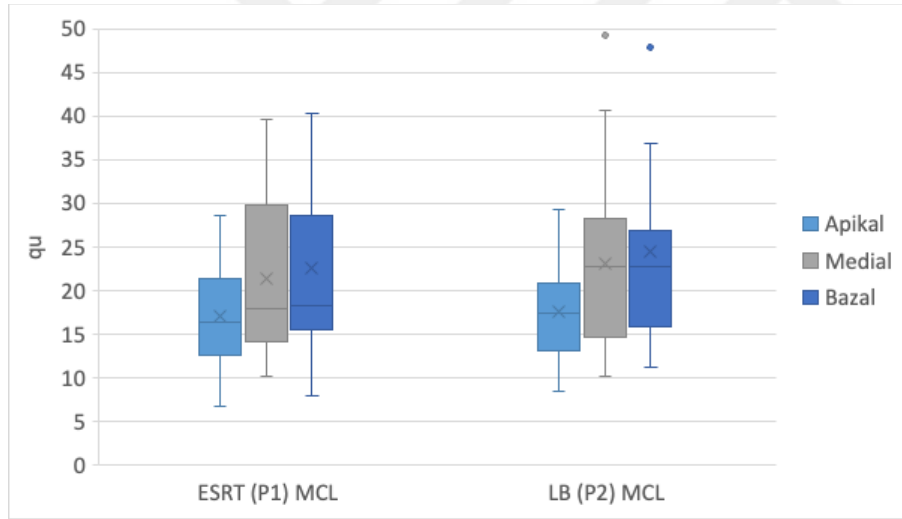
Şekil 12: P1 ve P2 ile serbest alanda gerçekleştirilen koklear implantlı işitme ve konuşma testi sonuçları

4.2. MCL ve THR'lerin karşılaştırılması

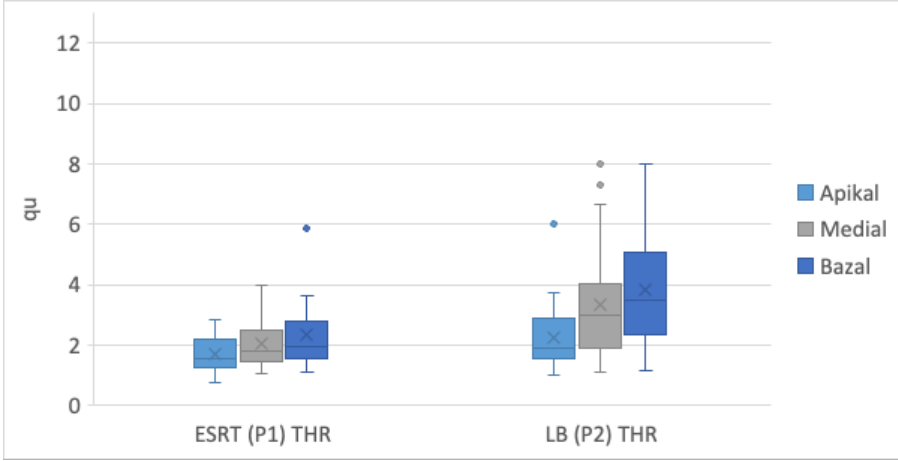
Çalışmada iki programın MCL ve THR seviyeleri üç elektrot (e) noktasında karşılaştırıldı: apikal bölgede e2, medial bölgede e6 ve bazal bölgede e9. Programların MCL düzeyleri karşılaştırıldığında; medial ($p = 0,048$) ve bazal ($p = 0,025$) elektrotlarda MCL seviyeleri P2 için P1'e göre anlamlı derecede yüksek iken, apikal elektrotlar için anlamlı bir fark yoktu ($p = 0,503$). Apikal ($p = 0,003$), medial ($p < 0,001$) ve bazal elektrotlarda ($p < 0,001$) THR seviyeleri P2 için P1'e kıyasla anlamlı ölçüde daha yüksek bulunmuştur. Her iki Kİ programı için yapılan post hoc karşılaştırmalar, bazal ve medial elektrotların MCL ve THR seviyelerinin apikal elektrottan anlamlı derecede yüksek olduğunu göstermiştir ($p < 0,05$). Medial ve bazal elektrotların MCL ve THR seviyeleri arasında ise anlamlı bir farklılık bulunamamıştır.

Tablo 4: Elektriksel uyarılmış stapes refleksi eşiği (ESRT) ve davranışsal ses yüksekliği dengelemeye (LB) dayalı koklear implant programları ile elde edilen ortalama MCL ve THR değerleri

	Apikal (e3)	Medial (e6)	Bazal (e9)
ESRT (P1) MCL (qu)	17±6.20	21.39±9.29	22.55±11.17
LB (P2) MCL (qu)	17.48±6.63	23.01±9.56	24.49±12.84
ESRT (P1) THR (qu)	2.21± 0.65	3.36±0.80	3.85±1.24
LB (P2) THR (qu)	2.91±1.08	3.75±1.90	4.22±1.93



Şekil 13: Apikal, medial ve bazal bölgeden seçilen elektrotların (e3,e6,e9) MCL değerlerinin kıyaslanması



Şekil 14: Apikal, medial ve bazal bölgeden seçilen elektrotların (e3,e6,e9) THR değerlerinin kıyaslanması

4.3. Türkçe Matris Cümle (TURMatrix) Testi

Sessiz ortamda non-adaptif TURMatrix testinde; P1 (39.32 % \pm 29.60) ile P2'ye (55% \pm 31.35) göre anlamlı derecede daha düşük skorlar elde edilmiştir ($p < 0.001$). Gürültüde adaptif TURMatrix testinde P2 (9.27 dB \pm 14.49) ile gerçekleştirilen testlerin sonuçları P1'den (14.38 dB \pm 16.50) anlamlı derecede daha iyi bulunmuştur ($p < 0.001$).

Tablo 5: P1 ve P2 ile sessizlikte ve gürültüde gerçekleştirilen Türkçe Matris Cümle (TURMatrix) Testi

	Sessizlikte non-adaptif TURMatrix sonuçları (%)	Gürültüde adaptif TURMatrix sonuçları (dB)
P1 (ESRT)	39.32 \pm 29.6	14.38 \pm 16.50
P2 (LB)	55 \pm 31.35	9.27 \pm 14.49
<i>p</i>	,000*	,000*

TURMatrix: Türkçe Matris Cümle Testi (ing. Turkish Matrix Sentence Test), SNR: Signal to noise ratio, P1: eSRT tabanlı koklear implant programı 1, P2: Ses yüksekliği dengeleme (loudness balancing, LB) tabanlı koklear implant programı.

4.4. Spektral Temporal Çözünürlük Testleri

SMRT sonuçları P1 ve P2 için karşılaştırıldığında aralarında istatistiki olarak anlamlı bir farklılık bulunamamıştır. 500 Hz'de yapılan RGDT testinde, P1 (24.71 msn \pm 6.72) için P2'ye

(22.05 msn±8.95) göre anlamlı derecede daha düşük sonuçlar elde edilmiştir (p=0.005). Diğer frekanslar için anlamlı bir farklılık bulunamamıştır.

Tablo 6: P1 ve P2 ile gerçekleştirilen Spektral-Temporal Çözünürlük Test Sonuçları

	SMRT	RGDT			
	(ripple per octave)	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
P1	1.61 ±1.21	24.71±6.72	18.73±9.73	21.39±10.82	22.89±10.044
P2	1.83±0.88	22.05±8.95	16.46±8.27	18.64±9.53	21.67±10.99
Z	-.270 ^c	-1.825 ^b	-2.801 ^c	-1.540 ^c	-1.311 ^c
p	.068	.005*	.124	.190	.787

SMRT: Spektral Olarak Modüle Edilmiş Dalgalanma Testi (ing. Spectrally temporally modulated ripple test), RGDT: Rastgele Aralık Tespit Etme Testi (Random gap detection threshold), P1: ESRT tabanlı koklear implant programı 1, P2: ses yüksekliği dengeleme (loudness balancing, LB) tabanlı koklear implant programı.

4.5. Müzik Algısı

Mini-PROMS'ta melodi, vurgu, tempo ve akort puanları ile kombine test sonuçları, programlar arasında anlamlı bir fark göstermemiştir (p>0.005). Ancak her iki Kİ programıyla gerçekleştirilen MCI değerlendirmesinde, P1 (12.80 ± 9.37) ile P2'ye (17.35 ± 10.12) kıyasla anlamlı derecede daha kötü puanlar elde edilmiştir (p<0.001).

Tablo 7: P1 ve P2 ile gerçekleştirilen miniPROMS ve Melodik Kontur Tanıma testlerinin sonuçları

	Mini-PROMS								MCI	
	Melodi	Akort	Tempo	Vurgu	Ses Algısı	Zamanlama	Yapısal	Sensör	Total	
P1	3.34±1.1 8	3.07±1. 48	3.42±1.2 3	4.192±1.4 8	6.15±1.63	7.50±2.35	7.55±2.2 6	6.32±1. 69	13.94± 3.30	12.80±9. 37
P2	3.25±1.2 0	3.28±0. 90	3.51±1.0 9	4.65±1.47	6.32±1.69	7.94±2.38	7.76±2.2 1	6.67±1. 80	14.59±3.4 2	17.35±1 0.12
p	.753	.234	.606	.063	.780	.163	.572	.247	.194	.001*

Mini PROMS: Mini Profile of Music Perception Skills, MCI: Melodic Contour Identification, P1: SRT tabanlı koklear implant programı 1, P2: Ses yüksekliği dengeleme (loudness balancing, LB) tabanlı koklear implant programı.

4.6. Konuşma Algısı ile Spektral-Zamansal Çözünürlük Arasındaki İlişki

Korelasyon analizleri bu çalışmanın ana odak noktası olan ses yüksekliği dengeleme tabanlı programlama için yapılmıştır. Yapılan analizde, SMRT test sonuçları ile sessizlikte non-adaptif TURMatrix test sonuçları arasında pozitif yönlü ve anlamlı (r=0.471, p=0.015) bir korelasyon

bulunmuştur. SMRT ile gürültüde adaptif TURMatrix test sonuçları arasında ise negatif yönlü ve anlamlı ($r=-0.392$, $p=0.048$) bir korelasyon bulunmuştur. Ayrıca 1000 Hz RGDT ile sessizlikte non-adaptif TURMatrix test sonuçları anlamlı negatif korelasyon gözlenmiştir ($r=-0.432$, $p=0.035$). Öte yandan 1000 Hz RGDT ile gürültüde adaptif TURMatrix arasında pozitif yönlü ve anlamlı ($r=0.466$, $p=0.022$) bir korelasyon bulunmuştur.

Tablo 8: Spektral-temporal çözünürlük testleri ile Türkçe Matrix Cümle Testi (TURMatrix) test sonuçları arasındaki korelasyon tablosu

	Non-adaptif sessizlikte TURMatrix	Adaptif gürültüde TURMatrix	Non-adaptif +10 dB SNR TURMatrix
SMRT	.471*	-.392*	-.392*
500 Hz RGDT	-.147	.129	-.242
1000 Hz RGDT	-.432*	.466*	-.422*
2000 Hz RGDT	-.281	-.281	.043
4000 Hz RGDT	-.044	.097	-.123

4.7. Konuşma ve Müzik Algısı Arasındaki İlişki

Mini-PROMS'un ses algısı alt puanları ile sessizlikte non-adaptif TURMatrix sonuçları arasında anlamlı ve pozitif bir korelasyon ($r=0.395$, $p=0.046$) bulunmuştur. Mini-PROMS yapısal alt puanları ile sessizlikte non-adaptif TURMatrix için benzer pozitif korelasyon gözlenmiştir ($r=0.432$, $p=0.028$). Diğer ölçümler arasında anlamlı bir korelasyon bulunamamıştır.

Tablo 9: Müzik algısı değerlendirme testleri ve Türkçe Matrix Cümle Testi (TURMatrix) test sonuçları arasındaki ilişki

	Non-adaptif sessizlikte TURMatrix	Adaptif gürültüde TURMatrix	Non-adaptif +10 dB SNR TURMatrix
Mini-PROMS Melodi	.326	-.210	.293
Mini-PROMS Tempo	-.039	.050	-.047
Mini-PROMS Akort	.145	-.095	.026
Mini-PROMS Vurgu	.341	-.300	.407*
Mini-PROMS Toplam	.316	-.235	.306
Melodik Kontur Tanıma	.316	-.262	.238

4.8. Spektral-Zamansal Çözünürlük ile Müzik Algısı Arasındaki İlişki

1000 Hz RGDT ile MCI arasında negatif yönlü ve anlamlı ($r=-0.421$, $p=0.041$) bir korelasyon bulunmuştur. SMRT ile mini-PROMS ses algısı alt sonuçları arasında pozitif yönlü ve anlamlı ($r=0.401$, $p=0.042$) bir korelasyon bulunmuştur. Diğer ölçümler arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır.

Tablo 10: Spektral-temporal çözünürlük testleri ile müzik algısı değerlendirme testlerinin sonuçları arasındaki ilişki

	SMRT	RGDT 500 Hz	RGDT 1 kHz	RGDT 2 kHz	RGDT 4 kHz
Mini-PROMS Melodi	.157	.076	.106	-.096	-.022
Mini-PROMS Tempo	-.038	.054	-.136	.063	-.004
Mini-PROMS Akort	.315	.056	-.310	-.286	.236
Mini-PROMS Vurgu	.043	-.234	-.402	.013	.070
Mini- PROMS Toplam	.183	-.067	-.271	-.022	.064
Melodik Kontur Tanıma	.078	-.099	-.421*	-.195	-.199

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada elektrotlar boyunca ses yüksekliklerinin dengelenmesinin konuşma ve müzik algısına etkisi araştırılmıştır. Çalışmanın verileri, davranışsal ses yüksekliği dengeleme tabanlı programlama (P2) ile serbest alan işitme eşiklerinin, konuşma algısı puanlarının ve melodik konturların tanımlanmasının önemli ölçüde daha iyi olduğunu göstermektedir. Ek olarak, Kİ kullanıcıları P2 ile daha iyi ortalama SMRT skorları ve daha düşük boşluk belirleme eşikleri elde etmiştir. Ayrıca, spektral temporal çözünürlük (RGDT’de yalnızca 1 kHz için) ile konuşma algılama puanları arasında anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Ancak diğer sonuçlar arasındaki ilişkiler, tüm alt testler ve toplam puanlar için anlamlı veya tutarlı bulunmamıştır. Konuşma ve müzik algısı arasındaki ilişki yalnızca sessizlikte non-adaptif TURMatrix ile miniPROMS'un iki alt puanı (ses algısı ve yapısal skorlar) arasında bulunmuştur. Ek olarak, spektral-zamansal çözünürlük ile müzik algısı arasındaki ilişki 1 kHz RGDT ile MCI arasında ve SMRT ile mini-PROMS'un ses algısı alt skoru arasında gözlenmiştir.

Elektrot dizisi boyunca eşit derecede ses yüksekliği sağlamak, ses kalitesini ve konuşma tanımayı optimize edecek Kİ fittinginin en önemli yönlerinden biridir. Literatürde ses yüksekliği dengeleme üzerine yayımlanmış az sayıda çalışma bulunmaktadır. Çalışmamızda bitişik ses yüksekliği dengeleme görevi kullanılmıştır. Bağımlı ölçümler kullanan bitişik ses yüksekliği dengeleme yöntemi ile bağımsız ölçümler kullanan referans yöntem ile dengeleme sonuçlarının kıyaslandığı bir araştırmada, iki yöntemin yüksek oranda korele ses yüksekliği eğrileri ürettiği ancak referans yönteminin denekler arasında daha yüksek değişkenlik göstermesinden kaynaklı daha zor bir görev olduğu bildirilmiştir (Throckmorton & Collins, 2001).

Ses yüksekliği dengeleme üzerine yapılmış bir araştırmada, MCL'ler davranışsal olarak ayarlandıktan sonra iki farklı durum karşılaştırılmıştır: dengelenmiş ses yükseklikleri ve dengelenmemiş ses yükseklikleri (Dawson et al., 1997). Dengelenmemiş koşul için, her bir elektrotun MCL seviyeleri, elektrotun dinamik aralığının $\pm\%20$ 'sinde rastgele dengesizleştirilmiştir. Sonuçlar, ses yüksekliklerinin dengelenmediği programla gürültüde cümle tanımanın ve sessizlikteki ses algısının daha kötü olduğunu göstermiştir (Dawson et al., 1997). Çalışmamız ve Dawson'ın sonuçları, özellikle konuşma anlaşılabilirliği açısından üst uyarım

seviyelerini dengelemenin önemine işaret etmektedir. Bu nedenle, yalnızca ESRT ile (veya diğer elektrofizyolojik yönlemlerle) programlanan ve kötü işitsel performans gösteren hastalarda davranışsal ses yüksekliği dengelenmesi yapılması göz önünde bulundurulmalıdır.

Çalışmamızda ses yüksekliği dengeleme yönteminin spektro-temporal çözünürlük, müzik ve konuşma algısına etkisini karşılaştırmak için etkinliği daha önceden kanıtlanmış objektif bir programlama yöntemi olan ESRT metodu seçilmiştir. Bu seçimi yapmamızın sebebi ESRT tabanlı veya davranışsal tabanlı programlar ile test edilen yetişkin Kİ kullanıcılarının konuşma algılama performanslarında önemli farklılık olmadığına bildirilmesidir (Hodges et al., 1997; Spivak & Chute, 1994). Ayrıca ESRT kullanıcıların %65-85'inde kaydedilebilir (Gordon et al., 2004). 20 Med-EL pediatrik koklear implant kullanıcısı ile yapılan bir araştırmada, davranışsal tabanlı ve ESRT tabanlı programların MCL seviyeleri karşılaştırılmış ve aralarında anlamlı bir farklılık bulunamamıştır (M. Á. Pérez-Rodríguez et al., 2023). Diğer bazı araştırmacılar ESRT düzeylerinin davranışsal üst uyarım seviyelerinden önemli ölçüde yüksek olduğunu bildirirken, bazı çalışmalar daha düşük olduğunu vurgulamıştır ve bunun sebebi olarak implant modelini işaret etmişlerdir (Çiçrut & Adıgöl, 2020; Gordin et al., 2009; Opie et al., 1997).

Kullanıcıların üst uyarım seviyelerinin, ses kalitesi ve konuşma algısı üzerine doğrudan etkisi bulunmaktadır (Wolfe & Schafer, 2014). Bu nedenle programların MCL ve THR seviyelerini karşılaştırdık. Literatürdeki değişkenliğe rağmen çalışmamızda, medial ve bazal elektrotların MCL seviyeleri LB tabanlı programlamada daha yüksekken, apikal elektrot için anlamlı bir fark yoktu. Bu alanda yapılmış çalışmaların sonuçları ise değişkendir. Yakın tarihli bir araştırmada Pérez-Rodríguez ve ark., ESRT'ye dayalı MCL seviyeleri ve davranışsal MCL seviyeleri arasında fark olmadığını bildirmiştir (M. Pérez-Rodríguez et al., 2023). Ancak Çiçrut ve Adıgöl, ESRT ile elde edilen MCL düzeylerinin davranışsal teknikler kullanılarak elde edilenlerden daha düşük olduğunu bulmuşlardır (Çiçrut & Adıgöl, 2020). Öte yandan P2 ile belirlenen davranışsal T seviyeleri, P1'de MCL'nin %10'una ayarlanan T seviyelerinden anlamlı olarak yüksek bulunmuştur. Daha düşük T seviyesi daha kısık seslere erişimi kolaylaştırırsa da istenmeyen sesleri ön plana çıkarabilir. Çalışmamızda P1 ve P2'nin T seviyeleri anlamlı farklıydı (P2 ile anlamlı derecede büyük qu). Sonuçlar konuşma algısında MCL'nin daha önemli bir parametre olduğuna ve dengeli ses yüksekliğinin daha iyi konuşma anlaşılabilirliği sağladığına işaret etmektedir.

Müzik, Kİ kullanıcıları için belki de var olan en karmaşık işitsel uyaran olduğundan, kullanıcılar için zorlayıcı olabilir. Bu nedenle Kİ kullanıcılarında teknolojik, biyolojik ve akustik sınırlamaların değerlendirilmesi için konuşma uyarısında olduğu gibi iyi bir araştırma alanı sağlar (Calvino et al., 2024). Literatürde, Kİ kullanıcılarının müzik algısındaki farklılıkları kontrol etmek için hem objektif hem subjektif çeşitli araçlar kullanılmıştır. Objektif testler müzikal algısal yetenekleri değerlendirmek için faydalıdır ancak müziğin günlük yaşamdaki gerçek etkisi veya önemi hakkında fikir vermez. Bu tür öngörülerde bulunabilmek için subjektif ölçekler kullanılır. Ancak bu çalışmada kullanıcıların müzik beğenilerini değerlendirmek için subjektif bir test bataryası kullanılmamıştır. Bunun yerine bilgisayar tabanlı bir müzik algısı değerlendirme bataryası kullanılmıştır. Müzik algılama performansı ve müzikten alınan zevk arasında kesin bir ilişki olmadığı göz önüne alındığında gelecek araştırmalarda subjektif müzik algısının/beğenisinin durumu araştırılabilir.

Koklear implant kullanıcılarında müzik ve konuşma algısı için yapılmış çalışmalarda farklı ses işleme stratejileri, akım yönlendirme teknikleri, farklı uyarım modları ve dinamik aralık kompresyonunun sonuçlara etkisi araştırılmıştır (Berg; & Gifford, 2021; Gilbert et al., 2022; Magnusson, 2011; Riss et al., 2014). Böylece kullanıcıların müzik algısını iyileştirmeye yönelik yeni yöntemler veya parametreler tespit etmeye çalışılmıştır. Örneğin Yüksel ve Çiprut kanal etkileşimini azaltmanın tını algısını iyileştirdiğini göstermiştir (Yüksel & Çiprut, 2024). Başka bir çalışmada Heitkötter ve arkadaşları, Kİ elektrotunun yerleşim derinliğinin perde ve ton algısını etkilemediğini bulmuştur (Heitkötter et al., 2024). Arora ve arkadaşları, Kİ hızındaki değişikliklerin (stimülasyon oranı) gürültüde ve sessizlikte konuşma tanıma ile müzik kalitesini anlamlı derecede etkilemediğini bildirmiştir (Arora et al., 2024). Bu bakımdan çalışmamızın sonuçlarının müzik ve konuşma algısını iyileştirmeye yönelik bir fitting optimizasyonu içermesi ile literatüre katkı sağlayacak ve hasta performansını iyileştirecek bulgular sunduğu düşünülmüştür.

Bu çalışmada katılımcılar arasındaki değişkenliği azaltmak için FS4-p işleme stratejisi kullanan bireyler çalışmaya dahil edildi. Önceki bir araştırma, kullanıcıların konuşma ve müzik dinlerken FSP ve HDCIS stratejilerini CIS+ stratejisine göre daha fazla tercih ettiklerini göstermiştir (Lorens et al., 2010). Ek olarak FSP'nin ünlüler ve tek heceli kelimeleri anlamada CIS+'dan daha iyi olduğu, subjektif değerlendirmede ise müzik dinlerken kullanıcılar tarafından daha fazla tercih edildiği bildirilmiştir (Müller et al., 2012). FS4-p ses kodlama stratejisi, fine-structure bilgisi aralığını yaklaşık 950 Hz'e kadar apikal dört kanala genişletir ve

bu dört kanalının aynı anda uyarılmasına izin verir. Böylece kullanıcılar sesteki perde değişimleri ve zamanlama ayrıntılarını daha iyi algılayarak, daha yüksek algısal zamansal kesinlik nedeniyle daha iyi ses kalitesi algısı sağlanır (Müller et al., 2012; Riss et al., 2014). Çalışmamızda farklı ses işleme algoritmalarının sonuçlar üzerine etkisi değerlendirilmese de sonraki çalışmalar bu konuya odaklanabilir.

Konuşmada çok sayıda zıt frekans ve zamanlama ipucu yer aldığından spektral ve temporal çözünürlük yeteneği konuşma algısında önemli rol oynar (Winn et al., 2016). Konuşma, spektral ve zamansal ipuçlarının şiddetli şekilde bozulması durumunda dahi anlaşılabilirken, müzik tanıma ve takdiri, hafif bir bozulma ile dahi zarar görebilir (Shannon, 2005). Kİ kullanıcılarındaki zayıf spektral çözünürlüğün, zayıf melodi ve tını tanımaya yol açtığı öne sürülmektedir (Drennan & Rubinstein, 2008). Benzer şekilde spektral çözünürlük görevlerinin Kİ kullanıcılarının konuşma ve müzik algılama performansı ile ilişkili olduğu ve akustik olarak farklı olan uyarıları ne kadar iyi ayırt edebildiğine dair bir fikir verdiği öne sürülmektedir (Holden et al., 2016; Lawler et al., 2017; Won et al., 2010). Önceki bir rapor da benzer şekilde 29 Kİ kullanıcılarının spektral dalgalanma (*ing.ripple*) eşikleri ve gürültüde konuşmayı alma eşikleri ($r = -0.55$, $p = 0.002$, two-talker babble; $r = -0.62$, $p = 0.0004$, steady-state noise) ile spektral dalgalanma ayırt etme yeteneği ve sessizlikte kelime tanıma ($r=0.50$, $p=0.009$) arasında anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Deneklerin spektral dalgalanma eşikleri 0,60 ila 3,33 dalgalanma/oktav arasında değişmekteydi (Won et al., 2007). Başka bir raporda ise normal işiten, işitme kayıplı ve Kİ'li katılımcılar için spektral dalgalanma eşiği ile sesli ve ünsüz tanıma arasında bir ilişki bulunmuştur. Kİ'li katılımcılar, 0,13 ila 1,66 ripples/oktav arasında değişen spektral dalgalanma ayırt etme yeteneğine sahipti (Henry et al., 2005). Bizim çalışmamızda ses yükseklikleri dengelenmiş programda; daha iyi spektral-temporal çözünürlüğe sahip kullanıcılarda daha iyi, sessizlikte ve gürültüde konuşma tanıma ve PROMS'ta daha iyi ses algısı skorları elde edilmiştir. Katılımcıların spektral ripple eşikleri 0,5 ile 4,33 (ort: 1,83) arasında değişiyordu ve bu eşikler bahsi geçen iki çalışmadan daha iyiydi. Bu farklılığın Won'un (2007) belirttiği gibi çalışmaya katılan Kİ kullanıcılarının daha iyi spektral çözünürlük yeteneğini sahip olmasından veya yüksek ihtimalle Kİ modellerindeki veya ayarındaki farklılıklardan kaynaklanması muhtemeldir.

Kİ kullanıcılarında zamansal keskinliği ölçmek için boşluk belirleme eşiği (BBE) yaygın olarak kullanılmaktadır. BBE ile ses yüksekliği algısı arasında ilişki olduğu gösterilmiştir (Garadat & Pfingst, 2011). Çalışmamızda frekansların ortalama boşluk belirleme

eşikleri daha düşük olmasına rağmen, sadece 500 Hz için P1 ve P2 arasında anlamlı bir farklılık elde edilmiştir. Garadat ve Pfingst (2011), ses yüksekliğinin BBE'lere katkıda bulunan bir faktör olduğunu ve Kİ programlamasında ses yüksekliği dengelemesinin, algısal keskinliği artırabileceğini öne sürmüştür. Sonuçlarımız da bu fikri desteklemektedir. Öte yandan literatürdeki bazı kanıtlar konuşma tanıma ile BBE arasında bir ilişki olduğunu öne sürmektedir (Sagi et al., 2009). Çalışmamızda 1000 Hz'de daha düşük RGDT'ye sahip katılımcılar, sessiz ve gürültülü ortamlarda daha iyi konuşma tanıma puanları ve MCI değerlendirmelerinde daha iyi sonuçlar elde etmiştir.

Kİ kullanıcılarında müzik algısını değerlendirmeye yönelik mevcut metodolojiler benzer olsa da test edilen bileşenler farklılık gösterebilmektedir. Bazı çalışmalar, Kİ kullanıcılarının müziği tanımlamak, keyif almak ve zayıf tını, perde ve melodi tanımayı telafi etmek için müzikteki şarkı sözlerinden yararlandıklarını göstermiştir (Yüksel et al., 2020). Öte yandan çocuk ve ergen Kİ kullanıcılarının %95'e yakın bir yüzdeye sahip normal işitenlere kıyasla, sunulan enstrümental müziğin yalnızca yaklaşık yarısını tanıyabildiği gösterilmiştir (Calvino et al., 2024). Diğer çalışmalar Kİ'li bireylerin tanıdık melodilerin yalnızca yaklaşık %25'ini tanıyabildiklerini göstermiştir (Kang et al., 2009; Nimmons et al., 2008).

Çalışmamızda alışılmadık (tanıdık olmayan) melodiler kullanılmıştır. Bildiğimiz kadarıyla PROMS testi daha önce Fowler ve arkadaşlarının çalışmasında Kİ kullanıcılarındaki alışılmadık melodi tanımayı değerlendirmek için kullanılmıştır (Fowler et al., 2021). Bu çalışmanın sonuçları, Kİ'li katılımcıların (Ort= 6,00, SS = 1,93), normal işiten akranlarından (Ort = 8,55, SS = 1,95) önemli ölçüde daha düşük puanlara sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca, normal işiten bireyler tanıdık melodi tanımada daha yüksek puanlara sahipken, Kİ kullanıcıları alışılmadık melodi tanımada daha yüksek puanlar elde etmiştir. Ayrıca araştırmacılar alışılmadık melodi görevinin, melodiyle ilgili önceki deneyimlerden bağımsız olduğuna dikkat çekmiştir. Alışılmadık melodi testi tüm notaların yeni melodilerle aynı veya farklı olarak değerlendirilmesi esasına dayanır. Bizim çalışmamızda koklear implantlı en yüksek melodi skoru 5,5 iken, ortalama skor 3,25'di, alınabilecek en yüksek skor ise 10 idi. Fowler'ın çalışmasında bimodal, bilateral ve elektroakustik stimülasyon kullanıcılarının da yer alması daha yüksek melodi skorlarına ulaşılmasını sağlamış olabilir. Postlingual işitme kayıplı yetişkin Kİ kullanıcıları müzik dinlerken bozulmuş elektrik sinyalinin farkındadırlar ve genellikle akustik sinyaller aracılığıyla müziğin nasıl ses çıkardığını hatırlarlar. Bu nedenle onlardan daha iyi müzik algısına sahip olmaları muhtemeldir. Çalışmamızda bu düşünceleri destekler nitelikte

postlingual grubun miniPROMS tempo ($p=,030$) ve toplam skorları ($p= ,027$) prelingual gruba göre daha iyi skorlarla anlamlı derecede farklı bulunmuştur.

Birçok çalışma spektral çözünürlük görevinin kelime tanıma ve müzik algısı ile ilişkili olduğunu bildirmiştir (Won et al., 2010). Flippo ve ark. (2008), sanal kanallarla spektral çözünürlüğün artırılmasının algısal müzik beğenisi sağladığını ileri sürmüştür (Filipo et al., 2008). Çalışmamızda daha iyi spektral-zamansal çözünürlüğe sahip kullanıcılar, sessiz ve gürültülü ortamlarda daha iyi konuşma tanıma yeteneğine sahipti. Ancak SMRT yalnızca miniPROMS'un ses algısı alt puanlarıyla koreleydi.

Güncel çalışmalar Kİ kullanıcılarında müzik algısı ve konuşma algısı arasında ilişki olduğunu ve müzik algısının iyileştirilmesinin gürültüde konuşma algısında günlük fayda sağlayarak kullanıcıların dinleme kalitesinin artırılacağı öne sürülmektedir (Dincer D'Alessandro et al., 2022; Drennan & Rubinstein, 2008; Firestone et al., 2020). Öte yandan tek heceli sessizlikte konuşma puanlarının melodi ($r=0,47$, $p < 0.01$) ve tını ($r=0,50$, $p < 0.01$) ile orta düzeyde pozitif korelasyon gösterdiği bildirilmiştir (Kang et al., 2009). Müzik ve konuşma algılama becerilerinin periferik ve daha yüksek düzeydeki işitsel işleme duyarlılığı tarafından kısıtlanma olasılığı bulunmaktadır. Bununla birlikte implanta, kullanıcıya ve test bataryasına bağlı bazı varyasyonların bu algıyı etkileyebileceğini söylenebilir. Çalışmamızda sessizlikte konuşma algısı ile PROMS'un yapısal ve ses algısı skorları arasında, sabit gürültüde konuşma testinde ise vurgu (accent) ve yapısal skorlar arasında ilişki gözlenmiştir.

Bu çalışmanın bazı kısıtlılıkları da bulunmaktadır. Bilindiği üzere rezidüel işitme Kİ kullanıcılarının konuşma algısı, müzik algısı ve spektral çözünürlüğü etkiler (Derinsu et al., 2019; Yüksel et al., 2019). Ancak katılımcı sayısı nispeten kısıtlı olduğundan çalışmamızda katılımcıların rezidüel işitmelerinin sonuçlara etkisi araştırılmadı. Öte yandan literatürde müzik için adaptif gürültü baskılama özelliğinin devre dışı olduğu, ayrı bir Kİ programının oluşturulması önerilmektedir (Moore, 2022). Çalışmamızdaki katılımcılar tüm görevleri aynı Kİ programı ile tamamladılar. Tüm parametreleri yalnız müzik için oluşturulmuş bir Kİ programı ile yeni bir çalışma planlanması faydalı olabilir.

Gürültü algısı, işitilebilir bant genişliğine göre değişebilir (Folkeard et al., 2021). İşitme cihazlı bireylerde yapılan geçmiş bir araştırma, gelişmiş yüksek frekanslı işitilebilirliğin özellikle yüksek seviyeli sesler için ses yüksekliği algısını artırabileceğini bulmuştur (Van Eeckhoutte et al., 2020). Dolayısıyla kokleadaki aktif elektrot sayısı veya elektrot tipi bu

durumu etkileyebilir. Çalışmamıza tüm elektrotları aktif olan aynı marka Kİ kullanıcıları dahil edildi. Ancak katılımcılarımızın elektrot modellerinde farklılıklar mevcuttu ve elektrotların yer-frekans uyumu hakkında net bilgiye sahip değildik.

Ek olarak katılımcıların işlemci modelleri ve mikrofon sayılarında farklılıklar mevcuttu. Bu durumlar mevcut sonuçları etkilemiş olabilir. Apikal ve bazal elektrot çiftleri arasındaki ses yüksekliği dengelemesi büyük ölçüde stimülasyon hızı, stimülasyon modu ve elektrot konumuna bağlıdır (Fu, 2005). Gelecekte anatomi tabanlı koklear implant programlaması ile aynı metodolojide daha kontrollü çalışmalar yürütmek bu farklılıkların etkisini ortaya koymada yararlı olabilir. Bununla birlikte bu çalışma Kİ kullanıcılarının gerçek dünyadaki müzik algısı veya müzik zevkine ilişkin kişisel görüşleri yansıtmaz. Mini-PROMS testi sırasında katılımcıların ani tepkileri veya kararsızlıkları nedeniyle yanıtları değiştirmesinin önüne geçmek için yanıtların işaretlenmesinden araştırmacılar sorumluydu. Ancak bu durumun yanıtların yanlış girilmesi gibi insan hatalarına neden olmuş ihtimali bulunmaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Teknolojideki gelişmelere rağmen gürültüde konuşma anlaşılabilirliği ve müzik beğenisi koklear implant kullanıcıları için zorluk olmaya devam etmektedir. Bu eksiklerin üstesinden gelmek için yeni işleme stratejileri ve implant tasarımlarının geliştirilmesinin yanı sıra fitting optimizasyonu için farklı yaklaşımlar denenmektedir. Mevcut çalışma ses yükseklikleri dengelenmiş koklear implant programının konuşma tanıma ve müzik algısı için olumlu etkilerini ortaya koymuştur. Ayrıca spektral temporal çözünürlük, konuşma ve müzik algısının birbirleri arasında ilişki olduğunu göstermiştir. Koklear implant programlaması ve bireysel işitsel eğitim programlarının oluşturulmasında, bu üç modalitenin birbiriyle ilişkisinin göz önünde bulundurulmasının kullanıcıların daha iyi performansa ulaşmasına katkı sağlayacağı düşünülmüştür.

KAYNAKLAR

- Abbas, P. J., Hughes, M. L., Brown, C. J., Miller, C. A., & South, H. (2004). Channel interaction in cochlear implant users evaluated using the electrically evoked compound action potential. *Audiology and Neurotology*, 9(4), 203-213.
- Alcántara, J. L., Moore, B. C., Kühnel, V., & Launer, S. (2003). Evaluation of the noise reduction system in a commercial digital hearing aid. *Int J Audiol*, 42(1), 34-42. <https://doi.org/10.3109/14992020309056083>
- American Standards Association. (1960). Acoustical terminology SI. 1-1960, *American Standards Association*.
- Anderson, S., & Kraus, N. (2010). Sensory-cognitive interaction in the neural encoding of speech in noise: a review. *Journal of the American Academy of Audiology*, 21(09), 575-585.
- Andrade, K. C., Leal Mde, C., Muniz, L. F., Menezes Pde, L., Albuquerque, K. M., & Carnáuba, A. T. (2014). The importance of electrically evoked stapedial reflex in cochlear implant. *Braz J Otorhinolaryngol*, 80(1), 68-77. <https://doi.org/10.5935/1808-8694.20140014>
- Aronoff, J. M., & Landsberger, D. M. (2013). The development of a modified spectral ripple test. *J Acoust Soc Am*, 134(2), E1217-222. <https://doi.org/10.1121/1.4813802>
- Arora, K. (2012). Cochlear implant stimulation rates and speech perception. In *Modern speech recognition approaches with case studies*. IntechOpen.
- Arora, K., Plant, K., Dawson, P., & Cowan, R. (2024). Effect of reducing electrical stimulation rate on hearing performance of Nucleus(®) cochlear implant recipients. *Int J Audiol*, 1-10. <https://doi.org/10.1080/14992027.2024.2314620>
- Başkent, D., & Shannon, R. V. (2005). Interactions between cochlear implant electrode insertion depth and frequency-place mapping. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 117(3), 1405-1416.
- Berg, K., & Gifford, R. (2021). *Can we improve music perception and appreciation using strategic apical electrode deactivation?* <http://www.implantsandmusic.net/wp-content/uploads/2021/09/MUSCI.2021.09.pdf>
- Best, V., Gallun, F. J., Carlile, S., & Shinn-Cunningham, B. G. (2007). Binaural interference and auditory grouping. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 121(2), 1070-1076.
- Boëx, C., de Balthasar, C., Kós, M.-I., & Pelizzone, M. (2003). Electrical field interactions in different cochlear implant systems. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 114(4), 2049-2057.
- Bresnihan, M., Norman, G., Scott, F., & Viani, L. (2001). Measurement of comfort levels by means of electrical stapedial reflex in children. *Archives of Otolaryngology-Head & Neck Surgery*, 127(8), 963-966.
- Brown, C. J. (2003). Clinical uses of electrically evoked auditory nerve and brainstem responses. *Current opinion in otolaryngology & head and neck surgery*, 11(5), 383-387.
- Brown, C. J., Abbas, P. J., Fryauf-Bertschy, H., Kelsay, D., & Gantz, B. J. (1994). Intraoperative and postoperative electrically evoked auditory brain stem responses in nucleus cochlear implant users: implications for the fitting process. *Ear and hearing*, 15(2), 168-176. <https://doi.org/10.1097/00003446-199404000-00006>

- Brown, C. J., Hughes, M. L., Luk, B., Abbas, P. J., Wolaver, A., & Gervais, J. (2000). The relationship between EAP and EABR thresholds and levels used to program the nucleus 24 speech processor: data from adults. *Ear and hearing, 21*(2), 151-163.
- Calvino, M., Zuazua-González, A., Gavilán, J., & Lassaletta, L. (2024). Objective and Subjective Assessment of Music Perception and Musical Experiences in Young Cochlear Implant Users. *Audiology Research, 14*(1), 86-95.
- Cejas, I., Mitchell, C. M., Hoffman, M., Quittner, A. L., & Team, C. I. (2018). Comparisons of IQ in children with and without cochlear implants: Longitudinal findings and associations with language. *Ear and hearing, 39*(6), 1187.
- Cesur, S., & Derinsu, U. (2020). Temporal processing and speech perception performance in postlingual adult users of cochlear implants. *Journal of the American Academy of Audiology, 31*(02), 129-136.
- Cochlear Implant (CI) Technology and Music: Music Perception, Music Enjoyment: Information for Audiologists.* (2022). University of Iowa. <https://medicine.uiowa.edu/iowaprotocols/music-and-hearing-loss/cochlear-implant-ci-and-music/cochlear-implant-ci-pages-audiologists/cochlear>
- Cooper, H., & Craddock, L. (2006). *Cochlear implants: a practical guide*. John Wiley & Sons.
- Cullington, H. (2000). Preliminary neural response telemetry results. *British journal of audiology, 34*(3), 131-140.
- Çiprut, A., & Adıgül, Ç. (2020). The Relationship between Electrical Stapedius Reflex Thresholds and Behaviorally Most Comfortable Levels in Experienced Cochlear Implant Users. *J Int Adv Otol, 16*(1), 8-12. <https://doi.org/10.5152/iao.2019.6589>
- Davidson, L. S., Geers, A. E., Blamey, P. J., Tobey, E., & Brenner, C. (2011). Factors contributing to speech perception scores in long-term pediatric CI users. *Ear and hearing, 32*(1 Suppl), 19S.
- Dawson, P., Skok, M., & Clark, G. M. (1997). The effect of loudness imbalance between electrodes in cochlear implant users. *Ear and hearing, 18*(2), 156-165.
- de Boer, J., & Thornton, A. R. D. (2008). Neural correlates of perceptual learning in the auditory brainstem: efferent activity predicts and reflects improvement at a speech-in-noise discrimination task. *Journal of Neuroscience, 28*(19), 4929-4937.
- Deep, N. L., Choudhury, B., & Roland Jr, J. T. (2019). Auditory brainstem implantation: an overview. *Journal of Neurological Surgery Part B: Skull Base, 80*(02), 203-208.
- Deniz, B., Kara, E., Polat, Z., Deniz, R., & Ataş, A. (2021). Changes in electrically evoked auditory brainstem responses in children with sequential bilateral cochlear implants. *International journal of pediatric otorhinolaryngology, 141*, 110555.
- Deniz, R., Kara, E., Deniz, B., Kara, H. Ç., Yener, H. M., & Ataş, A. (2022). Electrically Evoked Auditory Late Responses as a Novel Method for Cochlear Implant Programming. *Otology & neurotology, 43*(4), e414-e420. <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000003485>
- Derinsu, U., Yüksel, M., Geçici, C. R., Çiprut, A., & Akdeniz, E. (2019). Effects of residual speech and auditory deprivation on speech perception of adult cochlear implant recipients. *Auris Nasus Larynx, 46*(1), 58-63. <https://doi.org/10.1016/j.anl.2018.06.006>
- Dincer D'Alessandro, H., Boyle, P. J., Portanova, G., & Mancini, P. (2022). Music perception and speech intelligibility in noise performance by Italian-speaking cochlear implant users. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology, 1-9*.
- Dorman, M. F., Basham, K., McCandless, G., & Dove, H. (1991). Speech understanding and music appreciation with the Ineraid cochlear implant. *The Hearing Journal, 44*(6), 34-37.

- Downie, A. L., Jakobson, L. S., Frisk, V., & Ushycky, I. (2002). Auditory temporal processing deficits in children with periventricular brain injury. *Brain and Language*, *80*(2), 208-225.
- Drennan, W. R., & Rubinstein, J. T. (2008). Music perception in cochlear implant users and its relationship with psychophysical capabilities. *Journal of rehabilitation research and development*, *45*(5), 779.
- Filipo, R., Ballantyne, D., Mancini, P., & D'elia, C. (2008). Music perception in cochlear implant recipients: comparison of findings between HiRes90 and HiRes120. *Acta otolaryngologica*, *128*(4), 378-381.
- Firestone, G. M., McGuire, K., Liang, C., Zhang, N., Blankenship, C. M., Xiang, J., & Zhang, F. (2020). A Preliminary Study of the Effects of Attentive Music Listening on Cochlear Implant Users' Speech Perception, Quality of Life, and Behavioral and Objective Measures of Frequency Change Detection. *Front Hum Neurosci*, *14*, 110. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00110>
- Firszt, J. B., Chambers, R. D., Kraus, & Reeder, R. M. (2002). Neurophysiology of cochlear implant users I: effects of stimulus current level and electrode site on the electrical ABR, MLR, and N1-P2 response. *Ear Hear*, *23*(6), 502-515. <https://doi.org/10.1097/00003446-200212000-00002>
- Folkeard, P., Eeckhoutte, M. V., Levy, S., Dundas, D., Abbasalipour, P., Glista, D., Agrawal, S., & Scollie, S. (2021). Detection, speech recognition, loudness, and preference outcomes with a direct drive hearing aid: Effects of bandwidth. *Trends in Hearing*, *25*, 2331216521999139.
- Fowler, S. L., Calhoun, H., & Warner-Czyz, A. D. (2021). Music perception and speech-in-noise skills of typical hearing and cochlear implant listeners. *American Journal of Audiology*, *30*(1), 170-181.
- Fu, Q.-J. (2002). Temporal processing and speech recognition in cochlear implant users. *Neuroreport*, *13*(13), 1635-1639.
- Fu, Q.-J. (2005). Loudness growth in cochlear implants: effect of stimulation rate and electrode configuration. *Hearing research*, *202*(1), 55-62. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heares.2004.10.004>
- Galvin III, J. J., Fu, Q.-J., & Nogaki, G. (2007). Melodic contour identification by cochlear implant listeners. *Ear and hearing*, *28*(3), 302.
- Galvin III, J. J., Fu, Q. J., & Shannon, R. V. (2009). Melodic contour identification and music perception by cochlear implant users. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1169*(1), 518-533.
- Garadat, S. N., & Pfingst, B. E. (2011). Relationship between gap detection thresholds and loudness in cochlear-implant users. *Hearing research*, *275*(1-2), 130-138.
- Gelfand, S. A. (2016). *Essentials of audiology* (Fourth ed.). New York : Thieme.
- Gfeller, K., Oleson, J., Knutson, J. F., Breheny, P., Driscoll, V., & Olszewski, C. (2008). Multivariate predictors of music perception and appraisal by adult cochlear implant users. *Journal of the American Academy of Audiology*, *19*(02), 120-134.
- Gfeller, K., Turner, C., Mehr, M., Woodworth, G., Fearn, R., Knutson, J. F., Witt, S., & Stordahl, J. (2002). Recognition of familiar melodies by adult cochlear implant recipients and normal-hearing adults. *Cochlear Implants International*, *3*(1), 29-53.
- Gfeller, K., Witt, S., Mehr, M. A., Woodworth, G., & Knutson, J. (2002). Effects of frequency, instrumental family, and cochlear implant type on timbre recognition and appraisal. *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology*, *111*(4), 349-356.

- Gifford, R. H. (2013). Elements of Postoperative Assessment in Adult Implant Recipients. *Cochlear Implant Patient Assessment: Evaluation of Candidacy, Performance, and Outcomes*, 85.
- Gilbert, M. L., Deroche, M. L. D., Jiradejvong, P., Chan Barrett, K., & Limb, C. J. (2022). Cochlear Implant Compression Optimization for Musical Sound Quality in MED-EL Users. *Ear Hear*, 43(3), 862-873. <https://doi.org/10.1097/aud.0000000000001145>
- González, R. I. B., Castillo, S. C., & Lee, G. R. (2017). Fitting parameters for cochlear implant. *Boletín Médico Del Hospital Infantil de México (English Edition)*, 74(1), 65-69.
- Gordin, A., Papsin, B., James, A., & Gordon, K. (2009). Evolution of cochlear implant arrays result in changes in behavioral and physiological responses in children. *Otology & neurotology*, 30(7), 908-915.
- Gordon, K. A., Papsin, B. C., & Harrison, R. V. (2004). Toward a battery of behavioral and objective measures to achieve optimal cochlear implant stimulation levels in children. *Ear and hearing*, 25(5), 447-463.
- Guiraud, J., Gallego, S., Arnold, L., Boyle, P., Truy, E., & Collet, L. (2007). Effects of auditory pathway anatomy and deafness characteristics? Part 2: On electrically evoked late auditory responses. *Hear Res*, 228(1-2), 44-57. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2007.01.022>
- He, S., McFayden, T. C., Teagle, H. F., Ewend, M., Henderson, L., & Buchman, C. A. (2016). Electrically Evoked Auditory Event-Related Responses in Patients with Auditory Brainstem Implants: Morphological Characteristics, Test-Retest Reliability, Effects of Stimulation Level, and Association with Auditory Detection. *Ear Hear*, 37(6), 634-649. <https://doi.org/10.1097/aud.0000000000000342>
- Heitkötter, F. S., Krämer, B. A., Spiekermann, C. O., Beule, A. G., & Rudack, C. (2024). Perception of Specific Musical Attributes in Dependence of the Insertion Depth of Cochlear Implant Electrodes Using the Montreal Battery of Evaluation of Amusia. *Otol Neurotol*, 45(3), e214-e220. <https://doi.org/10.1097/mao.0000000000004087>
- Helms, J., Weichbold, V., Baumann, U., von Specht, H., Schön, F., Müller, J., Esser, B., Ziese, M., Anderson, I., & D'Haese, P. (2004). Analysis of ceiling effects occurring with speech recognition tests in adult cochlear-implanted patients. *ORL*, 66(3), 130-135.
- Henry, B. A., & Turner, C. W. (2003). The resolution of complex spectral patterns by cochlear implant and normal-hearing listeners. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 113(5), 2861-2873.
- Henry, B. A., Turner, C. W., & Behrens, A. (2005). Spectral peak resolution and speech recognition in quiet: Normal hearing, hearing impaired, and cochlear implant listeners. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 118(2), 1111-1121.
- Hodges, A. V., Balkany, T. J., Ruth, R. A., Lambert, P. R., Dolan-Ash, S., & Schloffman, J. J. (1997). Electrical middle ear muscle reflex: use in cochlear implant programming. *Otolaryngology-Head and Neck Surgery*, 117(3), 255-261.
- Holden, L. K., Finley, C. C., Firszt, J. B., Holden, T. A., Brenner, C., Potts, L. G., Gotter, B. D., Vanderhoof, S. S., Mispagel, K., & Heydebrand, G. (2013). Factors affecting open-set word recognition in adults with cochlear implants. *Ear and hearing*, 34(3), 342.
- Holden, L. K., Firszt, J. B., Reeder, R. M., Uchanski, R. M., Dwyer, N. Y., & Holden, T. A. (2016). Factors Affecting Outcomes in Cochlear Implant Recipients Implanted With a Perimodiolar Electrode Array Located in Scala Tympani. *Otol Neurotol*, 37(10), 1662-1668. <https://doi.org/10.1097/mao.0000000000001241>
- Holstad, B. A., Sonneveldt, V. G., Fears, B. T., Davidson, L. S., Aaron, R. J., Richter, M., Matusofsky, M., Brenner, C. A., Strube, M. J., & Skinner, M. W. (2009). Relation of

- electrically evoked compound action potential thresholds to behavioral T-and C-levels in children with cochlear implants. *Ear and hearing*, 30(1), 115.
- House, W. F., & Berliner, K. I. (1986). Safety and efficacy of the House/3M cochlear implant in profoundly deaf adults. *Otolaryngologic Clinics of North America*, 19(2), 275-286. [https://doi.org/10.1016/S0030-6665\(20\)31770-9](https://doi.org/10.1016/S0030-6665(20)31770-9)
- House, W. F., & Brackmann, D. E. (1974). Electrical promontory testing in differential diagnosis of sensori-neural hearing impairment. *The Laryngoscope*, 84(12), 2163-2171. <https://doi.org/10.1288/00005537-197412000-00007>
- Hughes, M. L., Brown, C. J., Abbas, P. J., Wolaver, A. A., & Gervais, J. P. (2000). Comparison of EAP thresholds with MAP levels in the nucleus 24 cochlear implant: data from children. *Ear and hearing*, 21(2), 164-174.
- Incerti, P. V., Ching, T. Y. C., Hou, S., Van Buynder, P., Flynn, C., & Cowan, R. (2018). Programming characteristics of cochlear implants in children: effects of aetiology and age at implantation. *International journal of audiology*, 57(sup2), S27-S40. <https://doi.org/10.1080/14992027.2017.1370139>
- Jones, G. L., Ho Won, J., Drennan, W. R., & Rubinstein, J. T. (2013). Relationship between channel interaction and spectral-ripple discrimination in cochlear implant users. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 133(1), 425-433.
- Kang, R., Nimmons, G. L., Drennan, W., Longnion, J., Ruffin, C., Nie, K., Won, J. H., Worman, T., Yueh, B., & Rubinstein, J. (2009). Development and validation of the University of Washington Clinical Assessment of Music Perception test. *Ear and hearing*, 30(4), 411.
- Kileny, P. R., Kemink, J. L., Zimmerman-Phillips, S., & Schmaltz, S. P. (1991). Effects of preoperative electrical stimulability and historical factors on performance with multichannel cochlear implant. *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology*, 100(7), 563-568. <https://doi.org/10.1177/000348949110000708>
- Kong, Y.-Y., Cruz, R., Jones, J. A., & Zeng, F.-G. (2004). Music perception with temporal cues in acoustic and electric hearing. *Ear and hearing*, 25(2), 173-185.
- Kosaner, J., Spitzer, P., Bayguzina, S., Gultekin, M., & Behar, L. A. (2018). Comparing eSRT and eCAP measurements in pediatric MED-EL cochlear implant users. *Cochlear Implants Int*, 19(3), 153-161. <https://doi.org/10.1080/14670100.2017.1416759>
- Kral, A., Dorman, M. F., & Wilson, B. S. (2019). Neuronal development of hearing and language: cochlear implants and critical periods. *Annu. Rev. Neurosci*, 42(47), e65.
- Kral, A., & Sharma, A. (2012). Developmental neuroplasticity after cochlear implantation. *Trends in neurosciences*, 35(2), 111-122.
- Kumar, P., Sanju, H. K., & Nikhil, J. (2016). Temporal Resolution and Active Auditory Discrimination Skill in Vocal Musicians. *Int Arch Otorhinolaryngol*, 20(4), 310-314. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1570312>
- Lawler, M., Yu, J., & Aronoff, J. (2017). Comparison of the spectral-temporally modulated ripple test with the Arizona Biomedical Institute Sentence Test in cochlear implant users. *Ear and hearing*, 38(6), 760.
- Leal, M. C., Shin, Y. J., Laborde, M.-l., Calmels, M.-n., Verges, S., Lugardon, S., Andrieu, S., Deguine, O., & Fraysse, B. (2003). Music perception in adult cochlear implant recipients. *Acta oto-laryngologica*, 123(7), 826-835.
- Loizou, P. C., Poroy, O., & Dorman, M. (2000). The effect of parametric variations of cochlear implant processors on speech understanding. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 108(2), 790-802.
- Looi, V., Winter, P., Anderson, I., & Sucher, C. (2011). A music quality rating test battery for cochlear implant users to compare the FSP and HDCIS strategies for music

- appreciation. *Int J Audiol*, 50(8), 503-518. <https://doi.org/10.3109/14992027.2011.562246>
- Lorens, A., Zgoda, M., Obrycka, A., & Skarżynski, H. (2010). Fine structure processing improves speech perception as well as objective and subjective benefits in pediatric MED-EL COMBI 40+ users. *International journal of pediatric otorhinolaryngology*, 74(12), 1372-1378.
- Lorenzi, C., Gilbert, G., Carn, H., Garnier, S., & Moore, B. C. (2006). Speech perception problems of the hearing impaired reflect inability to use temporal fine structure. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(49), 18866-18869.
- Magnusson, L. (2011). Comparison of the fine structure processing (FSP) strategy and the CIS strategy used in the MED-EL cochlear implant system: speech intelligibility and music sound quality. *International journal of audiology*, 50(4), 279-287.
- McDermott, H. J. (2004). Music perception with cochlear implants: a review. *Trends in amplification*, 8(2), 49-82.
- McDermott, J. H., & Oxenham, A. J. (2008). Music perception, pitch, and the auditory system. *Current opinion in neurobiology*, 18(4), 452-463.
- Mittal, R., Ramesh, A., Panwar, S., Nilkanthan, A., Sinha, V., Nair, S., & Raj, P. (2015). Mapping of pediatric cochlear implant recipients using electrical auditory brainstem responses as a tool. *Indian Journal of Otology*, 21(1), 14.
- Moore, B. C. (2022). Listening to music through hearing aids: Potential lessons for cochlear implants. *Trends in Hearing*, 26, 23312165211072969.
- Muluk, N. B., Yalçınkaya, F., & Keith, R. W. (2011). Random gap detection test and random gap detection test-expanded: Results in children with previous language delay in early childhood. *Auris Nasus Larynx*, 38(1), 6-13.
- Müller, J., Brill, S., Hagen, R., Moeltner, A., Brockmeier, S.-J., Stark, T., Helbig, S., Maurer, J., Zahnert, T., & Zierhofer, C. (2012). Clinical trial results with the MED-EL fine structure processing coding strategy in experienced cochlear implant users. *ORL*, 74(4), 185-198.
- Nelson, D. A., Van Tasell, D. J., Schroder, A. C., Soli, S., & Levine, S. (1995). Electrode ranking of "place pitch" and speech recognition in electrical hearing. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 98(4), 1987-1999.
- Nimmons, G. L., Kang, R. S., Drennan, W. R., Longnion, J., Ruffin, C., Worman, T., Yueh, B., & Rubinstein, J. T. (2008). Clinical assessment of music perception in cochlear implant listeners. *Otology & neurotology*, 29(2), 149-155.
- Nunes-Silva, M., & Haase, V. G. (2012). Montreal Battery of Evaluation of Amusia: Validity evidence and norms for adolescents in Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil. *Dement Neuropsychol*, 6(4), 244-252. <https://doi.org/10.1590/s1980-57642012dn06040008>
- Opie, J., Allum, J., & Probst, R. (1997). Evaluation of electrically elicited stapedius reflex threshold measured through three different cochlear implant systems. *The American journal of otology*, 18(6 Suppl), S107-108.
- Padilla Romero, M. (2004). Cochlear implant in postlingual adults with progressive hearing loss. *Acta Otorrinolaringologica Espanola*, 55(10), 457-462.
- Paquette, S., Ahmed, G. D., Goffi-Gomez, M. V., Hoshino, A. C. H., Peretz, I., & Lehmann, A. (2018). Musical and vocal emotion perception for cochlear implants users. *Hear Res*, 370, 272-282. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2018.08.009>
- Patel, A. D. (2011). Why would musical training benefit the neural encoding of speech? The OPERA hypothesis. *Frontiers in psychology*, 2, 142.
- Patel, A. D. (2012). The OPERA hypothesis: assumptions and clarifications. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1252(1), 124-128.

- Patel, A. D., Xu, Y., & Wang, B. (2010). The role of F0 variation in the intelligibility of Mandarin sentences. *Speech Prosody 2010-Fifth International Conference*,
- Pérez-Rodríguez, M., Torres-Gómez, S. F., Conde-Pacheco, M. E., & Romero-Díaz, A. (2023). Electrically evoked stapedial reflex threshold and behavioral method usefulness in the cochlear implant programming in pediatric population. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, *166*, 111473. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2023.111473>
- Pérez-Rodríguez, M. Á., Torres-Gómez, S. F., Conde-Pacheco, M. E., & Romero-Díaz, A. (2023). Electrically evoked stapedial reflex threshold and behavioral method usefulness in the cochlear implant programming in pediatric population. *International journal of pediatric otorhinolaryngology*, 111473.
- Phillips, D. P. (2002). Central auditory system and central auditory processing disorders: some conceptual issues. *Seminars in Hearing*,
- Pike, M., Biagio-de Jager, L., le Roux, T., & Hofmeyr, L. M. (2020). Short-Term Test-Retest Reliability of Electrically Evoked Cortical Auditory Potentials in Adult Cochlear Implant Recipients. *Front Neurol*, *11*, 305. <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.00305>
- Potts, L. G., Skinner, M. W., Gotter, B. D., Strube, M. J., & Brenner, C. A. (2007). Relation between neural response telemetry thresholds, T-and C-levels, and loudness judgments in 12 adult nucleus 24 cochlear implant recipients. *Ear and hearing*, *28*(4), 495-511.
- Riss, D., Hamzavi, J.-S., Blineder, M., Honeder, C., Ehrenreich, I., Kaider, A., Baumgartner, W.-D., Gstoettner, W., & Arnoldner, C. (2014). FS4, FS4-p, and FSP: a 4-month crossover study of 3 fine structure sound-coding strategies. *Ear and hearing*, *35*(6), e272-e281.
- Roberts, K. L., & Allen, H. A. (2016). Perception and cognition in the ageing brain: a brief review of the short-and long-term links between perceptual and cognitive decline. *Frontiers in aging neuroscience*, *8*, 39.
- Rönnerberg, J., Lunner, T., Zekveld, A., Sörqvist, P., Danielsson, H., Lyxell, B., Dahlström, Ö., Signoret, C., Stenfelt, S., & Pichora-Fuller, M. K. (2013). The Ease of Language Understanding (ELU) model: theoretical, empirical, and clinical advances. *Frontiers in systems neuroscience*, *7*, 31.
- Rubinstein, J. T. (2004). How cochlear implants encode speech. *Current opinion in otolaryngology & head and neck surgery*, *12*(5), 444-448.
- Ruckenstein, M. J. (2020). *Cochlear implants and other implantable hearing devices*. Plural Publishing.
- Sagi, E., Kaiser, A. R., Meyer, T. A., & Svirsky, M. A. (2009). The effect of temporal gap identification on speech perception by users of cochlear implants.
- Sainz, M., de la Torre, A., Roldán, C., Ruiz, J. M., & Vargas, J. L. (2003). Analysis of programming maps and its application for balancing multichannel cochlear implants: Análisis de los mapas de programación y su aplicación para el balance de implantes cocleares multicanal. *International journal of audiology*, *42*(1), 43-51.
- Schulz, E. (1994). Music perception with the MED-EL implants. *Advanced in cochlear implants*, 326-332.
- Shannon, R. V. (1989). Detection of gaps in sinusoids and pulse trains by patients with cochlear implants. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *85*(6), 2587-2592.
- Shannon, R. V. (2005). Speech and music have different requirements for spectral resolution. *International Review of Neurobiology*, *70*, 121-134.
- Sinex, D. G. (2005). Spectral processing and sound source determination. *Int Rev Neurobiol*, *70*, 371-398. [https://doi.org/10.1016/s0074-7742\(05\)70011-8](https://doi.org/10.1016/s0074-7742(05)70011-8)
- Song, J. H., Skoe, E., Banai, K., & Kraus, N. (2011). Perception of speech in noise: neural correlates. *Journal of cognitive neuroscience*, *23*(9), 2268-2279.

- Spehar, B., Goebel, S., & Tye-Murray, N. (2015). Effects of context type on lipreading and listening performance and implications for sentence processing. *Journal of speech, language, and hearing research*, 58(3), 1093-1102.
- Spitzer, J. B., Mancuso, D., & Cheng, M. Y. (2008). Development of a clinical test of musical perception: appreciation of music in cochlear implantees (AMICI). *J Am Acad Audiol*, 19(1), 56-81. <https://doi.org/10.3766/jaaa.19.1.6>
- Spivak, L. G., & Chute, P. M. (1994). The relationship between electrical acoustic reflex thresholds and behavioral comfort levels in children and adult cochlear implant patients. *Ear Hear*, 15(2), 184-192. <https://doi.org/10.1097/00003446-199404000-00008>
- Stenfelt, S., & Rönnerberg, J. (2009). The Signal-Cognition interface: Interactions between degraded auditory signals and cognitive processes. *Scandinavian journal of psychology*, 50(5), 385-393.
- Sun, Y.-S., Wu, C.-M., & Liu, T.-C. (2004). Mandarin speech perception in nucleus CI 24 implantees using MAPs based on neural response telemetry. *ORL*, 66(5), 255-261.
- Supin, A. Y., Popov, V. V., Milekhina, O. N., & Tarakanov, M. B. (1997). Frequency-temporal resolution of hearing measured by rippled noise. *Hearing research*, 108(1-2), 17-27.
- Throckmorton, C. S., & Collins, L. M. (2001). A comparison of two loudness balancing tasks in cochlear implant subjects using bipolar stimulation. *Ear and hearing*, 22(5), 439-448.
- Truy, E., Gallego, S., Chanal, J. M., Collet, L., & Morgon, A. (1998). Correlation between electrical auditory brainstem response and perceptual thresholds in Digisonic cochlear implant users. *The Laryngoscope*, 108(4), 554-559.
- Van Eeckhoutte, M., Folkeard, P., Glista, D., & Scollie, S. (2020). Speech recognition, loudness, and preference with extended bandwidth hearing aids for adult hearing aid users. *Int J Audiol*, 59(10), 780-791. <https://doi.org/10.1080/14992027.2020.1750718>
- Welling, D. R., & Ukstins, C. A. (2017). *Fundamentals of audiology for the speech-language pathologist*. Jones & Bartlett Learning.
- Winn, M. B., Won, J. H., & Moon, I. J. (2016). Assessment of Spectral and Temporal Resolution in Cochlear Implant Users Using Psychoacoustic Discrimination and Speech Cue Categorization. *Ear Hear*, 37(6), e377-e390. <https://doi.org/10.1097/aud.0000000000000328>
- Wolfe, J. (2018). *Cochlear implants: audiologic management and considerations for implantable hearing devices*. Plural Publishing.
- Wolfe, J., Morais, M., & Schafer, E. (2016). Speech recognition of bimodal cochlear implant recipients using a wireless audio streaming accessory for the telephone. *Otology & neurotology*, 37(2), e20-e25.
- Wolfe, J., & Schafer, E. (2014). *Programming cochlear implants*. Plural publishing.
- Won, J. H., Drennan, W. R., Kang, R. S., & Rubinstein, J. T. (2010). Psychoacoustic abilities associated with music perception in cochlear implant users. *Ear and hearing*, 31(6), 796.
- Won, J. H., Drennan, W. R., & Rubinstein, J. T. (2007). Spectral-ripple resolution correlates with speech reception in noise in cochlear implant users. *Journal of the Association for Research in Otolaryngology*, 8(3), 384-392.
- Yost, W. A., & Fay, R. R. (2012). Auditory Perception. In *Human psychophysics* (Vol. 3). Springer Science & Business Media.
- Yüksel, M., Atılgan, A., & Çıprut, A. (2020). Music listening habits and music perception abilities of prelingually deafened adolescent cochlear implant recipients. *Journal of the American Academy of Audiology*, 31(10), 740-745.

- Yüksel, M., & Çiprut, A. (2024). Reduced Channel Interaction Improves Timbre Recognition Under Vocoder Simulation of Cochlear Implant Processing. *Otol Neurotol*, 45(4), e297-e306. <https://doi.org/10.1097/mao.0000000000004151>
- Yüksel, M., Meredith, M. A., & Rubinstein, J. T. (2019). Effects of low frequency residual hearing on music perception and psychoacoustic abilities in pediatric cochlear implant recipients. *Frontiers in Neuroscience*, 13, 924.
- Zaltz, Y., Buganim, Y., Zechoval, D., Kishon-Rabin, L., & Perez, R. (2020). Listening in Noise Remains a Significant Challenge for Cochlear Implant Users: Evidence from Early Deafened and Those with Progressive Hearing Loss Compared to Peers with Normal Hearing. *Journal of Clinical Medicine*, 9(5), 1381. <https://doi.org/10.3390/jcm9051381>
- Zentner, M., & Strauss, H. (2017). Assessing musical ability quickly and objectively: development and validation of the Short-PROMS and the Mini-PROMS. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1400(1), 33-45.
- Zokoll, M. A., Fidan, D., Türkyılmaz, D., Hochmuth, S., Ergenç, İ., Sennaroğlu, G., & Kollmeier, B. (2015). Development and evaluation of the Turkish matrix sentence test. *International journal of audiology*, 54(sup2), 51-61.

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

KOKLEAR İMPLANT KULLANICILARINDA SES YÜKSEKLİĞİ DENGELEME YÖNTEMİNİN ETKİNLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

ORJİNALLİK RAPORU

% 8	% 7	% 4	% 3
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	% 2
2	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Öğrenci Ödevi	% 2
3	discovery.researcher.life İnternet Kaynağı	% 1
4	dergipark.org.tr İnternet Kaynağı	<% 1
5	www.openaccess.hacettepe.edu.tr:8080 İnternet Kaynağı	<% 1
6	acikerisim.medipol.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
7	nbn-resolving.de İnternet Kaynağı	<% 1
8	openaccess.hacettepe.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1

Submitted to University of Melbourne

ETİK KURUL İZİN YAZISI

Uyarı: Canlı denekler üzerinde yapılan tüm araştırmalar için Etik Kurul Belgesi alınması zorunludur.

- Etik Kurul izni gerekmektedir.**
- Etik Kurul izni gerekmemektedir.**

Burcu Deniz



KURUM İZİNİ YAZILARI

Uyarı: Canlı ve cansız deneklerle yapılan tüm çalışmalar için kurum izin belgelerinin eklenmesi zorunludur. Gizlilik ve mahremiyet içeren durumlarda kurum adı kapatılmalıdır.

- Kurum izni gerekmektedir.
- Kurum izni gerekmemektedir.

Burcu Deniz

