



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KOKLEAR İMPLANT KULLANICILARINDA SPEKTRAL VE
TEMPORAL İŞİTSEL İŞLEMLEME İLE MÜZİK ALGISI
ARASINDAKİ İLİŞKİ**

MUSTAFA YÜKSEL
DOKTORA TEZİ

KULAK BURUN BOĞAZ ANABİLİM DALI
ODYOLOJİ VE KONUŞMA BOZUKLUKLARI DOKTORA PROGRAMI

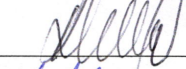
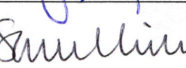
DANIŞMAN
Doç. Dr. AYÇA ÇİPRUT

2019-İSTANBUL

TEZ ONAY FORMU

Kurum : Marmara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü
Program türü : Doktora
Anabilim Dalı : KBB Anabilim Dalı Odyoloji ve Konuşma Bozukları Programı
Tez Sahibi : Mustafa Yüksel
Sınav Tarihi ve Saati : 25/10/2019 10:00
Tez Başlığı : Koklear İmplant Kullanıcılarında Spektral ve Temporal İşitsel İşleme İle Müzik Algısı Arasındaki İlişki

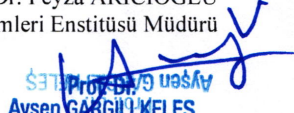
Bu çalışma, içerik ve kalite bakımından Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvan, Adı-Soyadı (Kurum adı)	İmza
Danışman	Doç. Dr. Ayça Çiprut (Marmara Üniversitesi)	
Üye	Doç. Dr. Ali Cemal Yumuşakhuyulu (Marmara Üniversitesi)	
Üye	Doç. Dr. Ufuk Derinsu (Marmara Üniversitesi – Emekli Öğretim Üyesi)	
Üye	Doç. Dr. Suna Yılmaz (Ankara Üniversitesi)	
Üye	Doç. Dr. Sezer Külekçi (Aydın Üniversitesi)	

ONAY

Bu tez, yukarıda isimleri bulunan jüri üyeleri tarafından "Marmara Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği" nin ilgili maddeleri uyarınca kabul edilmiş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun30 Ekim 2019 tarih ve95 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Feyza ARICIOĞLU
Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürü

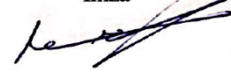

Prof. Dr. Feyza ARICIOĞLU
Aysen GARGILI KELES

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

Mustafa Yüksel

İmza



TEŞEKKÜRLER

Doktora eğitimim süresince ihtiyacım olan her zaman desteği ile yanımda olan, sadece bilimsel olarak değil insani olarak da gelişimime çok önemli katkıları olan, kliniğimizin sorumlusu ve yol göstericisi Sayın Doç. Dr. Ayça Çiprut’a,

Tecrübesi ve objektifliği ile sorunlara farklı açılardan bakmamı sağlayan, açık sözlülüğü ve kararlılığı ile örnek aldığım ve erken emekliliği ile gözlerimizi yollarda bırakan Sayın Doç. Dr. Ufuk Derinsu’ya,

Odyoloji kliniğimizdeki 4 yıllık maceramda güzel anları daha güzel, zor anları daha kolay kılan, her sohbeti tüm içtenliği ile zenginleştirebilen ve araştırmalarımda yoluma ışık tutan çok sevgili ağabeyim Dr. Ody. Atılım Atılğan’a

Her sabah ve akşam yolumu paylaştığım, varlığından bile haberdar olmadığım bakış açılarını hayatıma katan, dürüstlüğü ve adaletin en içten hali Dr. Ody. Sıdika Cesur’a,

Odyoloji kliniğini aşan dostluğu ile hayatımı her açıdan daha da güzelleştiren Uzm. Ody. Murat Erinç’e,

Beraber aldığımız derslerde hep planlanandan daha fazlasını öğrenmemi ve düşünmemi sağlayan dönem arkadaşlarım Uzm. Ody. Birgül Gümüş, Uzm. Ody. Nilüfer Bal ve Uzm. Ody. Bahtiyar Çelikkün’e,

Doktora eğitimimin ilk gününden son gününe kadar varlıkları ile yüzümü güldürmüş olan Dr. Ody. Başak Mutlu, Uzm. Ody. Seda Öztürk, Uzm. Ody. Merve Torun Topçu, Uzm. Ody. Cennet Reyhan Geçici, Uzm. Ody. Merve Bayrı ve Ody. Nezafet Öztürk’e

Dürüstlüğü, içtenliği, sıkı çalışmayı ve sevgiyi öğrettikleri için kıymetli annem ve babam Nevin & Gürbüz Yüksel’e,

Hayatıma bir güneş gibi doğan, baktığım her yeri aydınlatan ve her şeyin mümkün olduğuna inanmamı sağlayan çok sevgili eşim Gülşah Yüksel’e en içten ve sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mustafa Yüksel

Bu tez, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) 2214/A Yurt Dışı Doktora Sırası Araştırma Bursu ile 1059B141700663 başvuru numarası ile desteklenmiştir.



İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
TEŞEKKÜRLER	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	x
1. ÖZET	1
2. ABSTRACT	2
3. GİRİŞ VE AMAÇ	3
4. GENEL BİLGİLER	5
4.1. Koklear İmplant	5
4.1.1. Koklear implant teknolojisi	5
4.1.2. Koklear implant fizyolojisi	7
4.1.3. Koklear implant kullanımı ve sonrası	10
4.2. Koklear İmplant ve Psikoakustik Beceriler	11
4.2.1. Spektral işitsel işleme	11
4.2.2. Temporal işitsel işleme	14
4.3. Koklear İmplant ve Müzik Algısı	16
4.3.1. Ritim algısı	19
4.3.2. Perde algısı	20
4.3.3. Melodi algısı	24
4.3.4. Tını algısı	26
4.3.5. KI Kullanıcıların müzik algısı üzerinde etkisi olan değişkenler	30
5. GEREÇ VE YÖNTEM	32
5.1. Katılımcılar	32

5.2. Spektral Dalga Ayırt Etme Testi.....	34
5.3. Temporal Modülasyon Transfer Fonksiyonu	34
5.4. Müzik Algılama Becerisinin Klinik Olarak Değerlendirilmesi.....	35
5.5. İstatistiksel Yöntem.....	38
6. BULGULAR.....	40
6.1. TR-CAMP Ön Çalışması.....	40
6.2. KI Gruplarının Müzik ve Psikoakustik Algılama Becerileri	41
6.3. Korelasyon Analizi.....	44
6.4. Regresyon Analizi	44
7. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	49
7.1. TR-CAMP Bulguları	49
7.2. Etiyolojik Etkiler.....	51
7.3. Spektral ve Temporal Becerilerin Müzik Algılama Becerisi Üzerindeki Etkisi	53
7.4. Sonuç	55
8. KAYNAKLAR	57
9. EKLER	75
9.1. Ek-1. Etik Kurul Onayı.....	75
9.2. Ek-2. Bilgilendirme Formu.....	76
9.3. Ek-3. Gönüllü Onay Formu	77
9.4. Ek-4. Tez Çalışması Kapsamında Üretilen Makale ve Bildiriler	78
10. ÖZGEÇMİŞ	99

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

KISALTMALAR

ACE: Advanced combination encoder

CAMP: University of Washington Clinical Assessment of Music Perception for Cochlear Implants

dB: Desibel

GTTM: Generative theory of tonal music

Hz: Hertz

İNSB: İşitsel nöropati spektrum bozukluğu

Kİ: Koklear İmplant

N: Örneklem Sayısı

p: Anlamlılık değeri

r: Korelasyon

RPO: Ripple per octave

SPSS: Statistical Package for Social Sciences

SS: Standart Sapma

UW: University of Washington

Ve ark.: Ve arkadaşları

VŞA: Varyans şişirme faktörü

YT: Yarım ton

PEL: Prelingual

POL: Postlingual

PYA: Perde yönü ayırt etme

SDA: Spektral dalga ayırt etme

TMTF: Temporal modülasyon transfer fonksiyonu

SİMGELER

t : zaman

$f(t)$: Geniş bant Gaussian gürültü taşıyıcı

m_i : Modülasyon indeksi

f_m : Modülasyon frekansı

$\pm$: Artı-eksi işareti

%: Yüzde

$<$: Küçüktür işareti

$>$: Büyüktür işareti



TABLO LİSTESİ

Tablo 1: Melodi tanıma testindeki şarkılar ve akustik özellikleri.....	37
Tablo 2: TR-CAMP bulguları.....	40
Tablo 3: Farklı KI gruplarının demografik özellikleri ve müzik algılama ve psikoakustik becerileri.....	42
Tablo 4: Çoklu gruplarda Games-Howell post-hoc analiz sonuçları.	43
Tablo 5: Çalışma değişkenleri ve Pearson korelasyon katsayıları.	46
Tablo 6: Çoklu doğrusal regresyon analiz sonuçları.	48



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1: KI grubunun yüzde cinsinden enstrüman tanıma skorları	41
Şekil 2: KI grubunun yüzde cinsinden melodi tanıma skorları.....	41
Şekil 3: Melodi tanıma testi skorları ve standart sapma aralıkları.....	44
Şekil 4A-F: Değişkenlerin regresyon grafikleri ve regresyon eğrilerinin %95 güven aralıkları	47



1. ÖZET

Koklear implant kullanıcılarında spektral ve temporal işitsel işleme ile müzik algısı arasındaki ilişki

Öğrencinin Adı: Mustafa Yüksel

Danışmanı: Doç. Dr. Ayça Çiprut

Anabilim Dalı: KBB Anabilim Dalı, Odyoloji ve Konuşma Bozuklukları Programı

Amaç: Koklear implant (Kİ) ileri ve/veya çok ileri derecede işitme kaybı olan bireylerde işitsel hassasiyetin geri kazanılmasında büyük başarı sağlamaktadır. Ancak müzik gibi kompleks uyaranların anlaşılmasında ciddi kısıtlılıklar yaşanmaktadır. Çalışmamızda Kİ kullanıcılarının müzik algısında gözlenen düşük performansın altında yatan psikoakustik engellerin ve kullanıcılara bağlı etiyolojik değişkenlerin belirlenmesi ve etkilerinin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

Gereç ve Yöntem: Çalışmamızda 55 Kİ kullanıcısı ve 15 normal işiten birey değerlendirilmiştir. Clinical Assessment of Music Perception (CAMP) testi yapılan ön çalışma ile kültürümüze adapte edilmiş ve 15 normal işiten birey kontrol grubu olarak kullanılmıştır. Ardından 55 Kİ kullanıcısı CAMP, spektral dalga ayırt etme (SDA) ve temporal modülasyon transfer fonksiyonu (TMTF) testleri ile değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

Bulgular: Kİ kullanıcıları CAMP testinin alt testleri olan perde algılama testinde ortalama 3,82 yarım ton, melodi tanıma testinde %17,06 ve tını tanıma testinde %31,27 oranında performans gösterirken normal işiten bireyler aynı testlerden sırasıyla 1,06 yarım ton, %87,50 ve %86,15 performans göstermiştir. Farklı Kİ grupları karşılaştırıldığında ise işitmesini zamanla kaybeden progresif işitme kayıplı bireylerin diğer gruplara göre daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. Korelasyon ve regresyon analizleri ile perde algısının spektral ve temporal çözünürlüğe, melodi algısının perde algısı ve spektral çözünürlüğe, tını algısının ise temporal hassas bilgi ve spektral çözünürlüğe önemli derecede bağlı olduğu görülmüştür.

Sonuçlar: Müzik algısı birçok değişkenin bir araya geldiği ve etki gösterdiği kompleks bir beceridir ve hem Kİ teknolojisi hem de Kİ kullanıcılarına bağlı engeller nedeniyle kısıtlı bir gelişim gösterebilmektedir.

Anahtar Sözcükler: koklear implant, müzik algısı, spektral çözünürlük, temporal çözünürlük, psikoakustik

2. ABSTRACT

Relationship between spectral and temporal auditory perception and music perception in cochlear implant recipients

Aim: Cochlear implant (CI) is a highly successful in restoring hearing sensitivity of patients with severe or/and profound hearing loss, yet it is still very limited in terms of complex abilities such as music perception. Our aim is to evaluate the psychoacoustic abilities associated with poor music perception in CI users and also evaluate the effects of subject-related variables on the music perception abilities.

Methods: 55 CI users and 15 normal hearing subjects participated in our study. The Clinical Assessment of Music Perception (CAMP) test was adapted for Turkish culture in a preliminary study and 15 normal hearing subjects served as a control group in this study. Preliminary study followed by the assessment of 55 CI users using the CAMP, spectral ripple discrimination (SRD) and temporal modulation transfer function (TMTF) tests and statistical testing.

Findings: CI users scored 3,82 semitones, 17,06%, and 31,27%, respectively in the pitch direction discrimination, melody recognition and timbre recognition sub tests of CAMP test. Normal hearing subjects scored 1,06 semitones, 87,50%, and 86,15% in the same tests, respectively. Progressively deafened subjects performed superior compared to subjects with different etiologies in melody recognition test. Correlation and regression analysis showed that spectral resolution have a statistically significant effect on both pitch, melody and timbre sub tests scores and melody recognition is highly affected by pitch perception. Also temporal resolution have a statistically significant effect on the pitch perception and timbre recognition.

Conclusion: Music perception is a complex ability with contributions from both psychoacoustic abilities and hearing loss etiologies. Prior music experience to CI use and early intervention can be beneficial for music perception, however CI technology is still limited in spectral and temporal encoding of acoustic signals and this limitation are prevent CI users from better music perception.

3. GİRİŞ VE AMAÇ

Sensör nöro-implantlar arasında en eski ve şüphesiz en başarılı olanı koklear implantlardır. Koklear implant (KI) sensör işitme kaybı olan kişilerde kokleanın yerine geçerek elektriksel uyarım ile işitme hassasiyetinin geri kazanılmasını sağlar. Erken dönemlerinde sadece çevresel seslerin farkına varılmasını sağlayabilen KI, günümüzde açık uçlu kelime testlerinde %80'i aşabilen bir konuşma anlaşılabilirliği sağlayabilmektedir. Dünya genelinde 2017 yılında 324000'i bulan KI kullanıcısı sayısı günümüzde her zamankinden daha hızlı bir şekilde artmaya devam etmektedir. KI'lar kişileri sosyal izolasyondan ve iletişim zorluklarından kurtarmakta, meslek edinme veya eğitim konusunda önemli imkanlar sağlamaktadır. Ancak tüm bu gelişmelere rağmen, KI kullanıcılarının büyük bir çoğunluğu belki de konuşma seslerinden sonra en önemli sesler olan müzikal sesleri doğru bir şekilde algılamakta zorlanmaktadır. Müzik özellikle erken yaşlarda insan hayatında büyük bir önem taşımaktadır. Ergenlik döneminde “karakterin göstergesi” olarak algılanmakta (Hargreaves, 1999), kapalı mekan aktivitelerine tercih edilmekte, dış dünyanın algılanmasında önem taşımakta ve duygusal ihtiyaçları karşılamaktadır (North ve ark., 2000). İşitme kaybının ruh sağlığı üzerindeki olumsuz etkisi göz önüne alındığında (Li ve ark., 2014; Tambs, 2004) müzik algısının önemi daha da belirginleşmektedir. KI'ların işitsel beceriler kazandırabildiği ancak kullanıcıların hala öz saygılarında sorunlar yaşadıkları bilinmektedir (Kobosko ve ark., 2018).

KI kullanıcılarında müzik algısının neden istenilen seviyeye ulaşamadığı ile ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Tıpkı konuşma gibi, müzik içerisinde de hem uyarının frekansına bağlı yani spektral, hem de uyarının zamanına bağlı yani temporal bilgiler bulunmaktadır. Söz konusu spektral ve temporal bilgiler çok geniş bir frekans aralığında, zengin bir içerik ile ve çoğu zaman çok hızlı ve kompleks bir şekilde iletilmektedir. KI kullanıcılarında da spektro-temporal bilgilerin zayıflığının müzik algılama becerileri üzerinde etkisi olduğuna yönelik bulgular literatürde görülebilir (Gfeller ve ark., 2007; Gfeller, Witt, ve ark., 2002; Nimmons ve ark., 2008; Won, Drennan, ve ark., 2011a). Kalıntı akustik işitmesi bulunan KI kullanıcılarının sergilediği üstün müzik algılama becerileri, genişlemiş bir frekans algısı ve daha doğru bir zamansal kodlama ile müzik algısının da iyileşeceğini doğrulamaktadır (Gantz ve Turner, 2004; Gantz ve ark., 2006; Roland Jr ve ark., 2016). Ancak KI teknolojisi henüz bu bilgileri istenilen zenginlikte, detayda ve hızda iletmeye uygun değildir. KI üreticilerinin daha gelişmiş ses işleme stratejileri ve donanımları geliştirebilmeleri için,

yapılacak çalışmalar ile zayıf ve eksik ynlerin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Çalışmamız bu kabul üzerine kurgulanmış ve farklı etiyolojilere sahip geniş bir KI kullanıcısı örneklemini kullanarak müzik algısı üzerinde etkisi olan değişkenlerin incelenmesi hedeflenmiştir. Bu değişkenler hem spektral ve temporal işitsel işlemeleme açısından psikoakustik bir yaklaşım ile, hem de işitme kaybının etiyolojisi açısından klinik bir yaklaşım ile incelenecektir. Bu doğrultuda müziğin perde, melodi ve tını algısı gibi farklı yönleri üzerinde etkisi olabilecek değişkenlerin belirlenmesi ve gelecek çalışmalar ve araştırma-geliştirme projeleri ile atılacak adımlara yönelik önerilerde bulunulması planlanmaktadır. Aynı zamanda, lkemizde KI kullanıcıları gibi klinik grupların müzik algılama becerilerini değerlendiren bir araç eksikliği de fark edilmektedir. Yurtdışında özellikle de İngilizce konuşan ülkeler için birçok farklı klinik müzik becerisi değerlendirme aracı bulunmaktadır. Çalışmamız aracılığıyla University of Washington Clinical Assessment of Music Perception (UW-CAMP) testinin de ülkemizde kullanılabilmesine yönelik bir n çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu n çalışmanın bulguları da sunulacak ve ilerleyen dönemde bu alanda yapılacak Türkçe alışmalar için de bir temel oluşturulması hedeflenmiştir.

4. GENEL BİLGİLER

4.1. Koklear İmplant

Koklear implant (KI) teknolojisinin temeli neredeyse 200 yıl öncesinde Alessandro Volta'nın işitme sistemini elektriksel olarak uyardığı deneyine dayanmakla birlikte (Volta, 1800), KI ticari bir ürün olarak geliştirildiği 1972 yılından beri hem teknolojik hem de cerrahi açıdan büyük bir atılım göstermiş ve KI dünyanın en başarılı ve en yaygın olarak kullanılan sensör implantı olmuştur (Roche ve Hansen, 2015). İleri ve/veya çok ileri derecede işitme kaybı olan ve geleneksel işitme cihazlarından fayda göremeyen bireyler implantasyon sonrasında elektriksel uyarım ile normale yakın bir işitme hassasiyetine sahip olabilmektedirler (Clark, 2008). KI ile birlikte çevresel seslere yönelik farkındalık (Reed ve Delhorne, 2005) ve sessiz ortamda konuşmanın anlaşılabilirliği ciddi derecede iyileşmektedir (Gifford ve ark., 2008). Frekans seçiciliği (Turgeon ve ark., 2015), sesin zamansal olarak algılanabilmesi (Gaudrain ve ark., 2016) ve müzik algılama becerileri (Gfeller ve Lansing, 1992) belirli bir dereceye kadar iyileşme birlikte; sesin kaynağı / yönünü tespit etmeye yönelik beceriler ise oldukça kısıtlı kalmaktadır (Dorman ve ark., 2016). Genel anlamda psikoakustik beceriler söz konusu olduğunda KI kullanıcılarının çok büyük bir çoğunluğu normal işiten bir birey ile aynı işitsel performansı sergileyememektedir. Bu performans kısıtlılığının en belirgin ve etki gösteren sonuçları ise gürültülü ortamlarda konuşmanın isabetli bir şekilde anlaşılabilmesi (Armstrong ve ark., 1997; Hochberg ve ark., 1992; van Hoesel ve Tyler, 2003) ve kısıtlı müzik algılama becerileri nedeniyle müzikten yeterince keyif alınamamasıdır (Drennan ve ark., 2015b; Gfeller ve ark., 2000; Migirov ve ark., 2009). Bu engeller neticesinde de kişilerin yaşam kalitesi düşmekte (Dritsakis ve ark., 2017; Lassaletta ve ark., 2007) ve kullanıcıların KI ile ilgili şikayetleri artış göstermektedir. Söz konusu performans kısıtlılıklarına birçok farkı açıdan yaklaşılmış ve aralarında ilişkiler incelenmiştir. Bu durum, teknolojik engeller, fizyolojik değişkenler ve KI kullanımına bağlı etmenlerin etkileşimi ile açıklanmaya çalışılmıştır.

4.1.1. Koklear implant teknolojisi

KI teknolojisi mikro elektronik ve sinyal işleme alanlarındaki gelişmeler ile beraber büyük bir hızla ilerlemekle birlikte, normal işlev gören bir kokleayı bire bir taklit etmekten henüz büyük ölçüde uzaktır. Mevcut KI'lar sesin toplanması ve işlenmesinden sorumlu dış parçalardan ve işlenen sesin koklea içerisinde elektriksel uyarım oluşturmalarını sağlayan iç

parçalardan oluşmaktadır. Dış kısımda mikrofonlar aracılığıyla çevresel seslerin toplanarak işlendiği bir ses işlemcisi bulunmaktadır. Ses işlemcisi kendisine iletilen sinyalleri elektriksel olarak dijitalize eder ve sıkıştırarak, filtreleyerek ve kodlayarak iç kısma iletmek üzere hazırlar. İç kısım ise ses işlemcisi tarafından elektriksel ortama aktarılır seslerin koklea içerisindeki elektrot dizisinde yer alan elektrotlara iletilmesini sağlayan bir iç işlemci ve koklea içerisinde elektriksel aktivitenin oluşmasını sağlayan bir elektrot dizisinden oluşmaktadır. Koklea içerisindeki elektrot dizilerinde 12 ile 22 arasında tekil elektrot yani temas noktası bulunmakta ve kokleanın tonotopik yapısı kullanılarak koklea sinir fiberlerinin belirli bölgelerde belirli frekans aralıklarında elektriksel olarak uyarılması ve aksiyon potansiyellerinin ortaya çıkması sağlanmaktadır. Bu uyarım esnasında çevresel sesler belirli bir frekans ve şiddet aralığında işlenerek tamamıyla elektriksel olarak iletilmektedir (Carlson ve ark., 2012). Söz konusu frekans ve şiddet aralıkları KI üreticisi firmalar, firmaların farklı nesil implantları ve farklı ses işleme stratejileri arasında değişiklik göstermekle birlikte KI'lar en fazla 70-8500 Hz frekans aralığında ve 30 - 60 dB şiddet aralığında işlem görebilmektedir (Zeng ve ark., 2002). Yaş gibi kişiye bağlı değişkenlerden etkilenmekle birlikte, sağlıklı ve genç bir yetişkininin 20-20000 Hz frekans aralığını yaklaşık 120 dB SPL seviyesinde bir şiddet hassasiyeti ile algılayabildiği göz önüne alındığı zaman, KI teknolojisinin kısıtlılığı daha iyi anlaşılabilmektedir. Frekans ve şiddet algılama aralığının dar olması KI kullanıcılarına ciddi bir engel yaratmakla birlikte, algılanabilen en düşük frekans ve şiddet aralığı da farklı bir açıdan engel yaratmaktadır. Normal işiten bir birey koklea ve işitme sinirinin “ince ayar” mekanizması sayesinde ortamdaki sesleri frekansına, şiddetine ve ölçüm yöntemine bağlı olmakla birlikte 2 Hz kadar yüksek bir hassasiyetle ayırt edebilmektedir (Meurmann, 1954). KI kullanıcılarında söz konusu ince ayar hassasiyeti sağlanamamakta ve kullanıcılar kısıtlı bir frekans ve şiddet hassasiyeti sergilemektedirler (Chatterjee ve Peng, 2008; Pflingst ve ark., 1983). Bu azalmış hassasiyetin altında ise KI ses işleme stratejileri yatmaktadır. Mevcut KI'lar Wilson ve ark. (1991) tarafından geliştirilen ve KI kullanıcılarının konuşmayı anlama becerilerini önemli derecede geliştiren continuous interleaved sampling (CIS) tabanlı işleme stratejilerini kullanmaktadırlar. CIS'in temel prensibi ortamdaki seslerin belirli frekans bantlarına filtrelenmesi ve filtreleme neticesinde elde edilen frekans bantlarının zamana bağlı zarf biçimleri korunarak koklea içerisindeki elektrotlara sabit bir atım hızında iletilmesidir (Macherey ve Carlyon, 2014). Bu yöntemde koklea içerisindeki elektrotlar sıralı bir şekilde uyarılmakta veya yine CIS temelli olan n-of-m stratejisinden üretilen Advanced Combination Encoder- ACE yönteminde olduğu gibi en yüksek enerjiye sahip belirli bir sayıda elektrot ile uyarılmaktadır (Kiefer ve ark., 2001) ve bu sıralı uyarım sayesinde elektrotlar arasındaki

istenmeyen etkileşimler engellenebilmektedir. Frekans algısı koklea içerisindeki elektrotların uyarım yaptıkları bölge ile, şiddet algısı ise frekans bantlarının içerisindeki enerji miktarına göre oluşturulan temporal zarfı ile elde edilmektedir. Sabit bir atım hızında iletilen temporal zarf ise yeterli temporal hassasiyet içermemektedir ve bu nedenle de KI kullanıcıları temporal hassasiyet gerektiren görevlerde zayıf performans sergilemektedirler (Fu, 2002; Shannon, 1992). Söz konusu zayıflık ise uyaranların temporal olarak temsiline büyük önem taşıdığı gürültülü ortamlarda konuşma anlaşılabilirliğinin de bozulmasına yol açmaktadır (Drullman, 1995; Nie ve ark., 2006). Bu bozulmanın temel nedeni fonetik seslerin içerisindeki farklı genlik modülasyonlarıdır. Konuşma sesi içerisinde farklı frekans bantlarında zamana bağlı olarak bir çok farklı genlik modülasyonu ortaya çıkar ve konuşmanın her türlü ortamda anlaşılabilmesi için söz konusu genlik modülasyonlarının doğru bir şekilde algılanması gereklidir (Koenig ve ark., 1946); 1-50 Hz aralığındaki düşük frekans dalgalanmalar ile prozodik ve segmental konuşma bileşenleri, 50-500 Hz aralığındaki orta frekans dalgalanmalar ile periyodik konuşma bileşenleri ve 500 Hz üzerindeki dalgalanmalar ile ise temporal ince yapı algılanmaktadır (Fu, 2002). Kısıtlı frekans algısı zayıf bir temporal işitsel işleme ile birleşince KI kullanıcıları gürültüde konuşmayı anlama veya müzikal beceriler gibi zorlu işitsel görevlerde düşük performans sergilemektedirler.

4.1.2. Koklear implant fizyolojisi

Temel olarak bakıldığında zaman KI koklear afferent liflerin belirli bir örüntü içerisinde elektriksel olarak uyarılmasını sağlar. Ancak fiberlerin ne derece uyarılacakları ve ortaya çıkan uyarımın ne derece sağlıklı bir işitsel algı oluşturacağı noktasında kişiye ve cerrahiye bağlı fizyolojik etkenler de devreye girmektedir.

Koklea içerisindeki kalıntı nöral elementlerin ve bu elementlerin ne derece sağlıklı olduğu KI başarısı üzerinde etkili olabilmektedir (Derinsu ve ark., 2019; Gomaa ve ark., 2003). Söz konusu kalıntı nöral elementlerin bütünlüğü ise cerrahi yöntemden etkilenebilmektedir. Koklea içerisinde cerrahiye bağlı olarak oluşan hasar son yıllarda birçok çalışmaya konu olmuş ve travma yaratmayan cerrahi yöntemler büyük bir popülerlik kazanmıştır (Richard ve ark., 2012). Koklea içi elektrot dizisinin kokleaya yuvarlak pencere aracılığı ile yerleştirildiği ve travmayı büyük ölçüde azaltan yuvarlak pencere yaklaşımının, kokleostomi yöntemine göre kalıntı elementleri koruma konusunda daha üstün olduğuna yönelik farklı çalışmalar bulunmaktadır (Adunka ve ark., 2004; Roland ve ark., 2007). Eshraghi ve ark. (2017) yuvarlak pencere yaklaşımının kalıntı işitmeyi koruduğunu, Skarzynski ve ark. (2007) ise çalışmaları ile alçak frekanslarda kalıntı işitmesi bulunan bireylerde, yuvarlak pencere cerrahisi sonrasında

işitmenin korunabildiğini göstermişlerdir. İki yöntem arasında anlamlı bir fark olmadığını iddia eden çalışmalar da olmakla birlikte (Cheng ve ark., 2018) yaygın görüş yuvarlak pencere yaklaşımının tercih edilmesi gerektiği yönündedir. Kalıntı elementlerin korunmasının  nemi, KI öncesinde de alçak frekanslarda kalıntı işitme kapasitesi bulunan KI kullanıcıları ile yapılan çalışmalarla ortaya koyulmuştur. Kalıntı işitme varlığının gürültüde konuşma algısını iyileştirdiği (Turner ve ark., 2004), yüksek frekanslarda dik düşüş gösteren odyograma sahip  ocuklarda KI başarısının yüksek olduğu (Meredith ve ark., 2017), alçak frekans kalıntı işitmenin KI adaylığının değerlendirilmesinde önemli bir kriter olduğu (Eisenberg ve ark., 2004) ve müzikal algılama becerileri üzerinde önemli bir etkisi olduğu gösterilmiştir (Parkinson ve ark., 2019; Yüksel ve ark., 2019). Bu kazançlar göz önüne alındığında, koklea içerisinde travma yaratmayan bir kalıntı nöral elementlerin korunmasını sağlayan cerrahi yaklaşımlar önem kazanmaktadır.

KI fizyolojisini etkileyen bir diğer önemli değişken de kişiye bağlı etmenlerdir. İşitme kaybının etiyolojisi, genetik faktörler, KI öncesindeki işitsel deneyim ve işitme kaybının gelişimi gibi değişkenlerin KI sonrasındaki kazançlar üzerinde etkisi olduğuna yönelik literatürde birçok bulgu mevcuttur (Beyea ve ark., 2016; Derinsu ve ark., 2019; Hilly ve ark., 2016; Shearer ve ark., 2017; Zohdi ve ark., 2014). Bu etkenler arasında işitme kaybının ortaya çıkış dönemi etkili olabilmektedir. Dil edinim dönemi öncesinde yani prelingual dönemde işitme kaybı tanılanan ve KI kullanmaya başlayan bireyler ile dil edinim dönemi sonrasında yani postlingual dönemde işitme kaybı tanılanan ve KI kullanmaya başlayan bireyler arasında bir çok işitsel görevde önemli farklar görülebilmektedir. Naito ve ark. (1997) prelingual ve postlingual KI kullanıcıları arasında işitsel uyarana karşı verilen yanıtlarda kortikal seviyede farklılık olduğunu gösterirken, Buckley ve Tobey (2011) kross-modal plastisitenin prelingual KI kullanıcılarında etkili olduğunu ancak postlingual KI kullanıcılarında etkili olmadığını belirtmiştir. Jung ve ark. (2012) prelingual KI kullanıcısı çocukların müzik algılama performansını postlingual KI kullanıcısı yetişkinler ile karşılaştırmış ve melodi ve tını algısında prelingual KI kullanıcısı çocukların çok daha düşük performans sergilediklerini göstermiştir. Prelingual dönemde işitme kaybı ortaya çıkan bebek ve çocuklarda en büyük etkenlerden birisi olarak implantasyon yaşı büyük bir önem taşımakta ve kritik dönem olan 3,5 yaşından önce implantasyon ile yaşa uygun işitsel becerilerin gelişebileceği belirtilmiştir (Sharma ve Dorman, 2006). Ancak benzer bir etki postlingual işitme kayıplı bireylerde gözlenmemektedir. Söz konusu grupta KI öncesindeki işitsel deneyim ve KI sonrasındaki kalıntı işitmenin etkisi olabileceği belirtilmiştir (Derinsu ve ark., 2019; Gomaa ve ark., 2003).

KI kullanıcıları arasında fark oluşmasına yol açan bir diğer önemli etken ise KI öncesindeki işitsel deneyimlere bağlı olarak nöral plastisite sayesinde meydana gelen gelişimdir. Bu nedenle işitme kaybının etiyolojisi ve ilerleyişi büyük önem taşımaktadır. Ani işitme kayıpları, progresif işitme kayıpları, genişlemiş vestibüler akuadukt veya semisirküler kanal dehisansı gibi koklear anomaliler veya işitme sinirini etkileyen patolojilerde işitme kaybının ortaya çıkışı ve ilerleyişi farklı olabilmektedir (Katz ve ark., 2002). Bu nedenle rehabilitasyon seçenekleri ve KI sonrasındaki ilerleyiş de farklı olabilir. Literatürde söz konusu işitme kaybı tiplerinin neredeyse tamamında, dikkatli bir seçim süreci sonrasında KI kazancı elde edilebildiği ile ilgili çalışmalar mevcuttur (Dagna ve ark., 2016; Graham ve ark., 2000; Gray ve ark., 2003). Ancak en büyük değişkenliği yaratabilecek durumlardan birisi işitsel nöropati spektrum bozukluğudur (İNSB). İNSB koklea içerisindeki dış tüy fonksiyonunun normal olduğu, ancak iç tüy hücre ve/veya işitme siniri fonksiyonunun bozularak işitme kaybına yol açtığı bir durumdur (Berlin ve ark., 2010). Erken doğum, hiperbilirubinemi, anoksi, hipoksi, konjenital beyin sorunları, ototoksik ilaç kullanımı ve genetik faktörler gibi nedenleri vardır (Manchaiah ve ark., 2011). İNSB kalıcı çocukluk dönemi işitme kayıplarının %2,4 – 15'ine neden olur (Roush ve ark., 2011) ve otoakustik emisyonların varlığı, anormal/olmayan işitsel beyinsapı yanıtları ve işitsel uyarılmış beyinsapı yanıtlarında görülen koklear mikrofoni dalgası biçimi ile tanılanır (Starr ve ark., 1996). Ancak otoakustik emisyonlar her vakada gözlenmeyebilir (Starr ve ark., 2001) ve/veya zamanla yok olabilir (Deltenre ve ark., 1999). Koklear içerisindeki iç tüy hücreler, iç tüy hücreler ve spiral ganglionlar arasındaki sinapslarda veya işitme siniri gibi işitsel yolun bir çok farklı yerinde patoloji gözlenebilir (Berlin ve ark., 2010). Davranışsal saf ses eşikleri normal işitme eşiklerinden çok ileri derecede işitme kaybına kadar bir çok seviyede elde edilebilir ve/veya eşiklerde dalgalanmalar olabilir. Konuşma algısı genellikle arka plan gürültüsü varlığında kötüleşebilir (Rance ve ark., 2007). İNSB'li bireylerde özellikle temporal işitsel işleme becerilerinin kötüleştiğine, ancak spektral becerilerin belirli bir dereceye kadar korunabildiğine yönelik bulgular mevcuttur (Vinay ve Moore, 2007; Zeng ve ark., 2005; Zeng ve ark., 1999). İNSB varlığında koklear implantasyon ilk dönemlerde şüphe ile yaklaşılır, ancak son yıllarda sıklıkla tercih edilen bir müdahale yöntemi olarak görülmüştür. İmplantasyon öncesinde düzenli ve sık takip ile uygun adayların belirlendiği durumlarda elde edilen kazancın beklenen seviyelere ulaşabileceği birçok çalışma ile gösterilmiştir (Breneman ve ark., 2012; Harrison ve ark., 2015; Teagle ve ark., 2010). Çalışmalar ile elde edilen bulgular sadece saf ses eşikleri veya konuşma algısı üzerine odaklanmış olmakla birlikte, İNSB'de implant bir çok klinisyen için tercih edilen bir seçenek olmuştur.

4.1.3. Koklear implant kullanımı ve sonrası

KI kazancına etkisi olan bir diğer değişken grubu da bilateral veya bimodal uyarım, rehabilitasyon tercihleri ve sosyo-demografik değişkenler gibi KI kullanımına ve sonrasındaki sürece bağlı etmenlerdir (Cosetti ve Waltzman, 2012).

İşitme sisteminin çift taraflı olarak uyarılmasının birçok açıdan faydası bulunmaktadır. Çift taraflı işitme sayesinde kulaklar arası zaman farkları ve kulaklar arası seviye farklarına yönelik ipuçları kullanılarak sesin yönünü tayin etme (Byrne ve Noble, 1998; Byrne ve ark., 1992) ve mekânsal ayrılık etkisi sayesinde gürültüde konuşmayı daha iyi anlamak mümkündür (Dawes ve ark., 2013; Kaplan ve Pickett, 1981; Sullivan, 1990). Öte yandan işitmeyen kulağın işitsel olarak uyarılarak işitsel yolların bir bütün olarak yoksunluktan korunması sağlanabilir (Moore, 1993; Silman ve ark., 1992). Çalışmamız kapsamında baktığımızda ise KI varlığında işitme sistemi karşı kulakta KI varlığında bilateral ve karşı kulakta işitme cihazı veya kalıntı akustik işitme olduğunda bimodal olarak çift taraflı uyarılabilmektedir. Çift taraflı uyarımın neredeyse her türlü durumda daha avantajlı olacağı hususunda belirgin bir fikir birliği bulunmakla birlikte (Brown ve Balkany, 2007), karşı kulakta kalıntı işitmenin varlığında işitme cihazının mı yoksa koklear implantın mı daha iyi bir seçenek olduğu ile ilgili literatürde fikir birliği bulunmamaktadır. Bimodal işitmenin en büyük avantajı akustik işitmenin sağladığı alçak frekans ince ayar temporal bilgi ile elektrik işitmenin sağladığı yüksek frekans spektral bilginin bir arada kullanılarak kulaklar arası zaman farklarının daha doğru algılanabilmesidir (van Hoesel ve ark., 2008). Ancak buradaki ön şart karşı kulakta “kullanılabilir” bir akustik işitmenin olmasıdır. Kullanılabilir akustik işitmenin tam olarak ne olduğu ile ilgili belirli bir bilgi bulunmamakla birlikte, klinisyenlerin detaylı bir takip sonrasında ikinci kulak implantasyonu için karar almasında fayda vardır (Gifford ve Dorman, 2019). Öte yandan Ching ve ark. (2004) bimodal faydanın sağlanabilmesi için işitme cihazının, KI’ya ile birlikte dikkatli bir şekilde ayarlanması gerektiğini belirtmiş, diğer çalışmalar da bimodal faydanın işitme kaybının miktarına, KI öncesi akustik deneyime ve KI’dan elde edilen faydaya bağlı olduğunu göstermiştir (Dorman ve ark., 2015; Illg ve ark., 2014; Looi ve Radford, 2011). Bir diğer önemli öneri de ikinci kulak implantasyonuna karar verirken saf ses eşikleri veya sessiz ortamda yapılan konuşma testleri ile karar verilememesi gerektiğidir (Gifford ve Dorman, 2019). Yapılan çalışmalar elektrik ve akustik işitmenin birleşmesinin özellikle müzik algısında önemli faydaları olabileceğini göstermiştir (Driscoll ve ark., 2016; Parkinson ve ark., 2019). Yüksel ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada karşı kulağında kalıntı akustik işitmesi bulunan KI

kullanıcılarının, işitme cihazı kullanmamalarına rağmen müzikal perde algısı algılama açısından normal işitenlere yakın bir performans sergilediklerini göstermiştir.

İşitsel olmayan becerilerin ve özelliklerin, işitsel performans üzerinde olası etkileri de yapılan çalışmalar ile gösterilmiştir. Dudak okuma becerisi, bilişsel kapasite, tedaviye istek ve uyum ve sözel olmayan iletişim stratejilerinin kullanımı (Gantz ve ark., 1993), beyin organizasyonu (Giraud ve Lee, 2007), KI kullanan çocuğun ve ailesini sözel olmayan zeka seviyesi ve rehabilitasyona bağlı değişkenler (Geers ve ark., 2002), sözel olmayan iletişimdeki otonomi (Tait ve ark., 2000) ve düzenli cihaz kullanımı (Easwar ve ark., 2018; Guerzoni ve Cuda, 2017) gibi birçok farklı değişkenin KI başarısını belirlemede etkisi olabileceği belirtilmiştir. Yapılan çalışmalar yöntem, katılımcı ve kazancın değerlendirilmesi açısından birbirlerinden oldukça farklı olabildikleri için genel bir kanıya varmak mümkün olmamakla birlikte bilişsel kapasitesi yüksek ve cihazını düzenli kullanan KI kullanıcılarının KI faydasının daha yüksek olabileceği düşünülebilir.

4.2. Koklear İmplant ve Psikoakustik Beceriler

Psikoakustik bilimi sesin fiziksel özelliklerine karşı ortaya çıkan sensör algıyı ve özellikle konuşma ve müzik seslerine verilen psikofizyolojik tepkileri inceleyen bir bilim alanıdır (Yost, 2015). Konuşmanın ve müziğin içerisinde kompleks olarak var olan ve fiziksel temelleri olan spektral ve temporal bilgilerin, işitme sisteminde doğru fizyolojik ve psikolojik etkiler ortaya çıkarması gerekmektedir. Müziğin insan fizyolojisi ve psikolojisi üzerindeki dramatik etkileri göz önüne alındığında (McCraty ve ark., 1998), psikoakustik biliminin müzik ile özel olarak ilgilenmiş olması şaşırtıcı olmamaktadır. Antik Yunan'dan beri müziğin fiziksel özellikleri ve ortaya çıkardığı psikofizyolojik tepkiler ilgi çekmiş, Pisagor ve çevresindeki diğer düşünürler psikoakustik çalışmalarının temeline müzik algısını yerleştirmişlerdir (Yost, 2015). Ancak daha önce de bahsedildiği gibi teknolojik ve fizyolojik engeller nedeniyle, müziğin içerisinde yer alan spektro-temporal özelliklerin KI kullanıcılarında tam olarak istenilen psikolojik ve fizyolojik etkileri ortaya çıkardığı söylenemez. Bu nedenle KI kullanıcılarında spektral ve temporal işitsel işlemlenin detaylı olarak incelenmesi ve müzik algısı üzerinde ne gibi etkileri olduğunun anlaşılması gerekmektedir.

4.2.1. Spektral işitsel işleme

Tüm doğal sesler ve insan yapımı cihazların ürettiği sesler içerik olarak birden çok frekansa sahiptir ve bu zengin frekans yapısı zaman düzleminde sıklıkla değişiklik gösterir; sesler karmaşık ve zamana bağlı bir frekans spektrasına sahiptir. Bu spektranın işitme sistemi

tarafından kodlanması ve işlenmesi konuşma sinyalinin ve müzikal seslerin doğru anlaşılması için bir ön şarttır. Konuşma sesleri içerisindeki formantların arasındaki mesafelerin algılanabilmesi veya bir melodinin içerisindeki notaların perdelerinin algılanabilmesi spektral içeriğin doğru bir şekilde çözülmesi sayesinde başarılabılır. Spektral içerik aynı zamanda birden çok ses kaynağının bir araya gelip karmaşık bir işitsel akış yarattığı durumlarda sesin yerinin veya içeriğinin belirlenmesi gibi beceriler için de önemli bir bilgi kaynağıdır. Bu bilgi kaynağının kullanılabilmesi için spektral bilginin işitme sisteminin periferinde çözümlendiği ve işitme sisteminin merkezi kısımlarında işlenerek işitsel algının ortaya çıktığı bilinmektedir (Irvine ve Malmierca, 2005).

Kokleada bulunan basilar membrandaki her bir noktanın azami düzeyde yanıt verdiği bir karakteristik frekansı (KF) vardır ve basilar membran sırasıyla dış kulak yolu ve orta kulaktan iç kulağa iletilen basınç dalgasının gerçek zamanlı bir spektral analizini gerçekleştirir. Basilar membrandaki titreşim ile tüy hücre stereosilyaları harekete geçer ve reseptör potansiyeli oluşarak afferent işitme siniri fiberleri uyarılır. Basilar membran mekanik özelliği ile pasif, amplifikasyon özelliği ile de aktif bir yapıya sahiptir ve bu iki yapının bir arada çalışması sayesinde çok keskin ve yüksek hassasiyette bir frekans seçiciliğine sahiptir (Robles ve Ruggero, 2001). Bu hassasiyet sadece basilar membranda değil, kendisine bağlı olarak iç tüy hücreler ile benzer şekilde işitme siniri fiberlerinde de korunur ve bu sayede işitme sistemi bir bütün olarak senkronizasyon içerisinde spektral bilgiyi işler (Patuzzi ve Robertson, 1988). Koklear implantlar ise işitme siniri fiberlerinin doğrudan uyarılmasını sağlayarak, dış kulak yolu, orta kulak ve kokleanın gerçekleştirdiği spektral kodlama ve iletimi gerçekleştirir. Ancak spektral içeriğin periferde kodlanmasının ardından, işitsel kortekste de bir yeniden oluşturma ve bütünleştirme süreci devreye girer ve sağlıklı bir algı ancak bu şekilde ortaya çıkabilir. Bu yöndeki en güçlü kanıtlar işitsel kortekste hasar meydana gelen deneklerde frekans analizi (Riquimaroux ve ark., 1992), sinyal tespiti ve sesin kaynağını belirlemeye yönelik görevlerde görülen bozukluklar ile ortaya koyulmuştur (Heffner ve Heffner, 1990; Maruyama ve Kanno, 1961). Bu nedenle KI kullanımında spektral işitsel işleme görülen kişilerarası performans değişkenliği sadece KI ile ilgili değişkenlerle açıklanamamakta ve iyi bir performans için bir çok koşulun gerçekleşmesi gerekmektedir.

KI kullanıcılarında spektral işitsel işlemlenin değerlendirilmesine yönelik bir çok farklı test geliştirilmiş ve farklı çalışmalar yapılmıştır. Bu testlerin geliştirilmesinde asıl hedef dil veya zihinsel kapasite gibi değişkenlerden bağımsız olarak izole bir şekilde spektral işitsel işlemlenin ölçülmesidir ve bu amaçla en yaygın kullanılan yöntem spektral çözünürlüğün

ölçülmesi olmuştur. Supin ve ark. (1994) içlerinde bulunan spektral tepelerin ve vadilerin birbirinin tersi olduğu iki geniş bant gürültü uyaranını birbirinden ayırt etmeye yönelik adaptif bir ayırt etme testi geliştirmişlerdir. Yöntem ilerleyen süreçte spektral dalga ayırt etme testi olarak isimlendirilmiş ve bu yöntem ile spektral çözünürlük becerisi hızlı bir şekilde değerlendirilebilmiş ve tonotopik yapıya sahip bir işitme sisteminin en temel özelliği olan spektral çözünürlük hızlı bir şekilde ölçülebilmektedir. Ardından Henry ve ark. (2005) bu konsepti kullanarak KI kullanıcıları ile normal işiten bireyleri karşılaştırmış ve her iki araştırma grubunda da konuşmayı anlama becerisi ile spektral çözünürlük arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğunu göstermişlerdir. Sonrasında yapılan çalışmalar ile geliştirilen bu yöntemin KI kullanıcılarında spektral çözünürlük becerilerini isabetli bir şekilde ölçebildiği (Jones ve ark., 2013; Won, Jones, ve ark., 2011), KI sinyal işleme stratejilerindeki değişikliklere karşı duyarlı olduğu (Berenstein ve ark., 2008; Drennan ve ark., 2010) ve KI kullanıcılarında konuşmayı anlama becerileri ile ilişki içerisinde olduğu gösterilmiştir (Anderson ve ark., 2011; Won ve ark., 2010; Won ve ark., 2007). Yine benzer bir test yöntemi ise spektral dalga tespit etme testidir (Bernstein ve Green, 1987) ve bu yöntemin de KI kullanıcılarında konuşmayı algılama becerisi ile ilişkisi olduğunu gösterilmiştir (Litvak ve ark., 2007; Saoji ve ark., 2009). Anderson ve ark. (2011) bu iki yöntemi karşılaştırmış ve testler arasında farklı olabilecek potansiyel mekanizmaları açıklamıştır; ancak her iki yöntemin de KI kullanıcılarında konuşmayı anlama becerisi ile ilişki içerisinde olduğu açıktır. Son olarak ise Aronoff ve Landsberger (2013) tarafından Spectral - Temporally Modulated Ripple Test (SMRT) geliştirilmiş ve bu testin de diğerleri ile benzer şekilde KI kullanıcılarında konuşmayı anlama becerisi ile ilişkisi olduğu gösterilmiştir (DiNino ve Arenberg, 2018; Lawler ve ark., 2017).

Yapılan çalışmalar KI kullanıcılarında spektral çözünürlüğün normal işiten bireylere göre oldukça düşük olduğunu tutarlı bir biçimde göstermiştir. Kullanılan test yöntemine göre ölçülen değerler değişmekle birlikte, Henry ve ark. (2005) sağlıklı bir konuşma algısı için spektral dalga ayırt etme testinde oktav başına en az 4 spektral dalga ayırt edilebilmesi gerektiğini belirtmiştir. Aynı çalışmada normal işiten bireylerde oktav başına 4,84 dalga ayırt etme performansı sergilerken, KI kullanıcıları 0,62 dalga ayırt etme performansı sergilemiştir. Yazarlar oktav başına 1'in altına düşen spektral dalga ayırt etme performansı durumunda konuşma algısının ciddi derecede bozulacağına belirtmişlerdir. KI kullanıcılarında spektral çözünürlükte görülen düşük performansın temelinde KI ile kokleada meydana gelen elektriksel uyarımın spektral olarak hatalı olması yatmaktadır. Elektrik akımının dağılımı, tonotopik olarak düzenlenmiş

koklea içerisindeki nöral uyarımın mekânsal seçiciliğini azaltmaktadır. Dahası, koklea içerisindeki elektrotların iletmekle yükümlü oldukları frekans aralığının tonotopik açıdan olmaları gerektiği yere tam olarak yerleşememeleri de spektral bir uyumsuzluk yaratmaktadır (Rubinstein, 2004). Bu spektral uyumsuzluklar ses işleme stratejileri kaynaklı sınırlılıklar ve kullanıcıyla bağlı nörofizyolojik engeller ile birleşerek KI kullanıcılarında azalmış bir spektral çözünürlüğe yol açmaktadır.

4.2.2. Temporal işitsel işleme

Temporal işitsel işleme işitilebilen akustik olaylarda meydana gelen zamansal değişikliklerin algılanması ile ilgili bir beceridir. Konuşma sesleri, çevresel sesler veya müzikal sesler spektral açıdan zengin olduğu kadar, çok seyrek olarak birkaç saniyeyi geçen ve sıklıkla çok hızlı bir şekilde cereyan eden birçok farklı zaman parçası açısından da zengindir. Bu zamansal hareket çok yüksek bir hızda ve kompleks bir biçimde gerçekleşir ve doğru bir şekilde algılanabilmesi için gelişmiş bir temporal işitsel işleme becerisi gereklidir. Konuşma sesleri ve özellikle de ünsüz sesler içlerinde çok hızlı bir şekilde yer değiştiren enerji tepeleri (formantlar) içermektedirler ve konuşmanın doğru bir şekilde anlaşılabilmesi için iyi bir temporal çözünürlüğe ihtiyaç duyulduğu bilinmektedir (Tallal ve ark., 1993). Temporal işitsel işlemede meydana gelen çok küçük bozulmaların bile dil-konuşma bozukluklarına yol açtığına yönelik bir çok çalışma bulunmakla birlikte (Fitch ve ark., 1997; Phillips ve Farmer, 1990), Shannon ve ark. (1995) konuşmanın sadece temporal bilgiler ile bile büyük ölçüde anlaşılabilmesini göstermiştir.

Temporal işitsel işleminin hem periferik hem de santral bileşenleri mevcuttur. Ancak bu bileşenlerin daha iyi anlaşılabilmesi için öncelikli olarak temporal zarf ve hassas temporal yapı kavramlarının anlaşılabilmesi gerekmektedir. Temporal zarf uyarının şiddetinde meydana gelen göreceli olarak yavaş değişimlerken, hassas temporal yapı uyarandaki her bir frekans bandının merkez frekansına yakın değerlerde meydana gelen hızlı titreşimlerdir (Moore, 2008). Erken dönemde yapılan çalışmalarda temporal zarf bilgisinin konuşma algısı için büyük önem taşıdığı düşünülürken (Rosen, 1992), daha güncel çalışmalarda hassas temporal yapının da özellikle arka plan gürültüsü varlığında konuşmayı anlamak için büyük önem taşıdığı önerilmiştir (Moore, 2008). Her iki temporal özellik de nöral ateşlemenin zamanı ile ilgili olmakla birlikte, hassas temporal yapı bilgisi uyarının dalga formundaki her bir sıklusa yönelik ortaya çıkan faz kilidine bağlıdır (Young ve Sachs, 1979). İşitme sisteminin kulak kepçesinden başlayarak santral bölgelere kadar devam ettirdiği faz kilidi, kokleadaki basilar membranda meydana gelen titreşimlerin her bir karakteristik frekans için spektral dekompozisyonu

sonrasında elde edilir ve işitme sinirindeki nöronların senkronize ateşleme örüntülerinde belirli bir noktaya kadar korunur (Johnson, 1980). Faz bilgisi beyinsapı seviyesinde birçok noktada korunurken, bilginin iletilmesinden en büyük rolü olan bölgeler lateral ve medial superior olive ve inferior colliculustur. Medial superior olive ve inferior colliculus sinyallerin hem frekansına hem de fazına karşı yüksek derecede hassastır (Kuwada ve Yin, 1987). Temporal bilginin kortikal bölgelere ulaştıktan sonra ise her iki beyin hemisferinde de aktivasyona yol açtığı ancak ağırlıklı olarak temporal bilgilerin sol hemisferde, spektral bilgilerin ise sağ hemisferde işlendiği bilinmektedir (Zatorre ve Belin, 2001).

Temporal işitsel işlemlenin ortaya çıkmasını sağlayan mekanizmalar ve buna bağlı ölçüm yöntemleri de önem taşımaktadır. Temporal işitsel işleme genel anlamda çözünürlük, sıralama, bütünleştirme ve maskeleme başlıkları altında incelenmekte ve değerlendirilmektedir. Temporal çözünürlük ile işitme sisteminin çözümleyebildiği minimum zaman birimi ifade edilmektedir ve boşluk tespit etme ve temporal modülasyon transfer fonksiyonu gibi testler ile ölçülür. Temporal sıralama seslerin sırasının algılanabilmesi ile ilgilidir ve birçok çalışmada süre örüntü veya frekans örüntü testleri ile değerlendirilmiştir. Temporal maskeleme sırayla iletilen seslerin kendilerinden önceki ve/veya sonraki sesi maskelemesi ve bu maskelemenin miktarının uyaranların başlangıçları arasındaki süre farkı ile ilgili olduğu bir fenomendir. İleri veya geri maskelemeye yönelik farklı testler ile değerlendirilebilir. Temporal bütünleştirme ise uyaranın süresi ile algılanan şiddeti arasındaki ilişki ile ilgili bir kavramdır. Uyaranların algılanan şiddeti 200 milisaniyeye kadar artarken, 200 milisaniyeden sonra algılanan şiddette önemli bir değişiklik meydana gelmez (Rawool, 2016). Literatürde temporal işitsel işleme bu esaslar temelinde birçok farklı test ile değerlendirilmiştir, ancak temporal çözünürlük ve temporal sıralama testleri en sık kullanılan yöntemler olmuştur.

Daha önce de bahsedildiği gibi, mevcut KI ses işleme stratejileri sesin filtrelenmesi ve her bir filtre bandının temporal zarfının korunmasını temelinde işlev görmektedir. Ancak bu işleme esnasında hassas temporal yapı bilgisi büyük ölçüde yok olmaktadır. Hassas temporal bilginin gürültü varlığında konuşmanın anlaşılması ve müzik algısı gibi beceriler üzerindeki önemli etkisi göz önüne alındığında, KI kullanıcılarının deneyimledikleri kısıtlılıklar daha iyi anlaşılmaktadır (Moon ve Hong, 2014). Nie ve ark. (2005) tarafından KI'ların hassas temporal bilgiyi de aktarmasını sağlayacak yeni bir işleme stratejisi önerilmiştir ve daha sonra farklı ekmeler yapılarak bu stratejiye harmonic single sideband encoder ismi verilmiştir. Bu yeni strateji ile gürültüde konuşmanın anlaşılmasında %71 oranında kazanç sağlanabilmiş ve müzik algısında iyileşmeler gözlemlendiği belirtilmiştir (Li ve

ark., 2013; Li ve ark., 2012). Ancak temporal modülasyon tespit yöntemi ve temporal perde algısı ile yapılan çalışmalar geleneksel işleme stratejileri ile 300 Hz üzerindeki hassas temporal bilginin KI kullanıcıları tarafından algılanamadığını göstermiştir (Shannon, 1992; Zeng, 2002). Normal işiten bireylerde hassas temporal bilginin faz kilidi ile iletilmesindeki üst limit konusunda tam bir fikir birliği bulunmamakla birlikte, literatürde 1500 – 10000 Hz arasında değişen fikirler mevcuttur (Verschooten ve ark., 2019). Öte yandan normal işiten bireylere KI uyarımı simülasyonu ile yapılan bir çalışmada katılımcıların hassas temporal bilgiyi 700 Hz'e kadar algılayabildikleri görülmüş ve araştırmacılar KI kullanıcılarında görülen 300 Hz sınırının santral bir bileşeni olduğunu önermişlerdir (Carlyon ve Deeks, 2002). Zhou ve ark. (2019) bu hipotezi KI kullanıcıları ile test etmiş ve 300 Hz sınırının KI işleme stratejileri ile ilgili değil, kullanıcıların işitsel periferdeki nöral yapıları ile ilgili olduğunu öne sürmüşlerdir.

4.3. Koklear İmplant ve Müzik Algısı

Müzik tarihinin insanlık tarihi kadar eski ve köklü olduğu düşünülebilir. Bulunan en eski müzikal enstrümanlar 39000 ile 43000 yıl öncesine tarihlenmiş ve günümüzde hala bilinen en eski melodi milattan önce 14. Yüzyıldan günümüze kulaktan kulağa aktarılmış olan “Hurrian Hymn No. 6”dir. Tamamı kayıtlı olarak günümüze ulaşmış en eski eser ise milattan sonra ilk yüzyıldan günümüze kadar korunmuş olan “Seikilos Epitaph” ismiyle bilinen bir Yunan ezgisidir ve ülkemiz topraklarında bir mezar taşına işlenmiş halde bulunmuştur (Morley, 2013). Erken hominid türlerinin farklı perdeye sahip sesleri değişken bir şekilde üretebilecek bir anatomiye sahip olmaları, yapısal olarak müziğin konuşmadan bile daha önce gelebileceğini düşündürmektedir (Montagu, 2017). Müzik tarih boyunca hem bir insan yaşamı ve duygularının kayıt aracı olmuş hem de insan psikolojisi ve fizyolojisi üzerindeki olumlu etkileri nedeniyle birçok farklı toplumda tedavi ve terapi aracı olarak kullanılmıştır. Son yıllarda müziğin insan sağlığı üzerindeki olumlu etkileri ile ilgili kanıta dayalı çalışmaların sayısı artış göstermektedir. Literatürde müziğin yenidoğan yoğun bakım ünitesinde yatan bebeklerde kalp atım hızını daha sağlıklı bir hıza düşürdüğü ve daha derin bir uyku sağladığı (Arnon ve ark., 2006), sınıf aktivitelerinde kaygıyı azaltıcı etkileri olduğu (Liu ve ark., 2007) ve vasküler ve torasik cerrahi hastalarında operasyon sonrasında sistolik kan basıncının ve oksijen saturasyonunda olumlu yönde etkisi olduğu (Aragon ve ark., 2002) gibi bir çok bulgu mevcuttur. Müziğin kanıta dayalı faydaları cerrahi ve anestezi, diş hastalıkları, ağrı yönetimi, palyatif bakım, yoğun bakım, pediatri, geriatri, göz hastalıkları ve nöroloji gibi bir çok alanda ortaya koyulmuştur (MacDonald, 2013).

Müzik ile konuşma benzer frekans aralığındaki sesleri kullanırlar ve aynı anatomik yapı ile benzer bir fizyoloji sayesinde algılanırlar (Copland ve Rich, 2002). Erken dönemdeki çalışmalar konuşmanın ağırlıklı olarak beyin sol hemisferinde, müziğin ise ağırlıklı olarak beyin sağ hemisferinde işlendiğini düşündürmektedir (Bever ve Chiarello, 1974). Gelişen teknoloji ile yapılan daha güncel çalışmalar ise müzik ile konuşma uyaranlarına yanıt veren nöral bölgelerde çok daha fazla kesişim olduğunu göstermiştir (Tallal ve Gaab, 2006). Öte yandan belirli beyin bölgelerinde meydana gelen hasarların konuşma algısında bir değişim yaratmadan, sadece müziğin algılanmasında belirli bozulmalara yol açtığı da bilinmektedir (Peretz, 2006, 2009). Müzik ile konuşmanın nöral temsilleri arasında perde algısı gibi beceriler açısından benzerlik olmakla birlikte, Broca alanı örneğinde olduğu müzik ve dil ile uyarılan beyin bölgelerin büyük ve kompleks yapıları nedeniyle birebir ilişkinin değerlendirilmesi mümkün olmamaktadır (Peretz ve ark., 2015). Patel (2011) müzik ile konuşma arasındaki bağlantıyı, müzik eğitiminin konuşmayı nöral kodlaması üzerindeki olumlu etkisini kaynak olarak geliştirdiği OPERA hipotezi ile açıklamıştır. OPERA kelimesi müzik ve konuşmanın beyin ağındaki anatomik kesişimi yani “Overlap”, müziğin bu beyin ağındaki işleme isabetliliği açısından daha yüksek seviyelerde kaynak kullanıyor olması yani “Precision”, müziğin güçlü pozitif duygular ortaya çıkarması ile “Emotion”, müzikal aktivitelerin genellikle tekrar üzerine kurulu olması ile “Repetition” ve müzik aktivitelerinin genellikle yüksek derecede dikkat gerektirmesi ile “Attention” kelimelerinin baş harfinden ortaya çıkmaktadır. OPERA hipotezine göre bu koşullar oluştuğunda normal bir konuşma algısı için ihtiyaç duyulacak nöral ağların çok daha üzerinde bir fonksiyon sağlanmaktadır. Dil ile müzik arasındaki kesişim sayesinde de müzik eğitiminden dil de fayda görmektedir. Patel (2014) müzik eğitiminin KI kullanıcılarında dilin beyinde işlenmesine olan faydalarını değerlendirmiş ve dil ile ilgili olmayan melodik kontür işleme becerisine yönelik bir eğitimin KI kullanıcılarında konuşma algısını iyileştireceğini belirtmiştir. Bu çalışmanın ardından müzik eğitiminin hem müzikal becerileri hem de konuşma, dil ve okuma-yazma becerilerini geliştirdiğine yönelik bir çok farklı çalışma yapılmıştır (Chern ve ark., 2018; Nan ve ark., 2018; Patscheke ve ark., 2016; Tichko ve Skoe, 2018; Zioga ve ark., 2016).

KI kullanıcılarının müzik algılama becerilerinin normal işitenlere göre daha kötü olduğunu gösteren bir çok çalışma bulunmaktadır (Drennan ve ark., 2015b; Gfeller ve Lansing, 1991; Gfeller, Turner, ve ark., 2002; Kang ve ark., 2009; Looi ve ark., 2008). Bu çalışmalarda KI kullanıcıları müzikal perde, melodi, enstrüman tanıma, tını gibi bir çok farklı beceri açısından değerlendirilmiş ve farklı testler geliştirilmiştir. Bu konudaki ilk girişimler 90’lı yıllarında

başında Kate Gfeller ve Sipke Pijl tarafından bulunulmuştur ve her iki yazar da farklı test yöntemleri geliştirmişlerdir. Müzik becerisini değerlendirmek için geliştirilen Primary Measures of Music Audiation (Gordon, 1979) testi KI kullanıcıları için adapte edilmiş, ardından Music Excerpt Recognition Test ve Iowa Music Perception and Appraisal Battery gibi özgün test bataryaları geliştirilmiştir (Kate Gfeller & Lansing, 1991; K. Gfeller et al., 2005; K. Gfeller et al., 1997). Ancak bu bataryalar uzun uygulama süreleri ve uzman personel gereksinimleri nedeniyle yaygınlık kazanmamış ve ilerleyen dönemde birçok araştırmada çalışmanın yapıldığı laboratuvarlarda özel olarak geliştirilen müzikal perde tanıma, tını veya melodi tanıma testleri kullanılmıştır. Ancak bu değişkenlik nedeniyle çalışmalar arasında karşılaştırma yapmak güçleşmiştir. Bu amaçla 2008 yılında University of Washington Clinical Assessment of Music Perception (UW-CAMP) testi geliştirilmiştir. Bu testi geliştirmedeki amaç testin hem müzik algısını klinik amaçlarla doğru bir şekilde ölçmesi hem de klinik pratik içerisinde göreceli olarak kısa bir uygulama süresine sahip olmasıdır. UW-CAMP testi KI kullanıcısının kendi kendine tamamlayabildiği bir testtir ve içerisinde perde yönü ayırt etme, melodi tanıma ve tını tanıma alt testleri bulunmaktadır. UW-CAMP geliştirildikten sonra geçerlilik çalışması Kang ve ark. (2009) yapılmış ve KI kullanıcıları perde yönü ayırt etme testinde 1-8 yarım ton arasında (Ortalama = 3,0), melodi tanıma testi %0-%94,4 arasında (Ortalama = %25,1) ve tını tanıma testinde %20,8-%87,5 arasında (Ortalama = %45,3) performans sergilemişlerdir. Sonraki dönemde UW-CAMP kullanılarak yetişkin KI kullanıcıları (Won ve ark., 2010), prelingual dönemde işitme kaybı meydana gelen çocuk KI kullanıcıları (Jung ve ark., 2012), Hybrid KI kullanıcıları (Parkinson ve ark., 2019) ve karşı kulakta kalıntı akustik işitmesi bulunan çocuk KI kullanıcıları (Yüksel ve ark., 2019) değerlendirilmiş; Korece versiyonu da geliştirilmiştir (Jung ve ark., 2010).

Müzik içerisindeki seslerin fiziksel yapısına bağlı olarak yapısal - akustik açıdan, dinleyen kişide ortaya çıkardığı duygusal tepkilere bağlı olarak içerik açısından ve toplumsal yapı ile olan kültürel ilişkisi açısından sosyolojik açıdan farklı düzlemlerde incelenebilir. Ancak müziğin özelliklerini değerlendirmeden önce müziğin -her ne kadar tam olarak tanımlaması mümkün olmasa da- ne olduğunun, bir sesin müzik olarak algılanması için ne gibi özelliklere sahip olması gerektiğinin ve müziğin konuşma ile benzer ve farklı yönlerinin anlaşılabilmesi gereklidir. Türk Dil Kurumu sözlüğü müziği “birtakım duygu ve düşünceleri belli kurallar çerçevesinde uyumlu seslerle anlatma sanatı” olarak tanımlarken, Merriam Webster sözlüğü “tonların veya seslerin bir arada, art arda ve birlik ve devamlılık içeren bir kompozisyon ortaya çıkartacak şekilde zamansal bir ilişki içerisinde sıralanması bilimi veya sanatı” ve “ritim,

melodi veya harmonisi bulunan vokal, enstrümantal veya mekanik sesler” olarak tanımlamıştır (Merriam-Webster, 2019; TDK, 2019). Bu tanımlardan anlaşılacağı üzere müziğin tıpkı konuşma gibi duygu ve düşünce aktarmak gibi bir fonksiyonu bulunmaktadır. Ancak müzikte bu aktarım çok daha “kapalı” ve “dolaylı” bir şekilde cereyan eder (Wolfe, 2002). Yapısal açıdan bakıldığında ise temporal ilişkileri temsil eden ritim, harmonik açıdan zenginliği temsil eden ve spektral açıdan incelenen perde, farklı perdeye sahip seslerin sıralı bir şekilde bir araya gelmesi ile oluşan melodi ve hem spektral hem de temporal düzlemde incelenen tını şeklinde dört ana bileşeni bulunmaktadır.

4.3.1. Ritim algısı

Ritim müziğin “hissedilen” kısmı olarak anılmıştır. Tüm kültürlerdeki insanlar müziğin ritmine göre vücutlarını harekette ettirirler (Wallin ve ark., 2001) ve ritme göre yapılan hareketler sadece işitme sistemini değil motor, derin duyu, görsel ve denge sistemlerini de aktive eder (Lackner, 1992). Bu nedenle ritim ile birlikte sensör modaliteler arasında yoğun bir etkileşim ve iş birliği ortaya çıkar. Ritim algısında belirli bir sıra ve tamamlama vardır ve bir sonraki sırada neyi algılayacağımızı öngörebildiğimiz zaman ritim algısı oluşmaktadır (Deutsch, 2013). Martin (1972) ritmi “bir sekans içerisinde önce meydana gelen olayların gerçek zamanlı olarak sonra meydana gelecek olaylar hakkında bir beklenti oluşturmalarıdır” şeklinde tanımlamıştır. Ritim algısı sayesinde tempo yani dinlenen müziğin hızı ile ilgili algı devreye girer. Tempo belirli bir zamanda algılanan öğelerin sayısı veya farklı uyaran sürelerinin süre farkları ile ortaya çıkar. Ritim algısı temponun algılanmasına bağlıdır ve temponun çok fazla yavaşlaması melodi algısını bile bozar (Deutsch, 2013). Müzik ile duygunun aktarılmasında kullanılan tonların perdesi ile birlikte temponun da etkisi olduğu bilinmektedir (Juslin ve Laukka, 2003). Öte yandan müzikteki ritim ve temponun konuşmadaki karşılığı olan prozodinin de önemi göz önüne alınmalıdır. Prozodi perde, süre ve genlik gibi konuşma sesinin yapısal özelliklerinin zamana bağlı olarak aktarılış biçimi ile ilgili bir kavramdır ve kelime içerisindeki hangi fonemlerin daha yüksek bir genlik ile – baskı ile üretileceğinin belirlenmesi, entonasyon ile cümle anlamının desteklenmesi ve duygunun aktarılmasında büyük önemi vardır (Cutler ve ark., 1997). Ancak müzikteki ritim algısı büyük ölçüde perde algısından bağımsızken, konuşmadaki prozodinin algılanması perde ve şiddet algısı ile doğrudan bağlantılıdır. Bu nedenle KI kullanıcıları prozodi algısında genellikle başarısız olurken (Marx ve ark., 2015), müziğin ritmini algılama konusunda müziğin diğer yönlerine göre göreceli olarak daha başarılıdırlar. Caldwell ve ark. (2015) KI kullanıcılarının müziğin duygusu ile ilgili karar verirken tempo ile ilgili ipuçlarına, perde ile ilgili ipuçlarına göre daha çok ağırlık

verdiklerini göstermişlerdir. Ancak müzikteki ritmin saniyeler düzleminde yani oldukça aralıklı olarak meydana gelirken, daha önce temporal işitsel işleme başlığında bahsedilen ve müzikte perde ve tını algısı ile ilişki içerisinde olan hassas temporal yapının çok daha sık bir şekilde milisaniyeler düzleminde meydana geldiği unutulmamalıdır.

KI kullanıcıları ile yapılan bazı çalışmalarda bilindik şarkıların tanınmasında ritmin büyük önem taşıdığı gösterilmiştir. Gfeller, Turner, ve ark. (2002) 49 KI kullanıcısı ile yaptıkları çalışmada doğru bir şekilde tanınabilen melodilerin üçte ikisinin akılda kalıcı bir ritmik yapılarının olduğunu göstermişlerdir. Kong ve ark. (2004) ise KI kullanıcılarına bilindik şarkıları iki formda dinletmiştir. Birincisinde orijinal ritim ve melodi bilgisi korunurken, ikincisinde nota uzunlukları tamamıyla birbirine eşitlenerek şarkılardaki ritim bilgisi ortadan kaldırılmıştır. Normal işiten bireyler her iki koşulda da neredeyse mükemmel skorlar elde ederken, KI kullanıcıları ritim korunan koşulda melodileri %63,2 oranında tanıyabilirken, ritim bilgisi bulunmayan şarkılarda ancak %11,7'lik bir performans sergilemişlerdir. Bir diğer çalışmada ise birisi diğerinden süre veya uyarının şiddeti açısından farklı olan iki benzer ritmin 29 KI kullanıcısı tarafından ne derece ayırt edilebildiği ve hangi noktada ayırt edilebildiği değerlendirilmiştir. Katılımcıların %59'u ritimleri birbirinden doğru şekilde ayırt edebilirken, %41'i de ritimlerin hangi noktada birbirlerinden farklı olabildiğini belirtebilmişlerdir (Leal ve ark., 2003). Literatürde KI kullanıcılarında ritim algısının diğer müzikal becerilere göre daha iyi bir şekilde korunabildiğine yönelik bir algı mevcut olduğu için güncel çalışmalar müziğin diğer yapısal özelliklerine odaklanmıştır.

4.3.2. Perde algısı

Sesin perdesi (ing. Pitch), üzerinde gözlemsel ve deneysel olarak çalışılan en eski müzikal kavramlardan birisidir. Perde algısı sayesinde, modern müziğin başlangıcı diyebileceğimiz müzikal aralıklar ortaya çıkmış ve bu nedenle Pisagor'dan Galileo'ya kadar bir çok bilim insanı ve düşünürün ilgisi çeken bir konu olmuştur. Ses perdesine yönelik ilk gözlemlerden birisini milattan önce 6.yüzyılda yapan Pisagor, titreten tellerin uzunluklarının birbirlerine olan oranının ilgili bir perde algısına yol açtığını gözlemlemiştir. Perde algısına yönelik çalışmalar modern işitme biliminde işitme sisteminde frekans bilgisinin ne şekilde algılandığını ve kodlandığını açıklamaya çalışan Helmholtz ve Bekesy gibi araştırmacıların çalışmaları ile devam etmiştir.

Perde en temel anlamda uyarının frekansının algısal karşılığı olarak ele alınabilir. Yüksekten alçağa doğru sıralanabilen bir işitsel algıdır ve bir sesin (kompleks ton veya gürültü gibi) perdesi, aynı şekilde algılandığı sinüzoidal bir tonun frekansı ile belirlenir. Bu nedenle de

her ne kadar akustik çalışmalarında algılanan ses perdesinin dışındaki uyaranlar da kullanılıyor olsa da (infratones – infrapitch), sesin perdesi işitme sisteminin kapasitesi doğrultusunda sınırlanmıştır (Warren, 2008). Perde algısı şiddet ve tını algısı ile birlikte işitmenin temel algısal özelliklerindendir ve müzik içerisinde melodi bilgisinin taşınmasını sağlamasının ötesinde konuşmacı, prozodi ve hatta anlam bilgisinin iletilmesinde de rolü bulunmaktadır. Müzikte perde sekansları melodiyi ve bir arada iletilen perdeler harmoni algısını oluşturur. Konuşmada yükselen ve alçalan perde kontürleri prozodiyi iletir ve Çince gibi tonal dillerde kelimelerin anlamını belirler. Kompleks akustik ortamlarda, perdede meydana gelen değişimler birbirinin içerisine giren seslerin ayrı ayrı algılanmasını sağlar (Oxenham, 2012). Perde algısını oluşturan en bilindik uyaran harmonik kompleks tondur. Bu periyodik dalga biçimi temel frekansa denk gelen sayıya tekrar eder ve temel frekansın katları olarak ortaya çıkan sinüzoidal harmonik veya üst tonlara ayrılabilir. Temel frekans ve harmonikler arasındaki genlik ilişkine bağlı olarak da ses kalitesi yani tını algılanabilir. Tını ve şiddet arasındaki farklılıklara rağmen, eğer iki tonun temel frekansı aynı ise aynı perdede algılanırlar. Ancak müzikal olarak karşılığı olabilecek bir perde algısı sadece 30 – 4000 Hz arasındaki frekanslarda ortaya çıkabilir (Attneave ve Olson, 1971; Pressnitzer ve ark., 2001).

Perdenin akustik bir dalga formundan nasıl çıkartıldığına dair işitme bilimi tarihinde farklı görüşler olmuştur. Ancak tüm teoriler temel olarak yer ve zaman teorileri başlığı altında toplanabilir. Yer teorileri tonotopik organizasyon ile frekans ve bağlantılı olarak da perde bilgisinin iletilildiğini ifade ederken, zaman teorileri ise faz kilitleme becerisi sayesinde işitme siniri ateşleme hızına bağlı olarak frekans ve perde algısının oluştuğunu savunmaktadır. Faz kilidi ile ortaya çıkan detaylı zamansal bilgi ile uyarının tekrarlanma sayısı yani frekansı algılanabilir. Faz kilidinin perde algısındaki önemi davranışsal çalışmalar ile dolaylı olarak da gösterilmiş ve yapılan çalışmalarda melodi algısını sağlayan saf seslerin üst limitinin 4-5 kHz civarında olduğu ve bu frekans üst limitinin işitme sinirinin faz kilitleme üst sınırı ile uyumlu olduğu belirtilmiştir (Attneave ve Olson, 1971; Moore, 1973). Üçüncü bir perspektif ise yer-zaman teorisi olarak isimlendirebilir ve bu teoriye göre işitme sistemi ateşleme zaman bilgisini basilar membran üzerindeki faz dağılımını kullanarak ve farklı koklear bölgelerdeki ateşlemeleri değerlendirerek uyarının frekansını belirlemek için kullanılmaktadır. Böylelikle hem zamansal bilginin korunması, hem de zamansal bilginin koklea içerisinde doğru yere iletilmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Bu fikir Oxenham ve ark. (2004) tarafından yapılan çalışma ile doğrulanmıştır. Araştırmacılar alçak frekans uyaranların zamansal bilgisinin kokleada

yüksek frekans bölgelerine göndermiş ve katılımcılarda perde algısının bozulduğunu göstermişlerdir.

Perde algısı ile ilgili önemli ayrımlardan biriside yapılan çalışmalarda kullanılan uyaran çeşitleridir. Erken dönemde yapılan çalışmalarda sıklıkla saf sesler kullanılarak perde algısı değerlendirilmiştir. Saf sesler oldukça tutarlı bir perde algısı ortaya çıkartırlar. Frekans değişimlerine hassasiyetin en yüksek olduğu frekanslarda (1-2 kHz) insanlar frekans değişimini neredeyse %0,02 oranında ayırt edebilir. Yüksek frekanslarda ise bu ayırt etme becerisi ciddi oranda azalır ve 4-5 kHz'nin üzerindeki frekanslarda müzikal bir perde algısı ortaya çıkma olasılığı büyük oranda yok olur. Kompleks tonlar ise birden çok saf sesin bir araya gelmesi ile oluşur. Harmonik kompleks tonlarda daha önce de bahsedildiği gibi bir temel frekans ve harmonikler bulunur. Örneğin bir keman La (440 Hz) notasını ürettiğinde dalga biçimi saniyede 440 kere tekrar eder ancak hem 440 Hz'de hem de 880 Hz, 1320 Hz, 1760 Hz, vs. gibi bir çok farklı frekansta da titreşimler meydana gelir (Oxenham, 2018). KI kullanıcıları ile yapılan çalışmaların çok büyük bir kısmında perde algısının değerlendirilmesinde kompleks tonlar kullanılmıştır. Her iki uyaran tipiyle de yapılan çalışmalarda perde ayırt etme becerisi sıklıkla modern batı müziğinin de temellerini oluşturan ve daha önce bahsedilen Pisagor'ın gözlemlerine dayanan müzikal aralık (interval) esasına göre değerlendirilir. Müzikal aralıklar uyaran frekansının birbiri ile göreceli olarak uyumlu bir perde algısı oluşturmaya esasına göre oluşturulmuştur. Örnek vermek gerekirse 100 Hz frekansa sahip bir uyaran ile 200 Hz frekansa sahip bir uyaran arasındaki algılanan fark 500 Hz ile 600 Hz frekansa sahip uyaranlar arasındaki algılanan fark ile aynı değildir; benzer bir algı ancak 1:2 oran sağlandığı zaman yani 500 Hz ile 1000 Hz frekansa sahip bir uyaran arasında oluşur ve bu duruma “oktav” ismi verilir. Yani perde algısındaki ilişki aritmetik fark ile değil uyaranların birbirine olan oranına göre ortaya çıkar (Schnupp ve ark., 2011). Oktav kavramının perde algısındaki önemi disonans - uyumsuz ve konsonans - uyumlu kavramları ile olan ilişkisidir. Konsonant sesler insanda “hoş” ve “uyumlu” bir duyum oluştururken, disonant sesler “uyumsuz” ve “nahış” bir his uyandırır. Pisagor iki frekans arasındaki oran ne kadar basitse, duyumun da o derece konsonant olduğunu gözlemlemiştir. Bu esasa göre 1:2 oranına sahip oktav tamamıyla uyumlu bir duyum oluşturur ve bu nedenle modern batı müziğinde arasında 1:2 oran bulunan sesler aynı nota ismiyle adlandırılır. Yani 440 Hz temel frekansa sahip bir ton 4. la (LA4) notasıyken, 880 Hz 5. la (LA5) notası 1760 Hz 6. la (LA6) notası vs. şeklinde adlandırılır. Bu esastan yola çıkarak bir oktav aralığı aralarında göreceli olarak basit bir aritmetik oran bulunan 12 notaya yani 12 semitone – yarım tona bölünmüştür (tam beşli 3:2, tam dörtlü 4:3 gibi). Bir yarım ton modern

batı müziğindeki en küçük müzikal birimdir (Deutsch, 2013). Konsonans ve disonans kavramları hem fizik hem de biyoloji açısından incelenmiş en temel teorilerden birisi Helmholtz (1877) tarafından ortaya atılmıştır. Helmholtz aralarında 1:2 oran bulunan iki tonun harmoniklerinin koklear içerisinde birbirleri ile uyumlu bir şekilde sıralandıkları ve bu esasa göre uyumlu duyulduklarını belirtmiştir. Her ne kadar bu teori bir çok durumu açıklasa da, kokleayı tamamen doğrusal bir prensibe göre yorumladığı ve santral işitsel işlemlenin etkisini değerlendirmede için sonraki yıllarda eleştirilmiştir. Bir bütün olarak konsonans ve disonans algısında kulağın fiziksel özellikleri, birincil ve ikincil işitsel işleme bölgelerinin etkileri de rol oynamaktadır (Shapira Lots ve Stone, 2008).

KI kullanıcılarında perde algısı normal işiten bireylere göre oldukça kısıtlı ve zayıftır. KI elektrotlarının doğrudan uyarılması ile yapılan çalışmalarda KI kullanıcılarında perde algısının hem elektrot yeri hem de uyarımın zamansal perdesinden etkilendiğini göstermiştir (Dorman ve ark., 1994; Pijl ve Schwarz, 1995). Elektrik atımlarının sayısına bağlı olarak ortaya çıkan “temporal perde” KI kullanıcılarında en fazla 300 Hz’de perde algısı oluşturabilirken, yere bağlı perde algısı daha yüksek frekanslara çıkabilmektedir (Oxenham, 2018). Ancak yapılan çalışmalarda odaklanılan nokta KI kullanıcılarının uyarıların perdesini birbirinden ne derece yani kaç yarım ton ayırabildikleridir. Gfeller, Turner, ve ark. (2002) 49 tecrübeli KI kullanıcısı yetişkini normal işiten bireyler ile sentezlenmiş kompleks tonlar kullanarak 36 yarım tonluk bir aralıkta (73 Hz – 553 Hz) karşılaştırmıştır. Çalışmada normal işiten grup ses perdesini ortalama 1,13 yarım tonluk bir aralıkta ayırt edebilirken, KI kullanıcıları 7,56 yarım tonluk bir performans sergilemiştir ve KI kullanıcılarının elde ettikleri skorlar 1-24 yarım ton arasında büyük bir değişkenlik göstermiştir. Kang ve ark. (2009) 42 KI kullanıcısı yetişkini normal işiten bireyler ile perde algısı açısından karşılaştırmış ancak bu çalışmada gerçek bir piyano kaydından üretilmiş sesler 19 yarım tonluk bir aralık kullanılarak perde algısı değerlendirilmiştir. Çalışmada KI kullanıcıları 3,0 yarım tonluk bir performans sergilerken normal işiten bireyler 1 yarım tonluk bir skor ortalaması elde etmişlerdir. Jung ve ark. (2012) prelingual işitme kayıplı KI kullanıcısı çocuklarda benzer bir çalışma yapmış ve bu çalışmadaki katılımcılar da 2,98 yarım tonluk bir performans sergilemişlerdir. Drennan ve ark. (2015a) oldukça geniş çaplı ve çok merkezli bir çalışmada 145 KI kullanıcısını değerlendirmiş ve ortalama 2,95 yarım ton bir perde ayırt etme performansı gözlemlemiştir. Literatürde elde edilen bulgularda dikkat çekici nokta ise kalıntı akustik işitmesi olan KI kullanıcılarının perde algısı testlerinde gösterdikleri -normale yakın- başarıdır. Driscoll ve ark. (2016) Cochlear (Sydney, Avustralya) Nucleus Hybrid KI kullanan beş ergen katılımcıyı (14-18 yaş), Kelsall ve

ark. (2017) yine Cochlear Nucleus Hybrid KI kullanan 50 yetişkini ve Yüksel ve ark. (2019) karşı kulağında 50 dB'den daha iyi kalıntı işitmesi olan 6 standart KI kullanıcısı çocuğu kompleks perde ayırt etme testi ile değerlendirmiş ve her üç çalışmada da KI kullanıcıları ortalama olarak normale yani 1 yarım tona yakın bir performans sergilemişlerdir. Çalışmalarda bu üstün performansın akustik işitmenin hem algılanan frekans aralığını geliştirmesi, hem de alçak frekans tonlardaki hassas temporal bilgiyi aktarma becerisinin daha iyi olması neticesinde gözlemlendiği belirtilmiştir.

4.3.3. Melodi algısı

Melodi peşi sıra gelen ve farklı perdeye sahip tonların oluşturduğu müzikal cümleler olarak tanımlanabilir ve birçok müzisyene göre müziğin en önemli yönüdür. Tıpkı ritim algısında olduğu gibi, melodi algısında da seslerin bağlamı ve duyulan tondan sonra gelecek diğer tonlara yönelik beklentinin önemli bir etkisi vardır. Bağlam dinleyicilerin gelecekte meydana gelecek olaylara karşı beklentilerini belirler. Beklentiler olaylar arasındaki fiziksel bağlantılara dayanarak sensör kaynaklı olabileceği gibi dinleyicinin olayların meydana geldiği ortam ile ilgili bilgilerini kullanması ile de ortaya çıkabilir. Modern müzik de genel olarak belirli tonların tekrarı ile melodileri kullanarak kişilerde sensör bir beklenti oluşturur (Marmel ve ark., 2010).

Melodi algısı perde veya ritim algısının aksine içsel deneyim ve bellek ile yoğun bir ilişki içerisindedir ve yaşamdaki birçok durum ve deneyim ile sıkı bir bağlantı sergiler. Melodilerde belirli bir mekan, haz, kültür ve deneyim vardır. Öte yandan melodi müziğin taşınmasını, nesiller arasında aktarılmasını sağlar ve müziğin hem dinleyiciler hem besteciler için şüphesiz en iyi bilinen yönüdür. Birçok besteci melodiye müziğin özü olarak görmüş ve melodisi olmayan bir müziğin hayal edilemeyeceğini belirtmiştir. Melodi kelimesinin kökeni de aslında bu fikri desteklemektedir. Yunanca müzik ile ilgili bir terim olmayan *melos* kelimesinden köken almaktadır ve bu kelime günümüz diline “yapılandırılmış organik varlık” olarak bir insanın veya hayvanın tüm bedenini işaret eden bir kelime olarak çevrilebilir. Yani bütünlük ve beden öz boyutlarını anlatan bir kelimedenden köken alan melodinin müzik için de benzer bir rol üstlendiği düşünülebilir (Aldridge ve Aldridge, 2008).

Müzikal melodilerin anlamlı bir bütün olarak algılanması, bilginin zihinsel hiyerarşisine bağlıdır. Bu yapı sadece müzik için değil aynı zamanda bir kitabın veya sinema filminin anlaşılması için de gereklidir. Müziğin zihinsel hiyerarşi içerisinde melodiler ile ne şekilde algılandığını en iyi açıklayan modellerden birisi Lerdahl ve Jackendoff (1996) tarafından geliştirilen *generative theory of tonal music*'dir (GTTM). GTTM seslerin akustik sekanslarından başlar ve parçaların kortikal seviyede organizasyonu ile sonlanır. GTTM

“dinleyici ses sinyallerini doğal bir şekilde motif, tema, cümle, periyot, tema grupları, bölümler ve eserin tamamı şeklinde organize eder....tüm bu birimler için kullanılabilecek terim gruptur” (Lerdahl ve Jackendoff, 1983, s. 12). Teoriye göre hiyerarşinin içerisinde daha küçük gruplar bir araya gelerek hiyerarşinin yukarısına doğru daha büyük gruplar oluştururlar. Bu grupları zaman düzleminde ritim ile yorumlarız ve özünde her kompleks melodi yapısı çok daha basit ve kısa bir şekilde temsil edilebilir. Bu esaslar açıdan bakıldığında müzik içerisinde melodinin önemi anlaşılmakta ancak aynı zamanda melodi ve müzik algısının sadece spektral veya temporal akustik özelliklerin çok daha ötesinde olduğu da göze çarpmaktadır.

Nörofizyolojik açıdan da melodi algısı kompleks bir yapıya sahiptir. Dinamik bir işleme süreci ile algılanır ve “çoklu yapısal ilişkiler” sayesinde işlenir. Bu işleme sırasında otomatik, bilinçsiz ve kültürel etkilerden çok az etkilenen düşük seviye işlemler ve bilinçli dikkat ve uzun süreli bellekten etkilenen yüksek seviye işlemler meydana gelir (Patel ve Iversen, 2007). Melodinin işitsel olarak algılanabilmesi için eserin belirli bir parçasındaki temporal düzenin anlaşılması, parçadaki belirli notaların perdelerinin belirlenmesi ve tonların perdelerinin birbirlerine göre ne şekilde değiştiğinin ayırt edilebilmesi gereklidir. Yapılan fizyolojik ve fonksiyonel görüntüleme çalışmalarında temporal düzenin beyin sapı düzeyinde, perde çıkarsamanın ise birincil işitsel korteksteki Heschl’s gyrusta meydana geldiği gösterilmiştir. Perde takibi ve melodi çıkarsama gibi beceriler birincil işitsel korteksin ötesinde farklı alanlardan da beslenmekte ve işlem ilerledikçe melodiler ağırlıklı olarak sağ beyin hemisferinde işlenmektedir (Zatorre ve ark., 1994). Melodik ses işleme perde algısının ortaya çıkmasından sonra birincil işitsel korteksten anterolateral biçimde devam etmekte ve melodi algısına yönelik hiyerarşik ve çoklu yapısal ilişki modelleri nörofizyolojik bulgular ile desteklenmektedir (Patterson ve ark., 2002)

KI kullanıcılarında perde algısında yaşanan sorunlar ve ortaya çıkan engeller neticesinde, peşi sıra farklı perdeye sahip tonların bir araya gelmesi ile oluşan ve üst düzey beyin bölgelerinin de katılımını gerektiren melodi algısı da ne yazık ki bozulmaktadır. KI kullanıcılarında melodi algısı genellikle katılımcılardan söz konusu kültürde yaygın bir şekilde bilinen melodileri ne derece tanıyabildiklerinin değerlendirilmesi ile ölçülür (Gfeller, Turner, ve ark., 2002; Kang ve ark., 2009; Looi ve ark., 2008). Değerlendirmeler açık set veya kapalı set yapılabilir ve kullanılan yöntemle göre elde edilen doğruluk oranları %0 ile %95 arasında değişmektedir. Ancak KI kullanıcıları tüm çalışmalarda normal işiten katılımcılardan daha kötü bir performans sergilemişlerdir. Bir diğer değerlendirme yöntemi ise modifiye edilmiş melodi görevidir ve bu görevde katılımcılar tanıdık bir melodiyi iki kere dinler, ancak bir melodi

diğerinden bazı notalar açısından farklıdır. Katılımcılardan değiştirilmemiş, orijinal melodiyi bulmaları istenir. Bu yöntem kullanılarak yapılan çalışmalarda da KI kullanıcıları diğer yöntem ile benzer bir performans sergilemektedir (Swanson ve ark., 2009). Kong ve ark. (2004) KI kullanıcılarına birisinde sadece melodik ipuçlarının bulunduğu diğerinde ise hem melodik hem de ritmik ipuçlarının bulunduğu iki grup melodi dinletmişlerdir. KI kullanıcıları ritmik bilgilerin bulunduğu versiyonda (%63,5 başarı), sadece melodik versiyona göre (%11,7 başarı) daha iyi performans sergilemişlerdir. Bir başka çalışmada ise melodilere sözlerin eşlik ettiği durumda başarı oranı %50'nin üzerinde artmıştır (Leal ve ark., 2003). Bu bulgular perde ile ilgili olmayan ritim veya söz gibi ipuçlarının melodi tanıma becerisindeki faydalarını göstermekte aynı zamanda KI kullanıcılarının melodileri genellikle perde ile ilgili olmayan ipuçları ile tanıdıklarını da düşündürmektedir. Melodi tanımda kullanılan ve 310-4960 Hz bant genişliğine sahip piyano örneklerinin 620-2480 Hz bant geçiren filtreden geçirilmesi ile KI kullanıcılarının melodi tanıma becerilerinin arttığı gösterilmiştir. Bu filtreleme ile hatalı algılanan temel frekans bilgisinin ortadan kaldırıldığı ve perde algısının tonotopik organizasyona daha uygun bir hal aldığı fikri öne sürülmüştür. Bu bulgu KI kullanıcılarında spektral filtreleme ile melodi algısının geliştirilebileceğini düşündürmektedir (Galvin ve Fu, 2011).

4.3.4. Tını algısı

Tonun rengi veya kalitesi olarak da bilinen tını (ing. Timbre) aynı perde, aynı şiddet ve süreye sahip iki notayı birbirinden ayırmamızı sağlayan spektro-temporal bir psikoakustik kavramdır (ANSI, 1973). Tını algısı sayesinde insanlar aynı notayı üreten farklı enstrümanlar birbirinden ayırt edilebilmektedir. Ancak öte yandan sesin “karakterini” anlayabilmek telefonda konuşurken karşıdaki insanı tanımaktan, bir hayvanın karanlık bir ortamda bir kurt sesini anlayabilmesine kadar birçok farklı açıdan faydalı olabilir. Bu ortak becerinin nedeni harmonik olarak zengin olan seslerin yapısı ile ilgilidir. İnsanlarda vokal fold yarattığı titreşimler ile temel frekansın üretilmesini sağlarken, vokal yol boyunca dil, dişler ve dudak gibi organların katkısı ile konuşma sesleri zenginleşir ve formantlar oluşur. Formantlar süregelen bir frekans – genlik spektrumundaki tepelerdir ve fonemler söz konusu formantlara bağlı olarak tanınabilirler (Town ve Bizley, 2013). Benzer bir şekilde müzik enstrümanları da belirli bir temel frekansa yani perdeye ve enstrümanın elektroakustik özelliklerine bağlı olarak ortaya çıkan harmoniklere sahiptir. Fonemlerle benzer bir şekilde, müzikal tonların da tınısı söz konusu harmoniklere bağlı olarak tanınır ve ayırt edilebilirler (Deutsch, 2013). Bu üst

harmoniklerin ve formantların geçişleri çok hızlı ve zengin bir şekilde gerçekleşir, bu nedenle de tını tanımlaması ve anlaşılması zor bir beceri olmuştur.

Literatürde yapılan tını tanımları, tının algısal boyutlarına dair pek ipucu vermemektedir. Tının diğer algısal boyutlara göre karmaşık olan noktası hem spektral hem de temporal olarak zengin bir içeriğe sahip olmasıdır. Bu nedenle tını perde gibi yüksek – alçak veya şiddet gibi çok – az benzeri iki boyutlu düzlemlerde ifade edilememektedir. Fiziksel nesneler titreşim modları ve rezonans karakterlerine göre farklı spektrumlara sahiptirler (Helmholtz, 1877) ve örneğin konuşma içerisindeki formant frekansları spektrumu etkileyerek kişilerin seslerini tanımamızı sağlayan tını algısını oluşturur (Grey ve Gordon, 1978). Öte yandan tını zaman içerisinde şiddette meydana gelen değişimlerden de etkilenir ve temporal işitsel işlemlerin de tını algısı üzerinde önemli bir etkisi vardır (McAdams ve Giordano, 2009). Tını algısının altında yatan bu çok boyutlu yapı 60'lı yıllardan beri bir çok farklı alandan araştırmacının ilginç çekmiştir. 70'li yıllarda tını algısı ile ilgili yaptığı çalışmalarla öne çıkan Grey (1977) gelişen bilgisayar ve sinyal işleme teknolojilerinden de faydalanarak 16 müzik enstrümanını gürlük, perde ve süre açısından tek bir biçime sokmuş ve üç boyutun tını algısı üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermiştir. Bu boyutlar spektral enerjinin dağılımı, uyaranda zaman içerisinde meydana gelen spektral dalgalanmalar ile beraber üst harmoniklerdeki transientlerin senkronizasyonu ve temporal zarfın atak kısmındaki düşük genlikli yüksek frekans enerjinin varlığı şeklindedir. Bu perspektif ile tının algısında çok boyutlu bir ölçekleme yöntemi benimsenmiş ve tını alanı (ing. Timbre Space) kavramı gelişerek çalışmalarda sıklıkla kullanılan bir uygulama olmuştur. Tını alanı modeli farklı tınlar arasında paylaşılan algısal boyutlar ile ifade edilmekte ve tüm dinleyicilerin tınları benzer algısal boyutları kullanarak karşılaştırdığı kabulüne dayanmaktadır. Bu şekilde enstrümanların hangi özellikler açısından benzer veya farklı olduğu belirlenebilmektedir. Örneğin enstrümanların karşılaştırıldığı bir analizde klavsenin diğer hiçbir enstrümanda olmayan bir özelliği vardır: mızrap eski pozisyonuna dönerken hafif tok bir ses çıkarır ve dönüşün sonunda da ses hızlıca kesilir (McAdams ve Giordano, 2009). Grey'in 1977 yılındaki çalışmasından sonra tını alanı temelli çalışmalar devam etmiş ve tını algısında öne çıkan boyutlar ortaya koyulmuştur. Bunlar (1) alçak ve yüksek frekansların göreceli olarak miktarlarını belirten ve tında parlaklık ile ilgili olan spektral merkez (ing. Centroid); (2) vurulan ve çekilerek aniden ses üreten enstrümanlar ile üfürülerek veya sürtünme ile yavaşça ses üreten enstrümanları birbirinden ayıran atak zamanının logaritması; (3) sesin süresi boyunca spektral biçimin değişiminin değişimini işaret

eden spektral akış (ing. Flux); (4) spektral biçimin sivrilğini belirten spektral düzensizlik şeklindedir (McAdams ve Giordano, 2009).

Tını algısının algısal boyutları sesleri kategorize etme, tanıma ve tanımlamada kullanılmaktadır. Bu çok yönlü yapısı tının nörofizyolojik olarak incelenmesini de zorlaştırmaktadır. Periferik olarak bakıldığı zaman tıpkı perde algısında olduğu gibi işitme siniri fiberleri yere veya zamana bağlı olarak kokleadan iletilen mesajlar ile tını bilgisini kodlamaya başlar ve böylece temporal ve spektral bilgiler psikofizyolojik olarak sesin tını bilgilerini taşır. Ancak tının gerçek anlamda algılanması için işitme sinirinde taşınan akustik bilgilerin daha yüksek seviyelerdeki nöronların belirli akustik özellikleri işleyebilmeleri gerekmektedir (Town ve Bizley, 2013). Beyin lezyonu bulunan insan ve hayvanlarda yapılan çalışmalar tını algısı için işitsel korteksin sağlam olmasının şart olduğunu ve aynı zamanda birincil olmayan işitsel korteksin rolünün de büyük olduğunu göstermiştir. Felç hastaların yapılan incelemelerde özellikle de sağ beyin hemisferinin spektral ve temporal tını algısında büyük etkisi olduğu gösterilmiştir (Milner, 1962; Samson ve Zatorre, 1994). Sol temporal lob lezyonu bulunan hastaların temporal tını ipucu korunan tek bir sesin tınısını ayırt etmede zorlanmadıkları, aynı tonlar melodi içerisinde sunulduğu zaman başarısız oldukları fakat sağ temporal lob lezyonu bulunan hastaların her iki görevde de başarısız oldukları görülmüştür (Samson ve ark., 2002). İnsanlarda yapılan fonksiyonel manyetik rezonans (fMRI) çalışmalarında sesli harflerin hiyerarşik olarak organize edilmiş bir dizi bölgede işlendikleri gösterilmiştir (Rauschecker ve Scott, 2009). Sesli harflere yönelik farklı nöral yanıtların elde edilmesinin fonemlerin akustik özellikleri ile ilgili olabileceği gibi dile özel bir takım işlemler ile de ilgili de olabileceği düşünülmüştür. Gözlenen nöral aktivitenin superior temporal korteks gibi üst düzey bölgelerde elde edilmesi (Obleser ve ark., 2006) ve nöral sinyallerden elde edilen sesli harf yanıtlarının kortikal haritasının akustik değişiklikleri yansıtacak bir biçime sahip olması (Scharinger ve ark., 2011) her iki yönün de tını algısında rolü olduğunu işaret etmektedir. Öte yandan deney hayvanları ile yapılan ve formantlar arasındaki mesafeye yönelik olarak ortaya çıkan birincil işitsel korteks yanıtlarını değerlendiren çalışmalarda mesafeye bağlı olarak aktivasyonun değişiyor olması akustik özelliklerinin temsiline insanlara özel olmadığını göstermiştir (Ohl ve Scheich, 1997).

Tınıyı algılamak KI kullanıcıları için zorlu bir görevdir. Tını algısı üzerinde temporal zarf ve spektral içeriğin elektrik işitmedeki etkisini değerlendiren Heng ve ark. (2011) bir enstrümanın temporal zarfını ve bir diğerrinin ince frekans bilgisini içeren işitsel kimera (ing. Chimeras) oluşturmuştur. Normal işiten bireyler kimera enstrümanları tanımak için sırasıyla ve

gerektiği şekilde temporal zarfı veya ince frekans bilgisini kullanabilmişlerdir. Ancak KI kullanıcıları sadece temporal zarfı algılayabilmiş ve enstrüman tınısını belirlemede ince frekans bilgisini kullanamamışlardır. Bu başarısızlık daha önce bahsedilen hassas temporal yapının KI ile korunamamasından kaynaklanmaktadır. Kong ve ark. (2011) akustik olarak tını alanı açısından analizleri yapılmış ve sentezlenmiş batı müziği enstrümanlarını kullandığı çalışmada KI kullanıcıları ve normal işiten bireylerin uyaran çiftlerini ayırt etme performansını karşılaştırmıştır. Normal işitenlerde tını alanı boyutları en iyi temporal zarf, spektral zarf ve spektral hassas bilgi ile korelasyon gösterirken, KI kullanıcılarında temporal zarf ve zayıf da olsa spektral zarf ile korelasyon göstermiştir. Ayrıca KI kullanıcılarının yarısında hiçbir boyut ile korelasyon gözlenmemiştir. Ancak yine benzer bir çalışmada KI kullanıcılarında tını algısı ve spektral zarf arasında güçlü bir korelasyon gözlenmiş ve KI kullanıcıları ve normal işiten bireyler benzer bir tını alanı oluşturmuşlardır (Macherey ve Delpierre, 2013). Bu bulgulardan da anlaşılabileceği üzere tını alanının KI kullanıcıları ve normal işitenler arasında farklı olabileceği ama bu farkların tam olarak hangi düzlemlerde temsil edildiği tam olarak henüz anlaşılamamıştır. Bir çok çalışmanın ortak noktası ise temporal ve spektral boyutlar farklılık göstermekle birlikte, temporal zarf bilgisinin KI kullanıcıları için daha tutarlı bir bilgi kaynağı olduğu, spektral bilginin ise kısıtlı olarak kullanılabildiği şeklindedir (Heng ve ark., 2011; Kong ve ark., 2011).

KI kullanıcılarında tını algısını değerlendirmenin en yaygın yollarından birisi de müzikal enstrüman tanıma becerilerini değerlendirmektir. Bu çalışmalarda aynı notaları aynı süre ve şiddette çalan farklı enstrümanlar katılımcılara dinletilmekte ve enstrümanları ne derece tanıyabildikleri değerlendirilmektedir. Bu şekilde yapılan çalışmalarda temporal zarfın baskın olduğu vürmalı veya vürmalı-telli (piyano veya gitar gibi) çalgıların diğer enstrümanlara göre daha iyi tanındığı (Kang ve ark., 2009) ve müzik eğitimi ve tecrübesi olan KI kullanıcılarının enstrüman tanımada daha başarılı olduğu gösterilmiştir (Galvin ve ark., 2008). KI kullanıcılarının enstrümanları izole bir şekilde dinlemeleri ile müzikal arka planlarla dinlemeleri arasında önemli bir fark olabileceği de bilinmektedir (Looi ve ark., 2008). Öte yandan perde ve melodi algısında önemli bir etkisi olan akustik işitmenin tını ile ilgili görevlerde etkili olmadığı ve bimodal işitme koşulundaki KI kullanıcılarının da tını algısında temporal zarf bilgisini kullanmaya devam ettikleri gösterilmiştir (Kong ve ark., 2012; Parkinson ve ark., 2019).

4.3.5. KI Kullanıcıların müzik algısı üzerinde etkisi olan değişkenler

Konuşma ve müzik sinyalleri bir çok spektral ve temporal bilgiyi kompleks bir biçimde taşır ve bu sinyallerin doğru bir şekilde algılanabilmesi için zengin bir spektral ve temporal işitsel işleme gereklidir. Ancak daha önce de bahsedilen teknolojik ve biyolojik engeller nedeniyle KI kullanıcıları müziği algılamakta zorlanmaktadır. Araştırmacılar bu engelleri psikoakustik açıdan değerlendirmiştir. Won ve ark. (2010) 42 post-lingual yetişkin KI kullanıcısının spektral ve temporal işitsel işleme becerileri ile müzik algılama becerilerini değerlendirmiştir. Spektral çözünürlük UW-CAMP testinin 3 alt testiyle de korelasyon göstermiş ancak temporal hassasiyetin UW-CAMP ile herhangi bir ilişkisi gözlenmemiştir. Ardından benzer bir çalışmada Jung ve ark. (2012) 8-16 yaş arasındaki 9 pre-lingual çocuk KI kullanıcısını değerlendirmiştir. Bu çalışmada çocukların temporal işitsel işleme becerileri ve müzik algılama becerileri yetişkinlere göre daha kötü gözlenmiş ve araştırmacılar çocukların spektral çözünürlük ipuçlarını daha çok kullandıklarını belirtmişlerdir. Daha yakın zamanda yapılan bir başka çalışmada normal işiten bireylerin, işitme cihazı kullanıcılarını ve KI kullanıcılarının spektrot temporal modülasyon hassasiyetleri ve müzik algılama becerileri değerlendirilmiştir. Bu çalışmada ise müzik algılama becerileri ile spektrot temporal modülasyon hassasiyeti arasında ilişki gözlenmiş ancak tek başına spektral veya tek başına temporal modülasyon testinin müzik algılama becerisi ile bir ilişkisinin olmadığı görülmüştür (Choi ve ark., 2018). Temporal işitsel işlemenin ve özellikle de hassas temporal bilginin tını algısı için önemli bir beceri olduğu bilinmektedir (Heng ve ark., 2011; Kong ve ark., 2011); öte yandan temporal beceriler ritim algısı için de önemlidir ve KI kullanıcıları ritim ile ilgili görevlerde normal işitenler ile benzer performans sergilemektedir (Kong ve ark., 2004). Ritim algısında görülen bu normale yakın performans ritmik öğelerin genellikle KI ses işlemcisinin hızının çok daha altında bir hızda yani saniyeler düzleminde cereyan ediyor olmasından ve KI kullanıcılarının vurmali çalgıları daha başarılı bir şekilde tanıyabiliyor olmalarından kaynaklanmaktadır (Kong ve ark., 2009).

Müzik algısı üzerinde etkisi olduğu bilinen önemli bir değişken de elektrik ve akustik işitmenin bir araya gelmesidir (Driscoll ve ark., 2016; Kelsall ve ark., 2017; Parkinson ve ark., 2019; Yüksel ve ark., 2019). Söz konusu fayda karşı kulağında işitme cihazı kullanan KI kullanıcılarında (Dorman ve ark., 2008), Hybrid KI kullanıcılarında (Kelsall ve ark., 2017) ve karşı kulağında işitme cihazı kullanmayan ama alçak frekans işitme eşikleri 50 dB HL'den daha iyi olan standart KI kullanıcısı çocuklarda (Yüksel ve ark., 2019) gösterilmiştir ve bu çalışmaların ortak bulgusu akustik işitmenin perde ve melodi algısında büyük bir fayda

sağladığı ancak faydanın tını algılama becerisinde kısıtlı olduğu yönündedir. Bu gözlemin nedeni doğrudan incelenmemiş ancak Golub ve ark. (2012) Hybrid KI kullanıcılarında yaptığı çalışmada perde ayırt etme ve spektral çözünürlük becerilerinde üstün performans gözlerken, temporal işitsel işlemle görevinde akustik işitmenin herhangi bir katkısı olmadığını belirtmişlerdir. Bu bulgu hem spektral hem de temporal ipuçlarına ihtiyaç duyulan tını algısında gözlenen performans ile uyumlu bir bulgu olarak ele alınmıştır.



5. GEREÇ VE YÖNTEM

5.1. Katılımcılar

Müzik algısında etkisi olan değişkenlerin kapsamlı bir biçimde değerlendirilebilmesi için çalışmamıza prelingual ve postlingual işitme kayıplı bireylerin yanı sıra progresif işitme kayıplı ve işitsel nöropati spektrum bozukluğu (INSB) bulunan 12 yaşın üzerindeki bireyler de dahil edilmiştir. Prelingual işitme kaybı grubu 5 yaşından önce başlayan ileri/çok ileri derecede işitme kayıplı, postlingual işitme kaybı grubu 5 yaşından sonra başlayan ileri/çok ileri derecede işitme kayıplı, progresif işitme kaybı grubu ise işitme kaybının ilk tanısında ileri/çok ileri derece işitme kaybından daha iyi bir işitme kapasitesi bulunan ve/veya işitmesi normal olan ancak zaman içerisinde ileri/çok ileri derecede işitme kaybı ortaya çıkan bireyleri kapsamaktadır. INSB grubu ise otoakustik emisyonların varlığına rağmen işitsel uyarılmış beyinsapı testinde yanıt elde edilemeyen veya anormal dalga biçimi gözlenen ve polarite değişikliği ile koklear mikrofoni görünümü elde edilerek INSB tanısı alan katılımcıları kapsamaktadır. Bu grupta yer alan bireylerin INSB tanısının ardından davranışsal saf ses ve konuşma algısı testleri ile takip edilmekte ve dil gelişimleri izlenmektedir. Bu testlerden elde edilen neticelere göre hasta geleneksel işitme cihazı ile en az 6 ay takip edilmekte ve eğer yaşa uygun işitme ve konuşma becerileri gelişmiyorsa koklear implant tatbik edilmektedir.

12-45 yaş arasında (Ortalama = 21,8 yıl) 55 koklear implant kullanıcısı ve 18-35 yaş arasında (Ortalama = 23,5 yıl) 15 normal işiten birey çalışmamızda değerlendirilmiştir. Normal işiten bireyler UW-CAMP testinin Türkçe adaptasyonu sürecinde çalışmamıza dahil olmuşlardır. KI kullanıcıları içerisinde 2 bilateral KI kullanıcısı bulunurken, 11 bimodal (karşı kulağında işitme cihazı kullanan) birey bulunmaktadır. Günlük yaşamdaki performansı değerlendirebilmek adına test esnasında katılımcıların işitme cihazlarını çıkarmaları istenmemiş, bilateral KI kullanıcıları bilateral halde test edilmişlerdir.

Çalışmamız Marmara Üniversitesi Tıp Fakültesi Etik Kurulu tarafından 15.09.2017 tarihinde 09.2017.556 protokol numarası ile onaylanmıştır. Çalışma öncesinde 18 yaşından büyük katılımcılardan yazılı onay alınmış, 18 yaşından küçük bireylerin hem kendilerinden hem de ebeveynlerinden yazılı onay alınmıştır.

KI grubu için çalışmaya dahil edilme kriterleri bir yıldan daha uzun süre KI kullanıcısı olmak, kontrol randevularına düzenli katılım gösteriyor olmak, işitme kaybına ek zihinsel

ve/veya motor geriliğe sahip olmamak, test esnasında 12 yaşın üzerinde olmak ve radyolojik görüntüleme ile doğrulanmış normal sekizinci sinir ve koklea anatomisine sahip olmak şeklindedir. KI revizyon cerrahisi uygulanan kullanıcılar ve koklear malformasyona sahip olan ve/veya sekizinci sinir hipoplazisi/aplazisi bulunan kullanıcılar çalışma dışında bırakılmıştır. KI kullanıcıları arasında yapılandırılmış bir müzik eğitimi alan herhangi bir katılımcı bulunmamakla birlikte, müziğe yönelik ilgileri ve enstrüman çalma geçmişleri farklılık göstermektedir. Her iki kulağında da saf ses odyometrik değerlendirme ile 4 frekans ortalaması 25 dB HL ve daha iyi olan ve timpanometrik değerlendirme ile normal orta kulak fonksiyonlarına sahip olan bireyler normal işitme grubuna dahil edilmiştir. Bu 15 katılımcının yapılandırılmış ve düzenli bir müzik eğitimine sahip olmamaları gözlemlenmiştir.

Çalışmamıza katılan KI kullanıcıları arasında INSB tanısı bulunmayan katılımcıların tamamı KI öncesinde kliniğimizde takip edilen ileri ve/veya çok ileri derecede sensörinöral işitme kayıplı bireylerdir. Tamamı en az 1 yıldır KI kullanmakta ve takip randevularına düzenli olarak katılım göstermektedir. 55 katılımcı arasında 49 Cochlear kullanıcısı, 5 Med-El (Innsbruck, Avusturya) kullanıcısı ve 1 Advanced Bionics (Valencia, Kaliforniya, ABD; AB) kullanıcısı bulunmaktadır. Cochlear kullanıcılarının üçü Nucleus 7, on altısı Nucleus 6, on sekizi Nucleus 5, on biri Kanso ve bir tanesi ESPr3G ses işlemcisi kullanmaktadır. Med-El kullanıcılarının ise üç tanesi Opus 2 ve iki tanesi Sonnet ses işlemcisi kullanırken, çalışmamızdaki AB kullanıcısı Naida Q70 ses işlemcisi kullanmaktadır. Cochlear kullanıcıları n-of-m tabanlı bir strateji olan Advanced Combination Encoder (ACE) stratejisini kanal başına 900 Hz uyarım sıklığı ile kullanmakta; Med-El kullanıcıları en apikalde yer alan 4 elektrotun hassas temporal yapıyı ilettiği, diğer elektrotların ve bu elektrotların paralel olarak CIS tabanlı olarak çalışabildiği Fine Structure Processing - 4 (FSP-4) stratejisini kullanmakta; AB kullanıcıları ise yine CIS tabanlı olan ancak alçak geçiren filtrenin kesim frekansının daha yüksek olduğu ve çok daha yüksek uyarım sıklığı değerlerine (örn. Saniyede 5156 atım) çıkabilen HiRes Optima S stratejisini kullanmaktadırlar (Wolfe ve Schafer, 2014).

Çalışmamızda müzik algılama becerisi Türkçe CAMP (TR-CAMP) testi ile, spektral çözünürlük spektral dalga ayırt etme (SDA) testi ile, temporal çözünürlük ise temporal modülasyon transfer fonksiyonu (TMTF) testi ile değerlendirilmiştir. Testler yorulmanın etkilerini ortadan kaldırmak amacıyla her bir katılımcıya farklı bir sıralama ile uygulanmıştır. Tüm testler akustik düzenlemesi yapılmış çift cidarlı Industrial Acoustic Company (Sound Seal, IL, ABD) odalarında yapılmıştır. Testler özel olarak MATLAB (MathWorks Inc., Matick, MA, ABD) ortamında geliştirilmiştir. Testlerin çalıştırıldığı bilgisayara bağlı bir odyometre

(Otometrics Madsen Astera, Natus Medical, Danimarka) ile uyaranlar serbest sahada 65 dB A düzeyinde iletilmiş ve uyaranların iletildiği JBL Control One (JBL, Harman International, ABD) hoparlörler katılımcılara tam karşıdan bakacak şekilde 1 metre uzaklıkta konumlandırılmıştır. Uygulanan üç test de tek bir oturumda tamamlanmış ancak katılımcıların dinlenebilmesi ve dikkatlerinin dağılmaması için uygulamacının kontrolünde kısa aralar verilmiştir.

5.2. Spektral Dalga Ayırt Etme Testi

Spektral dalga ayırt etme (SDA) testi spektral çözünürlüğün değerlendirilmesine sıklıkla kullanılan bir yöntemdir ve Henry ve Turner (2003) tarafından geliştirilmiştir. Uyaran olarak kullanılan spektral dalgalar, 200 farklı frekansa sahip saf ses bileşeninin toplanması ile oluşturulan 150 ms çıkış/iniş zamanına sahip toplamda 500 milisaniye uzunluğundaki ve 100-5000 Hz bant genişliğine sahip uyaranlardır. Böylece 200 milisaniye süren bir plato elde edilmektedir. Uyaran frekans içeriği açısından bu şekilde oluşturulduktan sonra uyarana sinüzoidal biçimli zarf uygulanmış ve spektral dalga ortaya çıkmıştır. Zarf biçimlendirmesinin ardından uyaran konuşma sesinin uzun dönem spektral özelliklerine uygun olarak filtrelenebilir. Uyaranlar oktav başına düşen dalga (ripples per octave - rpo) olarak ifade edilen 14 farklı yoğunlukta oluşturulmuştur ve dalga yoğunlukları 1,414 rpo oranında değişmektedir (dalga/oktav oranları: 0,125; 0,176; 0,250; 0,354; 0,500; 0,707; 1,000; 1,414; 2,000; 2,828; 4,000; 5,657; 8,000; 11,314). Bu şekilde bir standart (referans) bir de ters (dalga fazı ters değiştirilmiş) uyaran oluşturulmaktadır. Katılımcıdan bu standart ve ters uyaranları birbirinden ayırt etmesi beklenmekte ve uyaranları ayırt edebildiği en yüksek yoğunluklu nokta rpo cinsinden SDA eşiği olarak kabul edilmektedir. Test paradigması zorunlu seçim yapımına dayalı adaptif bir yapıdadır ve eşikler iki yukarı bir aşağı yöntemi ile elde edilmektedir. Katılımcı her denemede ikisi aynı (standart) ve birisi farklı (ters) spektral dalga duymakta ve bilgisayar ekranında bu üç sesi belirten üç düğme bulunmaktadır. Katılımcıdan diğer ikisinden farklı olan uyarıyı tespit etmesi ve ekrandaki ilgili düğmeye basması istenmektedir. Aynı oturum üç kere tekrarlanmakta ve üç oturumun ortalama eşiği SDA eşiği olarak kabul edilmektedir. Test başlamadan önce katılımcılar ile uygulamacı beraber alıştırmayı yapmış ve katılımcının test uygulamasını anladığından emin olunmuştur.

5.3. Temporal Modülasyon Transfer Fonksiyonu

Çalışmamızda kullanılan temporal modülasyon transfer fonksiyonu (TMTF) testi Bacon ve Viemeister (1985) tarafından geliştirilmiş ve Won, Drennan, ve ark. (2011b) tarafından çalışmamızda kullanılan haline getirilmiştir. Test uyarıyı birinci kısmı geniş bant gürültüden,

ikinci kısmı ise olarak sinüzoidal genlik modülasyonu uygulanmış geniş bant gürültüden olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Uyarının her bir kısmı birer saniyedir ve katılımcılar toplamda 2 saniyelik bir uyarı duymaktadır. Katılımcılardan modüle edilmiş uyarının olduğu kısmı bilgisayar ekranından işaretlemeleri istenmektedir. Test öncesinde modüle edilmemiş geniş bant gürültü ve farklı modülasyon frekanslarına göre modüle edilmiş geniş bant gürültü örnekleri dinletilmiş ve katılımcının uyarıları anladığından emin olduktan sonra test başlamıştır. SDA testi ile benzer şekilde eşikler iki yukarı bir aşağı şeklinde taranmış ve her bir modülasyon frekansı için tespit edilen minimum modülasyon derinliği dB cinsinden ölçülmüştür. Test %100 modülasyon derinliği ile başlamış ve ilk dört geri dönüşte (katılımcının hatalı yanıt verdiği ve koşulun kolaylaştırıldığı seviye) 4 dB’lik adımlar sonrasındaki 10 geri dönüşte ise 2 dB’lik adımlar ile modülasyon derinliği değiştirilmiştir. Son 10 geri dönüşün ortalaması eşik olarak kabul edilmiştir. Bildirilen dB değerleri %100 modülasyon derinlik seviyesine göreceli olarak bildirilmiştir, bu nedenle eksi seviyeler daha iyi performansı işaret etmektedir. TMTF’nin literatürde sıklıkla görünen yüksek modülasyon frekanslarına doğru ortaya çıkan düşüşünün gözlenebilmesi için 10 Hz, 50 Hz, 100 Hz ve 300 Hz modülasyon frekansları kullanılmıştır. Modüle edilen uyarılar şu formüle göre oluşturulmuştur:

$$y(t) = [f(t)] \times [1 + m_i \sin(2\pi f_m t)]$$

Bu denklemde t zamanı, f(t) geniş bant Gaussian gürültü taşıyıcısını, m_i modülasyon indeksini (derinlik), f_m modülasyon frekansını ve y/t ortaya çıkan uyarıyı işaret etmektedir. Modülasyona bağlı olarak ortaya çıkan şiddet değişimlerini dengelemek için modüle edilmiş dalga biçimi $1 + (m_i^2/2)$ faktörüne göre bölünmüştür.

5.4. Müzik Algılama Becerisinin Klinik Olarak Değerlendirilmesi

Müzik algısı içerisinde bulunan kültüre bağlı olarak değişiklik gösterdiği için UW-CAMP testi yapılan bir ön çalışma ile kültürümüze uygun hale getirilmiştir. Uygulama sürecinde UW-CAMP testinin geliştirilmesinde takip edilen yöntemler ve süreç kullanılmış (Kang ve ark., 2009) elde edilen test TR-CAMP olarak isimlendirilmiştir. Yapılan ön çalışma kapsamında UW-CAMP testinin geliştirildiği University of Washington Virginia Merrill Bloedel Hearing Research Center araştırmacı tarafından TÜBİTAK 2241/A Yurtdışı Doktora Sırası Araştırma Burs Programı ile 3 ay süreyle ziyaret edilmiş, UW-CAMP kullanımı ve analizine yönelik eğitim alınmış, UW-CAMP için kaynak kodları düzenlemiş ve testin Türkçe içeriği hazırlanmıştır.

UW-CAMP kompleks perde yönü ayırt etme (PYA), tını tanıma ve melodi tanıma alt testlerinden oluşmakta ve katılımcının bilgisayar ekranındaki yönergeleri takip ederek tek başına uygulayabileceği bir yapıya sahiptir. Bu nedenle yazılım ara yüzü tamamen dilimize çevrilmiştir. Perde yönü ayırt etme kültürden bağımsız bir yapıya sahip olduğu için bu alt testte herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Ancak melodi tanıma testi tamamen yeniden oluşturulmuş, tını testinde de bazı değişiklikler yapılmıştır.

PYA testi iki zorunlu seçeneğe sahip bir yukarı bir aşağı adaptif test paradigmasını kullanmaktadır. Bilgisayar ekranında uyarıcı çiftlerine denk gelen 1 ve 2 numaralı düğmeler bulunmakta ve katılımcıdan daha yüksek perdeye sahip olan uyarıcıyı işaret eden düğmeye basılması istenmektedir. Kullanılan tonlar sentetik olarak oluşturulmuş kompleks tonlardır ve 760 milisaniye uzunluğundadırlar. Daha düşük perdeye sahip uyarıcı için üç farklı temel frekans kullanılmış (262 Hz – Do 4, 330 Hz - Mi 4, and 392 Hz – Sol 4) ve perdesi daha yüksek olan uyarıcının aralığı 1-12 yarım ton arasında adaptif olarak değişmiştir. İlk uyarıcı çifti 12 yarım ton aralık ile sunulmuş ve verilen her doğru yanıt ile teste daha küçük aralığa sahip uyarıcı çifti ile devam edilirken, verilen her hatalı yanıt ile teste daha büyük aralığa sahip bir uyarıcı çifti ile devam edilmiştir. PYA eşiği her bir temel frekans için sekiz geri dönüşün (katılımcının hatalı yanıt verdiği ve koşulun kolaylaştırıldığı seviye) son altısının ortalaması olarak yarım ton cinsinden hesaplanmış ve üç temel frekansın ortalama yarım ton değeri de genel PYA eşiği olarak kabul edilmiştir. Doğru bir psikometrik fonksiyon elde edilmesi için katılımcının bir yarım tonluk aralıklarda doğru yanıt verdiği her bir geri dönüşte test algoritması tarafından ortalamaya bir sıfır değeri eklenmiştir.

UW-CAMP'in melodi tanıma alt testinde bulunan 12 melodiden 9 tanesi değiştirilmiştir. Twinkle Twinkle Little Star dilimizde Daha Dün Annemizin, Happy Birthday dilimizde Mutlu Yıllar ve Frere Jacques de dilimizde Baş Parmağım isimleri ile yaygın olarak bilindiği için bu üç melodi olduğu şekliyle korunmuştur. Geri kalan 9 şarkı ise ülkemizde yaygın olarak bilinen melodiler olmadıkları için üniversitemizin müzik bölümünden öğretim üyelerinin de fikirleri alınarak çocuk şarkıları ve ninnilerden oluşan 13 şarkılık bir havuz oluşturulmuştur. Bu 13 şarkı ise frekans aralığı ve tekrar eden en uzun nota açısından UW-CAMP testini geliştiren araştırmacılar ile beraber değerlendirilmiş ve 4 şarkı elenmiştir. Şarkılara yönelik detaylar Tablo 1'de gösterilmiştir. Bu düzenleme ile 12 şarkılık set oluşturulmuştur. Kullanılan tüm melodiler sabit aralık zamanlıdır yani tüm notaların uzunluğu ve notalar arasındaki zaman farkları melodi içerisinde ve farklı melodiler arasında aynıdır. Bu uygulama ritmik öğelerin şarkıların tanınırlığı üzerindeki etkisinin yok etmek amacıyla yapılmıştır. Melodiler 13 saniye

uzunluktadırlar, 500 milisaniye uzunluğundaki sekizlik notalarda oluşmakta ve saniyede 60 vuruş hızındadırlar. Her bir melodi nota başına farklı şiddet varyasyonları ile (± 4 dB) beş farklı şekilde oluşturulmuştur ve şiddet ipuçlarının kullanılmasını engellemek amacıyla her defasında farklı bir versiyon kullanılmıştır. Melodiler üçer kez rastgele biçimde çalınmış ve katılımcılar toplamda 36 melodi dinlemişlerdir. Test öncesinde katılımcıların zorunlu olarak tamamladıkları bir alıştırmaya kısmı bulunmaktadır ve katılımcıların şarkı isimlerine tıklayarak her bir melodiyi ikişer kez dinlemeleri sağlanmıştır. Bu alıştırmaya kısmının ardından asıl test başlamış ve katılımcılar önce melodiyi dinlemiş ardından ekrandaki 12 şarkı arasından ilgili melodiyi tespit edip ismine tıklamaları istenmiştir. Doğru bilme oranı yüzde cinsinden hesaplanarak melodi tanıma skoru elde edilmiştir. Öte yandan şarkıların KI kullanıcıları tarafından test öncesinde ne derece bilindiğinin / tanındığının anlaşılması için alıştırmaya safhasında katılımcılardan şarkıların ne kadar tanıdık olduğunu 5 üzerinden puanlamaları istenmiştir.

Tablo 1: Melodi tanıma testindeki şarkılar ve akustik özellikleri

Şarkı İsmi	En Büyük Aralık (Yarım Ton)	Aralık Genişliği (Yarım Ton)	En Çok Tekrar Eden Nota	Tanınırlık
Kırmızı Balık	2	4	2	3,90
Yağmur Yağıyor	2	4	2	4,10
Mutlu Yıllar (Happy Birthday)	5	5	4	4,80
Arı Vız Vız Vız	4	6	4	4,50
Bak Postacı Geliyor	3	7	3	4,00
Baltalar Elimizde	3	9	2	3,90
Baş Parmağım (Frere Jacques)	4	9	3	3,50
Daha Dün Annemizin (Twinkle Twinkle)	7	9	2	4,00
Küçük Kurbağa	5	9	3	4,00
Mini Mini Bir Kuş	5	10	3	4,90
Benim Annem	5	12	5	4,00
Dağ Başını Duman Almış	3	12	4	3,90

UW-CAMP'in tını algısı testinde kullanılan piyano, klasik gitar, keman, viyolonsel, flüt, trompet, saksafon ve klarnet arasından keman ile ayırt edilmesi ülkemizde çok güç olacağı için viyolonsel ülkemizde en yaygın kullanılan enstrümanlardan birisi olan bağlama ile değiştirilmiştir. Diğer enstrümanlar ise popüler türk müziğinde sıklıkla kullanılan enstrümanlar oldukları için değiştirilmeden korunmuştur. Tüm enstrümanlar profesyonel sanatçılar tarafından profesyonel ses kayıt stüdyolarında kayıt edilmiş ve genlikleri ortalama kare kökü değerlerine göre normalize edilmiştir. Sanatçılar aynı beş notalık sekansı benzer artikülasyon ile mezzo forte şiddetinde çalmışlardır. Test prosedürü melodi tanıma testi ile büyük ölçüde aynıdır. Alıştırma safhasında katılımcılar bilgisayar ekranındaki enstrüman ismi ve fotoğraflarına tıklayarak her bir enstrümanı ikişer kere dinlemişlerdir. Ardından asıl teste geçilmiş ve katılımcılardan duydukları enstrümanı ekranda seçmeleri istenmiştir. Sekiz enstrüman rastgele bir biçimde üçer kez toplamda 24 kere dinletilmiş ve doğru yanıt oranı yüzde cinsinden hesaplanarak tını algılama skoru elde edilmiştir.

5.5. İstatistiksel Yöntem

TR-CAMP testinin kullanılabilmesi amacıyla yapılan ön çalışma kapsamında TR-CAMP ile KI kullanıcıları ve normal işiten bireylerden elde edilen değerler UW-CAMP'in geliştirildiği çalışmalardan elde edilen veriler ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Şarkıların ve enstrümanların bilinme oranları grafik olarak sunulmuştur. Şarkıların akustik özellikleri ve tanınırlıkları ile test esnasındaki tanınma oranları arasındaki ilişkiler Spearman korelasyon katsayısı hesaplanarak incelenmiştir. Çalışmada değerlendirilen prelingual, postlingual, progresif ve İNSB KI gruplarından elde edilen veriler de ayrı tablolar halinde sunulmuştur. Bu gruplar arasındaki farklar çok yönlü varyans analizi ile incelenmiştir. İstatistiksel anlamlılık için p değeri 0,05 olarak kabul edilmiştir.

Çalışmamızın amacına yönelik olarak ise SDA ve dört ayrı frekansta ölçülen TMTF test sonuçları ile TR-CAMP'in üç alt testi arasındaki korelasyonlar Pearson Korelasyon Analizi ile incelenmiştir. Korelasyon analizinin ardından TR-CAMP ile ölçülen üç alt boyut yani perde, melodi ve tını algısı için literatürdeki bilgiler ışığında açıklayıcı olabileceği düşünülen bağımsız değişkenler ile üç ayrı çoklu doğrusal regresyon modeli oluşturmuş ve test edilmiştir. Perde algısı üzerinde spektral çözünürlük, temporal zarf ve temporal hassas bilginin etkisini görebilmek amacıyla spektral dalga ayırt etme ve temporal modülasyon transfer fonksiyonu ortalama değerleri; melodi algısı üzerinde perde algısı ve spektral çözünürlüğün etkisini görmek için spektral dalga ayırt etme ve perde algısı; tını algısı için spektral çözünürlük, temporal hassas bilgi ve temporal zarfın etkisini görebilmek için ise spektral dalga ayırt etme ve 100 Hz

TMTF regresyon analizinde bağımsız değişkenler olarak değerlendirilmiştir. Tını algısında 10 Hz ve 50 Hz yavaş salınımları temsil ettikleri ve uyaranların merkez frekanslarını kapsamadığı için temporal zarf bilgisi ile kolaylıkla çözümlenebilecek frekanslardır ve bu nedenle analize dahil edilmemişlerdir. Öte yandan 300 Hz temporal hassas bilgide KI kullanıcılarında bir üst sınır olduğu ve 300 Hz TMTF performansı çok zayıf olabildiği için analize dahil edilmemiştir. Bu açıdan 100 Hz TMTF'nin hem temporal zarfı hem de temporal hassas yapıyı KI kullanıcılarında temsil edebileceği düşünülmüştür. Oluşturulan regresyon modellerinin her bir değişken için varyans enflasyon faktörü ve koşul indeksi bilgileri verilmiştir. Tüm istatistiksel testler SPSS Versiyon 24 (IBM Corp. Armonk, New York, ABD) ile gerçekleştirilmiştir.



6. BULGULAR

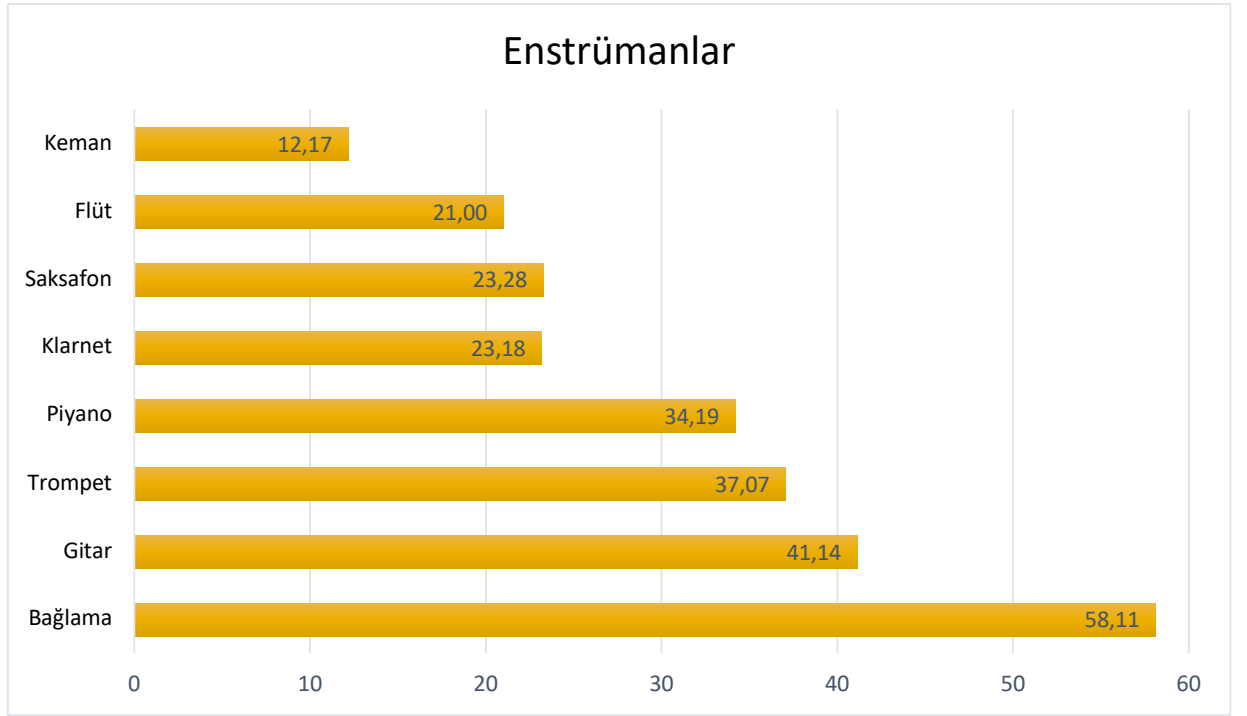
6.1. TR-CAMP Ön Çalışması

Ön çalışma kapsamında 15 Türkçe konuşan ve normal işiten birey değerlendirilmiştir. Normal işiten bireylerin ve çalışmamızda değerlendirilen tüm KI kullanıcılarından elde edilen bulgular Tablo 2’de görülmektedir. PYA testi her üç temel frekans için ve ortalama olarak sunulmuştur. Gruplar arasındaki farklar tüm alt testler için istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0,05$) ve beklendiği gibi normal işiten bireyler KI kullanıcılarına göre çok daha yüksek bir performans sergilemişlerdir.

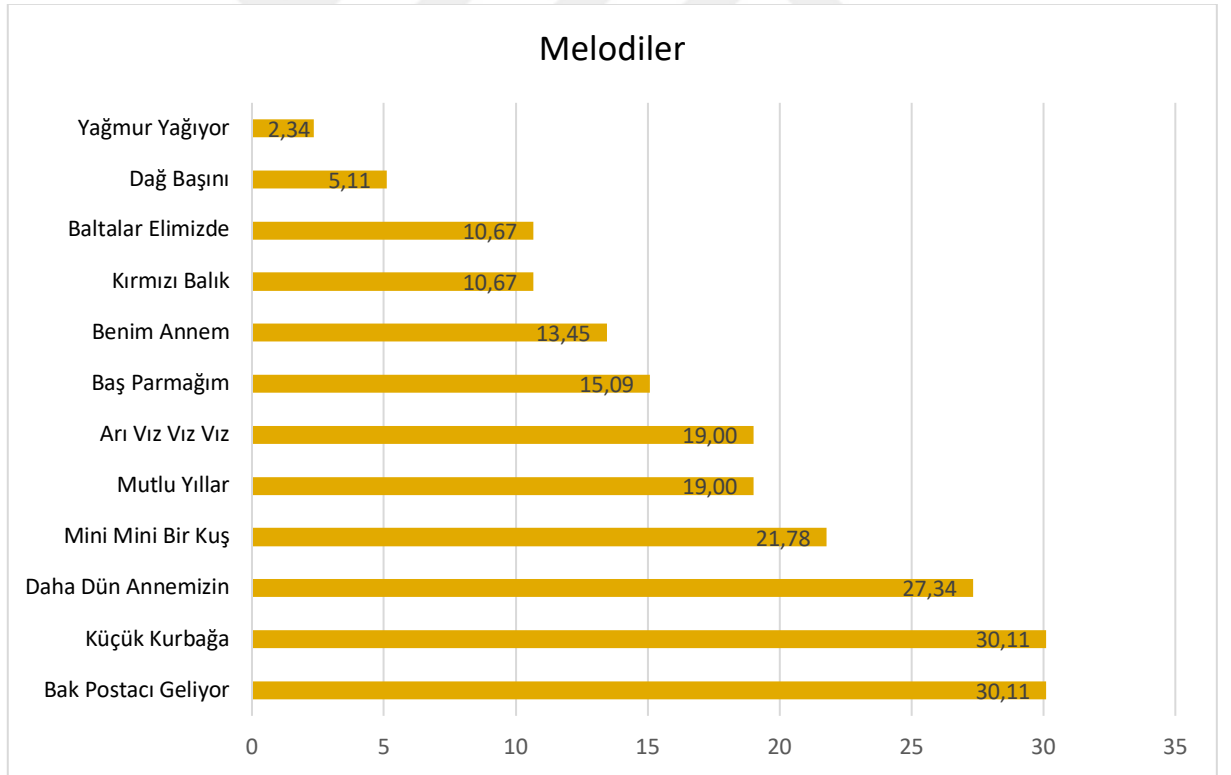
Tablo 2: TR-CAMP bulguları

TR-CAMP Boyutu	KI Kullanıcıları (Standart Sapma)	Normal İşiten Bireyler (Standart Sapma)
262 Hz PYA (Yarım Ton)	4,49 (1,19)	1,28 (0,40)
330 Hz PYA (Yarım Ton)	3,45 (1,14)	1,02 (0,35)
392 Hz PYA (Yarım Ton)	3,52 (1,20)	0,88 (0,32)
Ortalama PYA (Yarım Ton)	3,82 (1,17)	1,06 (0,36)
Melodi Algısı (%)	17,06 (16,88)	87,50 (8,40)
Tını Algısı (%)	31,27 (15,13)	86,15 (12,31)

KI kullanıcılarının tını testindeki enstrümanları ve melodi testindeki şarkıları doğru şekilde tanıma değerleri Şekil 1 ve Şekil 2’de gösterilmektedir. Melodi testinde şarkıların doğru bilinirlik oranları ile akustik özellikler şarkıların tanınırlığı Spearman korelasyon katsayısı hesaplanarak değerlendirilmiş ve sadece en büyük nota aralığı ile test puanları arasında anlamlı bir korelasyon elde edilmiştir ($r = 0,65$; $p<0,05$).



Şekil 1: KI grubunun yüzde cinsinden enstrüman tanıma skorları



Şekil 2: KI grubunun yüzde cinsinden melodi tanıma skorları

6.2. KI Gruplarının Müzik ve Psikoakustik Algılama Becerileri

Çalışmamızda prelingual dönemde işitme kaybı ortaya çıkan (N = 14), postlingual dönemde işitme kaybı ortaya çıkan (N = 16), işitme kaybı ilerleyici şekilde meydana gelen (N

= 13) ve İNSB tanılı (N = 12) olmak üzere 4 ayrı KI grubu test edilmiştir. TR-CAMP, SDA ve TMTF test skorları Tablo 3’de sunulmuştur.

Tablo 3: Farklı KI gruplarının demografik özellikleri ve müzik algılama ve psikoakustik becerileri

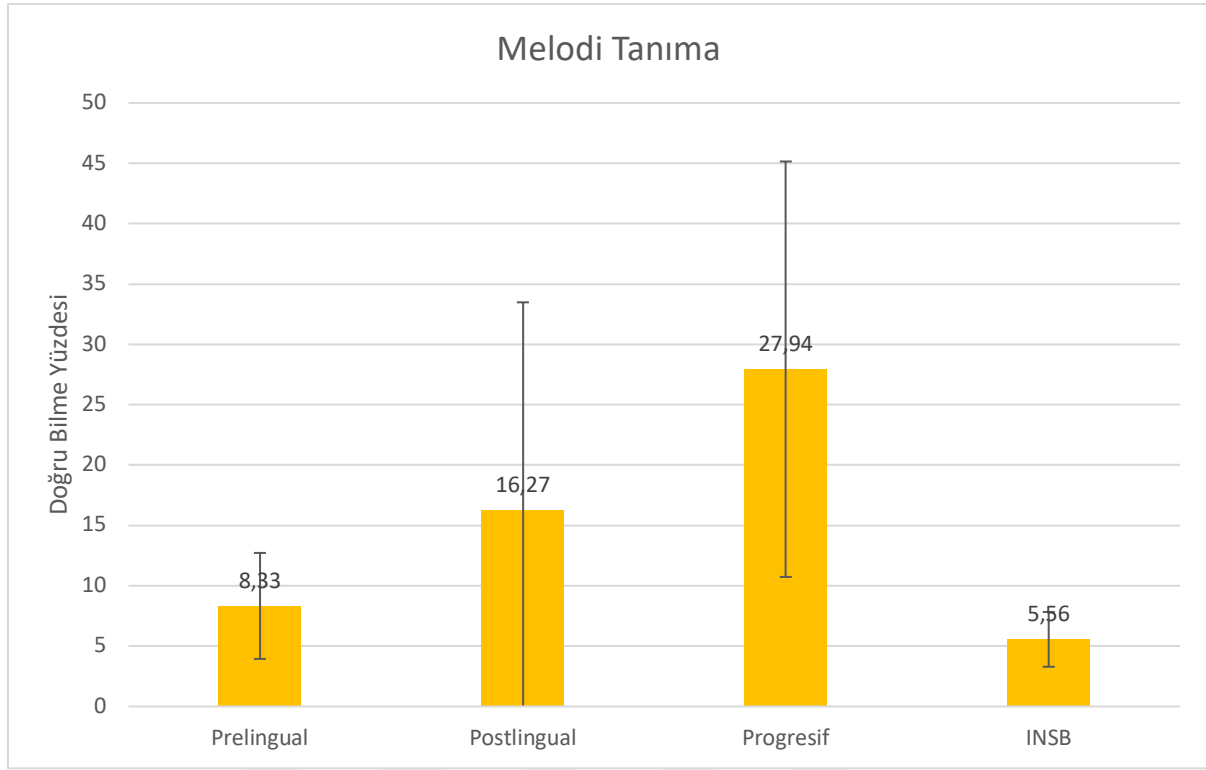
	PEL	SS	POL	SS	Progresif	SS	INSB	SS
Yaş (Yıl)	18,92	4,05	27,57	14,02	15,59	14,02	16,50	1,89
Tanı Yaşı (Ay)	15,75	12,50	119,36	125,63	38,00	125,63	19,67	28,81
KI Yaşı (Ay)	60,25	40,04	235,71	202,68	122,53	202,68	71,00	39,26
262 Hz PYA (YT)	3,74	2,69	6,09	3,82	3,52	3,82	5,02	3,41
330 Hz PYA (YT)	3,34	1,78	4,22	3,04	2,54	3,04	4,46	3,46
392 Hz PYA (YT)	3,88	2,92	4,35	3,09	2,40	3,09	4,07	4,09
Ortalama PYA (YT)	3,65	2,13	4,89	2,90	2,82	2,90	4,52	3,42
Melodi Tanıma (%)	8,33	4,39	16,27	17,21	27,94	17,21	5,56	2,27
Tını Tanıma (%)	28,13	17,36	29,17	15,67	36,03	15,67	27,08	10,96
SDA (rpo)	0,78	0,52	0,89	0,83	1,25	0,83	0,75	0,60
10 Hz TMTF (dB)	-13,58	9,30	-15,02	8,61	-18,64	8,61	-13,13	7,42
50 Hz TMTF (dB)	-8,33	7,17	-9,66	6,93	-12,89	6,93	-9,07	7,58
100 Hz TMTF (dB)	-6,93	6,78	-7,02	6,49	-8,61	6,49	-3,37	3,44
300 Hz TMTF (dB)	-0,57	0,64	-2,11	2,54	-1,11	2,54	-1,70	1,24

Üç farklı frekansta ve ortalama olarak elde edilen PYA, melodi tanıma, tını tanıma, SDA ve dört frekansta yapılan TMTF değerlerinin bağımlı değişken olarak analiz edildiği ve grup etkisinin incelendiği çok yönlü varyans analizinde melodi tanıma testi performansı açısından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu görülmüştür, Welch's F (3, 14.574) = 24,623, $p < 0,05$). Levene test ile yapılan değerlendirmede melodi tanıma testi değerlerinde varyansların homojenitesinin sağlanmadığı görüldüğünden ($p > 0,05$) gruplar arasındaki özel farklar Games-Howell post-hoc testi ile incelenmiştir. Tablo 4’de görüleceği gibi progresif KI grubu prelingual ve INSB gruplarından istatistiksel olarak anlamlı derecede daha iyi performans sergilerken ($p < 0,05$) progresif ve postlingual grup arasında böyle bir fark yoktur

($p>0,05$). Öte yandan postlingual grup ile prelingual ve INSB grupları arasında da istatistiksel olarak anlamlı bir fark elde edilmemiştir ($p>0,05$).

Tablo 4: Çoklu gruplarda Games-Howell post-hoc analiz sonuçları

Grup 1	Grup 2	Ortalama Fark (1-2)	Standart Hata	p	95% Güven Aralığı	
					Alt Sınır	Üst Sınır
Prelingual	INSB	2,78	1,67	0,37	-2,00	7,56
	Postlingual	-7,94	4,95	0,41	-22,22	6,34
	Progresif	-19,61	4,81	0,00	-33,17	-6,04
INSB	Prelingual	-2,78	1,67	0,37	-7,56	2,00
	Postlingual	-10,71	4,88	0,17	-24,88	3,46
	Progresif	-22,38	4,74	0,00	-35,82	-8,95
Postlingual	Prelingual	7,94	4,95	0,41	-6,34	22,22
	INSB	10,71	4,88	0,17	-3,46	24,88
	Progresif	-11,67	6,65	0,32	-29,80	6,47
Progresif	Prelingual	19,61	4,81	0,00	6,04	33,17
	INSB	22,38	4,74	0,00	8,95	35,82
	Postlingual	11,67	6,65	0,32	-6,47	29,80



Şekil 3: Melodi tanıma testi skorları ve standart sapma aralıkları

6.3. Korelasyon Analizi

TR-CAMP testinin üç alt testi ve SDA ve TMTF testleri arasındaki ilişkiler Pearson korelasyon analizi ile değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular Tablo 5’de sunulmuştur. TR-CAMP alt testlerinin birbirleri ile ve SDA ile istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkisi vardır ($p < 0,05$). Melodi tanıma testi dışında diğer müzik algılama boyutları ile 10 Hz, 50 Hz ve 100 Hz TMTF arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler mevcutken 300 Hz TMTF ile melodi ve tını tanıma becerileri arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler mevcuttur ($p < 0,05$). Ortalama PYA ile melodi tanıma, SDA ve 10 Hz TMTF arasında; melodi tanıma ile ortalama PYA, SDA ve tını tanıma arasında ve tını tanıma ile melodi tanıma arasında 0,5 ve üzerinde korelasyon katsayıları elde edilmiştir.

6.4. Regresyon Analizi

TR-CAMP ile ölçülen üç alt boyut için üç ayrı çoklu regresyon modeli oluşturmuş ve test edilmiştir. Perde algısı için açıklayıcı değişken olarak SDA ve dört frekans TMTF ortalama değerleri (Regresyon P), melodi algısı için açıklayıcı değişken olarak SDA ve perde algısı değerleri (Regresyon M) ve tını algısı için açıklayıcı değişken olarak SDA ve dört frekans TMTF ortalama değerleri (Regresyon T) ile oluşturulan doğrusal regresyon kriterleri sağlanmıştır. Regresyon P, Regresyon M ve Regresyon T için Durbin-Watson istatistiği

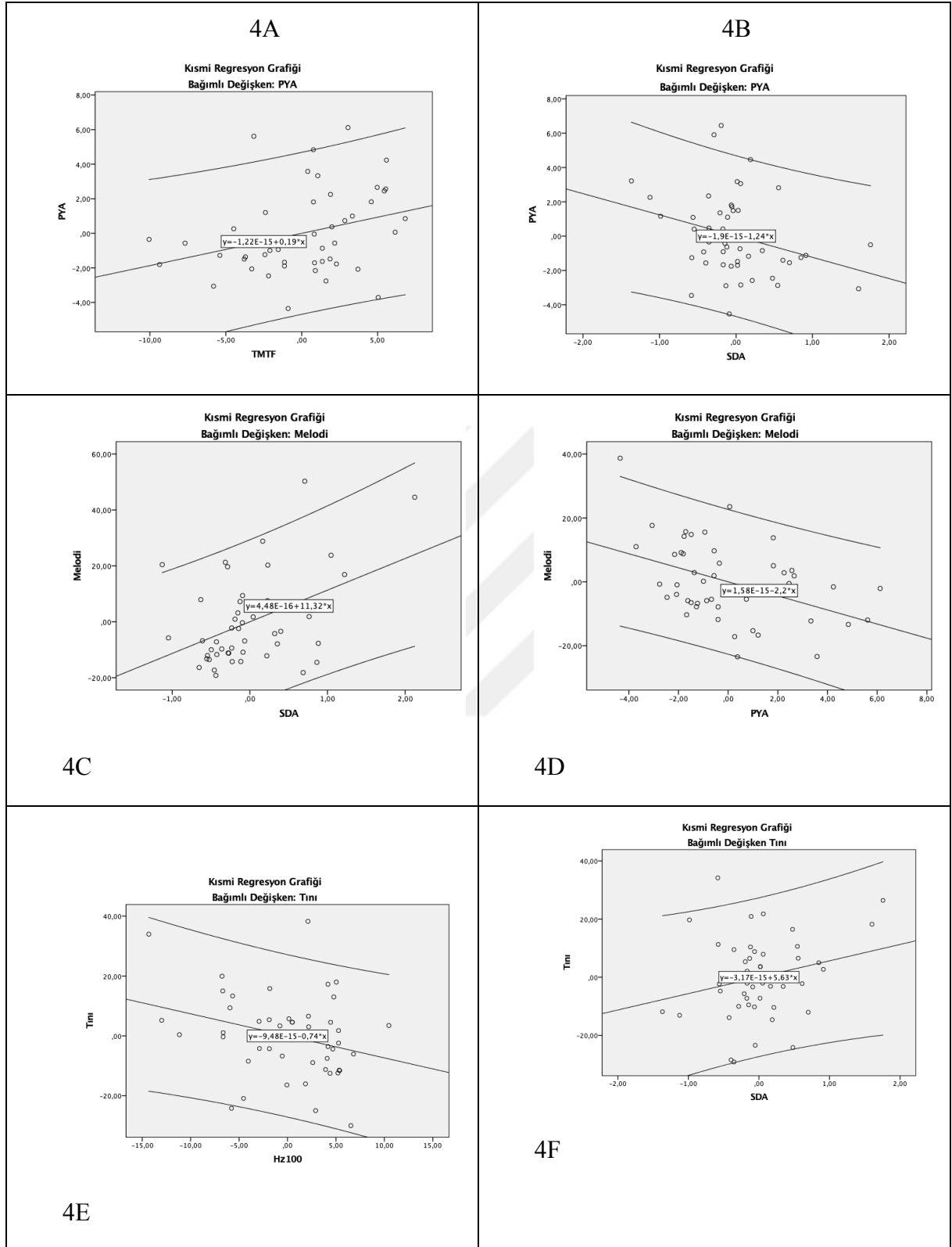
sırasıyla 1,792, 1,417 ve 1,736 elde edilmiş ve artıkların bağımsız olduğu ($p<0,05$) ve regresyon grafiklerinde yapılan görsel incelemede değişkenler arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmüştür (Şekil 4A-4F). Studentize artıkların ile standardize edilmemiş tahmin değerleri grafiğinin görsel incelemesi ile de eş değişkenlik olduğu görülmüştür. Öte yandan açıklayıcı değişkenler arasında güçlü bir korelasyon gözlenmemiş, çoklu doğrusallık tolerans ve varyans şişirme faktörü ile incelenmiş ve çoklu doğrusallık olmadığı görülmüştür (tolerans: 0,667 – 0,744; varyans şişirme faktörü 1,344 – 1,499).

Üç regresyon analizinden elde edilen veriler Tablo 6’da gösterilmiştir. Regresyon P modeli istatistiksel olarak anlamlıdır ($F(2,52) = 10,980$; $p<0,05$). Spektral ve temporal çözünürlük perde algısında meydana gelen varyansın %30’unu açıklayabilmekte ve TMTF ortalamasındaki 1 dB’lik azalma PYA ortalama skorunu 0,19 yarım ton; SDA testindeki 1 rpo artış PYA ortalama skorunu 1,24 yarım ton artırmaktadır. Regresyon M modeli de istatistiksel olarak anlamlıdır ($F(2,52) = 31,584$; $p<0,05$). Spektral çözünürlük ve perde algısı melodi tanımadaki varyansın %56’sını açıklayabilmekte ve SDA testindeki 1 rpo artış melodi algılama test skorunu 12,45 puan, PYA ortalamasındaki 1 yarım ton artış da melodi algılama test skorunu 2,2 puan artırmaktadır. Regresyon T modeli de istatistiksel olarak anlamlıdır ($F(2,52) = 7,751$; $p<0,05$) Spektral çözünürlük ve temporal hassas bilgi tını algısında meydana gelen varyansın %22’sini açıklayabilmekte ve 100 Hz TMTF’deki 1 dB’lik azalma tını algısını 0,74 puan; SDA testindeki 1 rpo artış tını algısını 6,82 puan artırmaktadır.

Tablo 5: Çalışma değişkenleri ve Pearson korelasyon katsayıları

		TR-CAMP					TMTF					
		262 Hz PYA	330 Hz PYA	392 Hz PYA	Ortalama PYA	Melodi Tanıma	Tını Tanıma	SDA	10 Hz	50 Hz	100 Hz	300 Hz
262 Hz PYA	Korelasyon Katsayısı		0,73**	0,71**	0,92**	-0,59**	-0,40*	-0,41*	0,56**	0,30*	0,28*	0,10
	p		0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04	0,05	0,48
330 Hz PYA	Korelasyon Katsayısı	0,74**		0,65**	0,88**	-0,56**	-0,41*	-0,40*	0,52**	0,25*	0,27*	0,13
	p	0,00		0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,09	0,07	0,36
392 Hz PYA	Korelasyon Katsayısı	0,71**	0,65**		0,88**	-0,51**	-0,34*	-0,55**	0,71**	0,50**	0,35*	0,08
	p	0,00	0,00		0,00	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,58
Ortalama PYA	Korelasyon Katsayısı	0,92**	0,88**	0,88**		-0,62**	-0,43*	-0,51**	0,66**	0,39*	0,33*	0,12
	p	0,00	0,00	0,00		0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,43
Melodi Tanıma	Korelasyon Katsayısı	-0,59**	-0,56**	-0,51**	-0,62**		0,59**	0,70**	-0,39*	-0,33*	-0,11	-0,32*
	p	0,01	0,01	0,03	0,01		0,00	0,00	0,07	0,01	0,19	0,03
Tını Tanıma	Korelasyon Katsayısı	-0,40*	-0,41*	-0,34*	-0,43*	0,59**		0,43*	-0,39*	-0,39*	-0,42*	-0,35*
	p	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00		0,00	0,01	0,01	0,00	0,02

*: İstatistiksel olarak anlamlı korelasyon katsayıları ($p < 0,05$). **: İstatistiksel olarak anlamlı ve 0,5 ve üzerindeki korelasyon katsayıları



Şekil 4A-F: Değişkenlerin regresyon grafikleri ve regresyon eğrilerinin %95 güven aralıkları

Tablo 6: Çoklu doğrusal regresyon analiz sonuçları

Bağımlı Değişken	Açıklayıcı Değişken	Katsayı	Standart Hata	p	VŞF	R ²	Düzeltilmiş R ²
PYA	TMTF	0,19	0,08	0,033	1,49	0,33	0,30
	SDA	-1,24	0,59	0,040			
Melodi Tanıma	SDA	12,45	2,68	0,000	1,34	0,58	0,57
	PYA	-2,20	0,68	0,002			
Tını Tanıma	100 Hz TMTF	-0,74	0,36	0,048	1,19	0,25	0,22
	SDA	6,81	3,03	0,029			

7. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışmamızda farklı etiyolojilere sahip KI kullanıcılarında müzik algılama becerileri ön çalışma ile kültürümüze uygun hale getirilen TR-CAMP testi ile değerlendirilmiş ve gruplar arasındaki farklar incelenmiş, sonrasında da spektral ve temporal çözünürlüğün bu beceriler üzerindeki etkileri incelenmiştir.

7.1. TR-CAMP Bulguları

Çalışmamızın birincil amacı kültürümüze uygun ve klinik amaçlarla kullanılabilecek bir müzik algısı değerlendirme aracı elde etmektir. Bu amaçla geliştirilen TR-CAMP KI kullanıcılarında müzik algısını teknik bilgiye ihtiyaç duymadan, göreceli olarak kısa bir sürede ve güvenli bir şekilde kullanılabilecek bir araç olmuştur. Melodi testi için UW-CAMP ile bire bir aynı şekilde melodiler oluşturulmuş ve bu süreçte yazılımın kaynak kodundaki ses sentezleyiciler kullanılmış, melodilerin nota tekrarı, ses aralığı gibi özellikler açısından benzer olması gözetilmiş, şarkıların tanınırlığı kontrol edilmiş ve neticesinde literatür ile benzer bulgular elde edilmiştir. Tını algısı testi için profesyonel bir bağlama sanatçısı tarafından icra edilen ve ses kayıt stüdyosunda kaydedilen bağlama örneği, tını testi içerisinde en çok bilinen enstrüman olmuş ve kültürel adaptasyonun önemini göstermiştir. TR-CAMP ile ülkemizde gelecekte KI veya işitme cihazı kullanıcıları ile yapılabilecek müzik algılama çalışmalarının önü açılmış ve önemli bir fırsat ortaya koyulmuştur.

Çalışmamızda TR-CAMP ile değerlendirilen normal işiten bireyler PYA alt testinde ortalama 1,06 yarım ton ayırt etme performansı gösterirken, KI kullanıcıları 3,82 yarım ton ayırt edebilmişlerdir. Literatürde UW-CAMP ile yapılan çalışmalarda normal işiten bireyler 1 yarım tonda ayırt etme sergilerken, KI kullanıcıları 3,0 ile 2,95 yarım ton arasında değişen performanslar sergilemişlerdir (Drennan ve ark., 2015b; Jung ve ark., 2012; Kang ve ark., 2009). Bu açıdan bakıldığında çalışma ve kontrol grubumuz daha önce yapılan çalışmalar ile uyumlu gözükmektedir. Bu noktada perde algısının Türkçe konuşan ve İngilizce konuşan toplumlarda büyük ölçüde kültürden bağımsız olduğu da düşünülebilir. Literatürde ana dili tonal yapıda olan bireylerin, olmayan bireylere göre daha gelişmiş bir perde algısına sahip olduğuna (Wong ve ark., 2012) ve dahası KI kullanan çocuklarda tonal dil ile öğrenimi ile ortaya çıkan nöral plastisitenin perde algısını geliştirdiğine yönelik bulgular mevcuttur (Deroche ve ark., 2019). Ancak Türkçe ve İngilizce arasında bu şekilde bir ayrım

bulunmamasının iki farklı nedeni vardır. Birincisi iki dilin de tonal bir yapıya sahip olmamasıdır. Her ne kadar fonem yapısı ve uzun dönem spektral özellikler açısından iki dil arasında fark olsa da, perde algısını etkileyecek düzeyde bir ton farkı olabileceğine herhangi bir bulgu mevcut değildir. İkincisi etken ise müzik kültürü ile ilgilidir. Klasik Türk Müziği ile Klasik Batı Müziği müzikal aralıklar açısından farklıdır ve bu müzikler ile büyüyen bir insanın perde algısını etkileyebilecek düzeydedir. Ancak Osmanlı İmparatorluğunun son dönemlerinde ve erken Cumhuriyet döneminde ülkemizde ciddi bir çok sesli Batı Müziği etkisi ortaya çıkmış ve bu eğilimin devamı olarak günümüzde de popüler Türk Müziği çok büyük ölçüde Klasik Batı Müziğin aralıklarına göre oluşturulur olmuştur (Pohlit, 2010). Melodi tanıma testi için seçilen melodilerin tamamı Klasik Batı Müziği aralıklarına uygun eserlerdir ve bu durum kültürümüzde tüm ninni ve çocuk şarkılarında da kolaylıkla görülebilir. Bu nedenle UW-CAMP ve TR-CAMP'in perde algısında önemli farklar olmaması beklendik bir durumdur.

Melodi ve tını algısı ise hem kültüre hem de söz konusu kültür içerisinde yaşayan bireylerin müziğe bakış açıları, müzik dinleme alışkanlıkları ve müzik kültürlerine bağlı olarak değişebilir. UW-CAMP ile yapılan daha önceki bir çalışmada normal işitenler melodi ve tını algılama alt testlerinde sırasıyla %87,5 ve %94,2 başarı elde ederken (Kang ve ark., 2009), KI kullanıcıları aynı testlerden iki farklı çalışmada sırasıyla %25,1 ve %26,2 ve %43,2 ve %45,3 başarı elde edebilmiştir (Drennan ve ark., 2015b; Kang ve ark., 2009). Bizim çalışmamızda normal işiten bireyler melodi ve tını tanıma testlerinden sırasıyla %87,50 ve %86,15 başarı elde ederken, KI kullanıcıları daha önceki çalışmalardan daha düşük skorlar elde etmiş ve sırasıyla %17,06 ve %31,27 başarı göstermişlerdir. Normal işiten bireyler ile KI kullanıcıları arasındaki bu fark hem çalışma grubumuzun heterojen yapısı ile hem de toplumsal olarak müziğe yönelik tutumlar düzlemlerinde açıklanabilir. Hem bizim çalışmamızda hem de Kang ve ark. (2009) tarafından yapılan çalışmada KI kullanıcılarının melodilerin isimlerinin tanıdıklığı ile test skorları arasında bir ilişki elde edilememiş olması çalışmamızda kullanılan melodilerin seçiminin bir etkisinin olmadığını düşündürmektedir. Bu düşüncüyü destekleyen bir diğer bulgu ise melodilerin içerisinde en alçak ve en yüksek nota arasındaki mesafe arttıkça doğru bilme oranının da arttığını gösteren $r = 0,65$ oranındaki yüksek korelasyon katsayısıdır.

Çalışmamızdaki KI kullanıcılarında gözlenen düşük melodi ve tını algılama skorlarının bir örneği UW-CAMP'in Güney Kore için yapılan adaptasyonunda da görülebilir (Jung ve ark., 2010). Bu çalışmadaki Koreli KI kullanıcıları da melodi ve tını algılama testlerinde sırasıyla %21,1 ve %25,7 başarı sergilemişlerdir. Kore ve Türkiye kültürünün müziğe yaklaşımının Amerikan kültürü ile karşılaştırıldığı zaman belirli bir dereceye kadar benzer olmaları

beklenebilir. Yaşam boyu müzikte farklı enstrümanlara ve melodilere maruz kalmanın belirli bir müzik belleği oluşmasına ve öğrenilen melodi ve tınılardan bağımsız olarak müzik algısının gelişmesine yol açabileceği de göz önüne alındığı zaman (Peretz ve ark., 1998), hayatlarının belirli dönemlerinde işitsel yoksunluk yaşayan bireylerin içerisinde bulunan kültürün dezavantajlarını katlanarak deneyimlemeleri ve müzik açısından daha da artmış bir yoksunluk yaşamaları olasıdır.

Tını alt testinde en çok bilinen enstrümanın bağlama (%58,11) en az bilinen enstrümanın ise keman olması (%12,17) viyolonsel değerlendirme dışı bırakarak yerine bağlamayı koymanın doğru bir yaklaşım olduğunu göstermektedir. Bağlamayı sırasıyla gitar (%41,14), trompet (%37,07) ve piyano (%34,19) takip etmektedir. Söz konusu sıralama daha önce UW-CAMP ile yapılan çalışmalar ile oldukça benzerdir. Gitar, trompet ve piyano hem UW-CAMP geliştirme çalışmasında (Kang ve ark., 2009) hem de Kore adaptasyon çalışmasında (Jung ve ark., 2010) ilk üç sırayı almaktadır. Klarnet (%23,18), flüt (%21,00) ve saksafon (%23,28) tanımada elde edilen skorlar ise trompetin aksine nefesli sazlar grubunun frekans yapısı açısından birbirinden ayırt edilmesinin zor olduğu fikrinin desteklemektedir.

7.2. Etiyolojik Etkiler

Etiyolojik etkilerin müzik ve genel anlamda psikoakustik beceriler üzerindeki etkisine yönelik literatürde bulunan bilgiler çok kısıtlıdır ve birden çok KI kullanıcısı grubun aynı çalışmada değerlendirildiği bir çalışma bilgimiz dahilinde literatürde bulunmamaktadır. Bu açıdan ve İNSB tanımlı KI kullanıcılarının değerlendirilmesi açısından çalışmamız literatürde bir ilk olma özelliği taşımaktadır. Genel olarak bakıldığında çalışmamızdaki KI kullanıcıları arasında tüm müzik algılama testlerinde normal işiten bireylere benzer performans sergileyen katılımcı bulunmamak ve tüm gruplar normal işiten gruba göre istatistiksel olarak anlamlı derecede kötü performans sergilemişlerdir. Bu bulgu literatür ile tamamiyle uyumlu ve beklendik bir durumu yansıtmaktadır ve mevcut KI teknolojisinin müzik algılama becerisi açısından ne derece kısıtlı olduğunu göstermektedir.

Jung ve ark. (2012) prelingual işitme kayıplı çocukların, postlingual işitme kayıplı yetişkinlerle karşılaştırıldığında UW-CAMP'in PYA ve tını tanıma alt testlerinde yetişkinler ile benzer performans sergilediklerini ancak melodi tanıma alt testinde şans seviyesinin altında kalarak oldukça zayıf bir performans sergilediklerini göstermiştir. Melodi tanımaya yönelik bu özel bulgu bizim çalışmamızda da mevcuttur. İNSB (%5,56) ve prelingual (%8,33) grupları UW-CAMP melodi alt testi için bildirilen şans seviyesinin (Kang ve ark., 2009) altında performans sergilemişlerdir. Bu bulguların altında birden çok neden yatmakta olabilir.

Sonuçlara INSB grubu açısından bakıldığı zaman, INSB hastalarının heterojen yapısı göz önüne alınmalıdır. Her ne kadar hastalar kliniğimizde KI öncesinde yakından ve dikkatli bir şekilde takip edilmiş ve implantasyon kararları objektif ve benzer kriterler gözetilerek alınmış olsa da, INSB her zaman için patolojinin tam yerinin ve etkisinin belirlenmesinin güç olduğu geniş bir patoloji grubunu işaret etmektedir. Çalışmamızda değerlendirilen 12 INSB'li kullanıcısının sadece birisinde belirgin bir polinöropati bulgusu bulunmakta, diğerlerinde herhangi bir ek engel gözlenmemektedir; öte yandan nöropatinin ortaya çıkmasına neden olan patoloji bölgeleri ve etiyolojileri de net olarak bilinmemektedir. Çalışma grubunun göreceli olarak küçüklüğü de göz önüne alındığında elde edilen verilerin dikkatli bir şekilde genellenmesi gerekmektedir. İlgi çekici bir şekilde, çalışmamızdaki en yüksek PYA performansına sahip katılımcılardan birisi INSB tanılı 33 numaralı katılımcıdır. Katılımcının PYA ortalaması 1,02 yarım ton ile normal işiten bireylere yakinken, melodi tanıma performansı %5,56 ile şans eşiğinin altındadır. Bu gözlem ise INSB ve prelingual KI gruplarında gözlenen düşük melodi tanıma performansı ile ilgili bir diğer olası önemli etken olan melodi tanıma görevinin kompleks yapısına dikkat çekmektedir. Diğer müzikal ve psikoakustik becerilerin aksine melodi tanımada çalışma belleği veya uzun süreli bellek gibi bilişsel becerilerin etkisi daha yüksektir. Bu nedenle melodi tanıma testinde gözlenen performans farkları, işitme kaybının işitsel olmayan beceriler üzerindeki etkisi ile açıklanabilir ve bu açıklamayı PYA, SDA ve TMTF testlerinde fark gözlenememesi de desteklemektedir. Çalışma belleğinin konuşmayı anlama üzerindeki etkisine yönelik oldukça geçerli modeller öne sürülmüştür (Rönnberg ve ark., 2008). Bu modellerde uygun dinleme koşullarında dil girdilerinin hızlı ve isabetli bir şekilde uzun süreli bellekte saklanan fonolojik temsiller ile eşleştirilebildiğini, dinleme koşulu zorlaştıkça da eşleştirme sürecinde sorunlar yaşanacağı ve anlaşılabilirliğin sağlanabilmesi için bilişsel yükün artacağı belirtilmektedir (Ronnberg, 2003). Benzer bir model melodi tanıma becerisi için de öne sürülebilir; prelingual ve INSB grubun işitme kaybı tanısı ile KI kullanımı arasında ortalama sırasıyla 44,5 ve 51,3 ay fark vardır ve bu özellikle prelingual dönem için oldukça uzun bir işitsel yoksunluğa işaret etmektedir. Her iki grupta da nöral plastisite için hassas dönem olarak ele alınan 3,5 yaş sınırı KI için geçilmiştir ve özellikle bu dönemde meydana gelen yoksunluk hem işitme sistemini fonksiyonel açıdan etkilemekte hem de işitme sistemi ile daha üst seviyelerdeki nörofizyolojik etkileşimleri olumsuz yönde etkilemektedir (Glick ve Sharma, 2017)

Benzer bir durum literatürdeki diğer postlingual yetişkin KI kullanıcılarına göre melodi tanıma skorları düşük olan postlingual grup (%16,7) için de söylenebilir. KI kullanmaya

başlayana kadar ortalama 116,3 ay yani yaklaşık 10 yıl boyunca ileri/çok ileri derecede işitme kaybı ile yaşayan hastaların da tıpkı prelingual ve INSB grubu gibi işitme cihazı ve/veya işitsel rehabilitasyon katılımlarının işitsel ve işitsel olmayan gelişimlerine ne derece katkı sağladığını çalışmamızda tespit etmek ne yazık ki mümkün değildir. Nöral dejenerasyon ve kros modal plastisite yaşamın ilerleyen yıllarında da bilişsel kapasiteyi olumsuz olarak etkileyebilmektedir. Ani işitme kaybı yaşayan yetişkin hastalarda yapılan vaka çalışmalarında nöral değişimlerin işitme kaybının 3. ayında etkisini göstermeye başladığı bildirilmiştir (Glick ve Sharma, 2017). Progresif KI grubu yaşamlarının ilk yıllarını ve KI kullanımına başlayana kadar geçen süreyi diğer gruplara göre daha iyi bir işitme kapasitesi ile geçirmiştir. Öte yandan -ilgi çekici bir şekilde- test esnasındaki yaş ortalaması en düşük grup progresif KI grubudur. Bu açılarından gelecekteki çalışmalarda farklı etiyolojilerin ve/veya farklı müdahale yöntemlerinin kronolojik yaşa ve işitsel yoksunluk süresine de bağlı olarak bilişsel kapasite ile psikoakustik beceriler düzleminde incelenmesi doğru bir yaklaşım olabilir. Çalışmamızda işitsel yoksunluk süresinin etkisi katılımcıların farklı etiyolojilere sahip olması ve progresif işitme kayıplı grupta yoksunluk süresinin doğru bir şekilde ölçülmesinin mümkün olmaması nedeniyle incelenememiştir.

7.3. Spektral ve Temporal Becerilerin Müzik Algılama Becerisi Üzerindeki Etkisi

Çalışmamızda hem değerlendirilen değişkenler arasındaki korelasyonlar incelenmiş hem de doğrusal çoklu regresyon modelleri ile her bir müzik becerisi için açıklayıcı değişkenlerin tespit edilmesi ve etki miktarlarının elde edilmesi sağlanmıştır. Müziğin zengin bir spektral ve temporal içeriğinin olması değerlendirilen becerilerin birbirleri ile belirli bir dereceye kadar ilişki içerisinde olmasını beklendik kılmaktadır. Hem korelasyon hem de regresyon modellerimizin sonuçları göz önüne alındığında KI kullanıcılarının perde algısı için hem temporal hem de spektral bilgileri kullandıkları, ses perdesine yönelik ipuçlarını kullanarak melodileri algılayabilmek için özellikle geniş bir spektral algıya ihtiyaç duydukları, melodileri ortaya çıkaran enstrümanları tanıyabilmek için ise hem detaylı bir spektral algıya hem de düşük ve yavaş hızlarda meydana gelen temporal bilgilere ihtiyaç duydukları söylenebilir.

KI kullanıcılarında mevcut ses işleme stratejilerinin yapısı ve kullanıcılara bağlı nörofizyolojik limitler nedeniyle müzikal perde büyük ölçüde her bir elektrotun koklear içerisinde uyarım yaptığı yer ve uyarımın temporal zarfı kullanılarak algılanmaktadır. 300 Hz'e kadar uyarım sıklığı ile de perde algısı oluşmakta ancak üzerindeki frekanslarda tamamen uyarımın yapıldığı yer ve temporal zarfa bağımlılık oluşmaktadır (Drennan ve Rubinstein, 2008). Çalışmamızda kullanılan PYA testi sesin referans bir uyarana göre daha yüksek veya

daha alçak perdede olduğunun anlaşılmasına dayanan bir testtir. Böyle bir görevde koklea içerisinde uyarım yeri yani temporal zarf ile ilgili bilgiler oldukça faydalı olabilmektedir. KI kullanıcılarının koklea içerisinde elektrotların sıralı şekilde uyarılması ile algıladıkları perde değişimleri farklılık göstermekle birlikte, iyi bir algı bir veya en fazla üç veya dört elektrot arasındaki farkın algılanabilmesi ile ortaya çıkabilmektedir (Tong ve Clark, 1985). Öte yandan çalışmamızda kullanılan uyaranlar kompleks bir frekans yapısına sahiptir ve üst ve alt harmoniklere sahiptir. Bu harmoniklerin algılanması ise ancak detaylı bir spektral çözünürlük ile mümkün olabilmektedir. Bu açıdan bakıldığında temporal ve spektral çözünürlüğün bir arada algılanmasının iyi perde kompleks perde algısı için en derece elzem olduğu anlaşılabilmektedir. Çalışmamızda TMTF ortalamasındaki 1 dB'lik değişim ile 0,19 ton değişiklik olduğu görülmüştür; ilk bakışta küçük bir değer gibi gözükse de çalışmamızdaki KI kullanıcılarında TMTF değerleri 0,25 – 17,95 dB aralığında değişirken, SDA değerleri 0,16 – 3,51 rpo aralığında değişmektedir. Bu değerler penceresinden bakıldığında her iki boyutun da katkısı daha iyi anlaşılabilir.

Perde algısında temporal zarf bilgisinin önemi farklı çalışmalar iler gösterilmiş olsa da KI kullanıcılarında müzik algılama becerilerinin bir bütün olarak spektral çözünürlük ile olan ilişkisi kendisine literatürde daha çok yer bulmuştur (Drennan ve Rubinstein, 2008; Jung ve ark., 2012; Won ve ark., 2010). Temporal işitsel işlemlenin etkisine yönelik aynı derecede güçlü kanıtlar elde edilememiştir. Spektral çözünürlüğün temporal becerilere kıyasla bu derece öne çıkmasının nedeni KI kullanıcılarının temporal hassas yapıyı algılamada sergiledikleri sınırlılık ile açıklanabilir. Tını algısı ele alınacak olursa, daha önce de bahsedildiği gibi normal işiten bireylerde tını algısı temporal zarf, spektral zarf ve spektral hassas bilgi gibi bir çok farklı alandaki ipuçları kullanılarak algılanırken, KI kullanıcılarının sadece temporal zarfı kullanarak tınıyı algılayabildikleri gösterilmiştir. Bizim çalışmamızdaki tını algısı regresyon hipotezi, temporal hassas yapının katkısının 100 Hz TMTF ile değerlendirilebileceği ve tını algısını belirlemede önemli bir rol üstelenebileceği yönündeydi. Bu hipotezimiz elde ettiğimiz veriler ile desteklenmiş ve temporal hassas yapının temporal zarf ile beraber başta tını algısı olmak üzere müzik algısı üzerinde önemli etkileri olabileceği görülmüştür. Her ne kadar TMTF testi ile birincil olarak genliğe bağlı temporal zarf bilgisine yönelik algılama becerileri değerlendirilse de, artan uyarım hızları ile temporal hassas bilgiye yönelik ihtiyacın da arttığı düşünülebilir. Bu fark konusunda literatürde tam bir ayrım noktası belirtilmemekle birlikte, artan TMTF frekansı ile algılanabilen modülasyon derinliğinin azalıyor olması ve 300 Hz'de sınırlanıyor olması temporal hassas bilginin bu hızlarda etkili olabileceğini düşündürmektedir.

Melodi algısı üzerinde spektral çözünürlüğün büyük bir etkisinin olması ($r = 0,71$; $p < 0,05$) literatür ve regresyon modelimiz ile uyumludur. Melodi tanıma testinde kullanılan tonlar PYA testinde kullanılan tonlar ile benzer bir şekilde üretilmiştir. Bu nedenle PYA skorları ile melodi tanıma becerisi arasında ilişki olması oldukça beklendik bir durumdur. Perde algısı ile birlikte geniş bir frekans aralığında detaylı bir spektral çözünürlüğe ihtiyaç duyulması melodilerin nota aralığının genişliği ile melodileri doğru tanıma arasındaki pozitif korelasyon ile de desteklenmektedir. Notalar birbirinden uzaklaştıkça melodi içerisindeki mesafeler ve sonucunda algılanan zıtlıklar da artmakta ve doğal olarak melodileri algılaması ve tanınması da kolaylaşmaktadır. Daha hassas bir spektral algı ile daha yakın mesafeler de algılanabilmektedir ve bu nedenle spektral çözünürlüğü daha iyi olan bireyler hem perdeleri hem de notaların birbirlerinden uzaklıklarından bağımsız olarak melodileri tanıyabilmektedirler. Benzer bir bulgu Galvin ve ark. (2007) yaptıkları çalışma ile de gösterilmiştir. Kullanılan melodilerde notalar arasındaki mesafe bir yarım tondan beş yarım tona çıkınca, KI kullanıcılarının melodi tanıma testindeki performansları da %32'den %64'e çıkmıştır.

Melodi testinde elde edilen bulgunun TR-CAMP için özel olarak üretilmiş izole melodiler için olduğu unutulmamalıdır. Gerçek dinleme ortamında çoğunlukla melodiler daha karmaşık yapıların (ritim, farklı enstrümanlar, birden çok melodi, sözler vb.) eşlik ettiği zorlu bir görevdir. Çalışmamızda kullanılan melodi tanıma görevi, melodilere eşlik eden yapılar olmadığı ve ritmik kısımları ortadan kaldırıldığı için tanınması daha zor melodilerdir. Söz konusu zorluk normal işiten bireyleri de etkilemektedir. Normal işiten bireyler tüm şarkıları ismen bildiklerini belirseler bile, katılımcıların neredeyse tamamı test esnasında şarkıların tamamını bilememiştir. Daha önceki çalışmalar ile ritmik öğeler dahil olunca, melodi tanıma performansının önemli derecede arttığı gösterilmiştir (Gfeller, Turner, ve ark., 2002). Ancak bu çalışmada kullanılan melodiler de çalışma için özel geliştirilmiş melodilerdir ve gerçek şarkılarda olduğu gibi karmaşık bir yapı içerisinde sunulmamışlardır. Gerçek şarkıların kullanıldığı melodi tanıma görevlerinde de KI kullanıcıları ortalama %10-20 arasında performans gösterebilmektedirler (Gfeller ve ark., 2005). Gerçek şarkılarda bulunan zengin içerik şarkıların tanınmasına yardımcı olsa da, diğer yapıların varlığı işitsel olarak melodilerin algılanmasını zorlaştırmakta ve işitsel ortamı “kalabalık” bir hale getirmektedir.

7.4. Sonuç

Çalışmamız ile klinik amaçlı olarak müzik algılama becerilerini değerlendirmeyi amaçlayan bir test olan TR-CAMP kültürümüze kazandırılmıştır ve ülkemizde yapılabilecek müzik algılama becerilerini değerlendirme amaçlı bilimsel çalışmalar için önemli bir ilk adım

atılmıştır. TR-CAMP kullanılarak yapılan değerlendirmeler ile progresif olarak işitme kaybı ortaya çıkan bireylerin özellikle melodi tanıma konusunda diğer etiyolojilere sahip bireylere göre istatistiksel olarak anlamlı bir üstünlükleri olduğu da ortaya koyulmuştur. Bu üstünlüğün altında yatan nedenin müzik ile olan daha önceki deneyimlerin ve progresif işitme kaybına sahip çocukların takiplerinin düzenli olarak yapılıyor olmasının olduğu düşünölmüştür. Öte yandan müzik algılama becerisinin psikoakustik becerilerin kompleks bir bütünlüğü ile ortaya çıktığı ve perde, melodi ve tını tanıma becerilerinin farklı becerilerle değişen miktarlarda ilişki içerisinde olduğu görölmüştür. Bu nedenle hem hastaların Kİ öncesindeki işitsel deneyimleri ve takipleri hem de Kİ teknolojisindeki kısıtlılıkların iyileştirilmesi ile müzik algısının da iyileşebileceğı düşünölmüştür.



8. KAYNAKLAR

Adunka O, Unkelbach MH, Mack M, Hambek M, Gstoettner W, & Kiefer J. Cochlear implantation via the round window membrane minimizes trauma to cochlear structures: a histologically controlled insertion study. *Acta Otolaryngol.* 2004; 124(7): 807-812. doi:10.1080/00016480410018179

Aldridge D, & Aldridge G. *Melody in music therapy: A therapeutic narrative analysis*: Jessica Kingsley Publishers. 2008.

Anderson ES, Nelson DA, Kreft H, Nelson PB, & Oxenham AJ. Comparing spatial tuning curves, spectral ripple resolution, and speech perception in cochlear implant users. *J Acoust Soc Am.* 2011; 130(1): 364-375. doi:10.1121/1.3589255

ANSI. *American National Standard Psychoacoustical Terminology*: American National Standards Institute. 1973.

Aragon D, Farris C, & Byers JF. The effects of harp music in vascular and thoracic surgical patients. *Altern Ther Health Med.* 2002; 8(5): 52-54, 56-60.

Armstrong M, Pegg P, James C, & Blamey P. Speech perception in noise with implant and hearing aid. *The American journal of otology.* 1997; 18(6 Suppl): S140-141.

Arnon S, Shapsa A, Forman L, Regev R, Bauer S, Litmanovitz I, & Dolfin T. Live music is beneficial to preterm infants in the neonatal intensive care unit environment. *Birth.* 2006; 33(2): 131-136. doi:10.1111/j.0730-7659.2006.00090.x

Aronoff JM, & Landsberger DM. The development of a modified spectral ripple test. *The Journal of the Acoustical Society of America.* 2013; 134(2): EL217-EL222. doi:10.1121/1.4813802

Attneave F, & Olson RK. Pitch as a medium: a new approach to psychophysical scaling. *Am J Psychol.* 1971; 84(2): 147-166.

Bacon SP, & Viemeister NF. Temporal modulation transfer functions in normal-hearing and hearing-impaired listeners. *Audiology.* 1985; 24(2): 117-134.

Berenstein CK, Mens LH, Mulder JJ, & Vanpoucke FJ. Current steering and current focusing in cochlear implants: comparison of monopolar, tripolar, and virtual channel electrode configurations. *Ear Hear.* 2008; 29(2): 250-260.

Berlin CI, Hood LJ, Morlet T, Wilensky D, Li L, Mattingly KR, . . . Frisch SA. Multi-site diagnosis and management of 260 patients with Auditory Neuropathy/Dys-synchrony (Auditory Neuropathy Spectrum Disorder*). *International journal of audiology.* 2010; 49(1): 30-43. doi:10.3109/14992020903160892

Bernstein LR, & Green DM. Detection of simple and complex changes of spectral shape. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 1987; 82(5): 1587-1592.

Bever TG, & Chiarello RJ. Cerebral dominance in musicians and nonmusicians. *Science*. 1974; 185(4150): 537-539. doi:10.1126/science.185.4150.537

Beyea JA, McMullen KP, Harris MS, Houston DM, Martin JM, Bolster VA, . . . Moberly AC. Cochlear Implants in Adults: Effects of Age and Duration of Deafness on Speech Recognition. *Otology & Neurotology*. 2016; 37(9): 1238-1245.

Breneman AI, Gifford RH, & Dejong MD. Cochlear implantation in children with auditory neuropathy spectrum disorder: long-term outcomes. *J Am Acad Audiol*. 2012; 23(1): 5-17. doi:10.3766/jaaa.23.1.2

Brown KD, & Balkany TJ. Benefits of bilateral cochlear implantation: a review. *Current Opinion in Otolaryngology & Head and Neck Surgery*. 2007; 15(5): 315-318. doi:10.1097/MOO.0b013e3282ef3d3e

Buckley KA, & Tobey EA. Cross-Modal Plasticity and Speech Perception in Pre- and Postlingually Deaf Cochlear Implant Users. *Ear Hear*. 2011; 32(1): 2-15. doi:10.1097/AUD.0b013e3181e8534c

Byrne D, & Noble W. Optimizing sound localization with hearing AIDS. *Trends in amplification*. 1998; 3(2): 51-73. doi:10.1177/108471389800300202

Byrne D, Noble W, & LePage B. Effects of long-term bilateral and unilateral fitting of different hearing aid types on the ability to locate sounds. *J Am Acad Audiol*. 1992; 3(6): 369-382.

Caldwell M, Rankin SK, Jiradejvong P, Carver C, & Limb CJ. Cochlear implant users rely on tempo rather than on pitch information during perception of musical emotion. *Cochlear Implants Int*. 2015; 16(sup3): S114-S120.

Carlson ML, Driscoll CL, Gifford RH, & McMenomey SO. Cochlear implantation: current and future device options. *Otolaryngologic clinics of North America*. 2012; 45(1): 221-248. doi:10.1016/j.otc.2011.09.002

Carlyon RP, & Deeks JM. Limitations on rate discrimination. *J Acoust Soc Am*. 2002; 112(3 Pt 1): 1009-1025. doi:10.1121/1.1496766

Chatterjee M, & Peng S-C. Processing F0 with cochlear implants: Modulation frequency discrimination and speech intonation recognition. *Hearing Research*. 2008; 235(1): 143-156. doi:<https://doi.org/10.1016/j.heares.2007.11.004>

Cheng X, Wang B, Liu Y, Yuan Y, Shu Y, & Chen B. Comparable Electrode Impedance and Speech Perception at 12 Months after Cochlear Implantation Using Round Window versus Cochleostomy: An Analysis of 40 Patients. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec*. 2018; 80(5-6): 248-258. doi:10.1159/000490764

Chern A, Tillmann B, Vaughan C, & Gordon RL. New evidence of a rhythmic priming effect that enhances grammaticality judgments in children. *J Exp Child Psychol.* 2018; 173: 371-379. doi:10.1016/j.jecp.2018.04.007

Ching TY, Incerti P, & Hill M. Binaural benefits for adults who use hearing aids and cochlear implants in opposite ears. *Ear Hear.* 2004; 25(1): 9-21. doi:10.1097/01.Aud.0000111261.84611.C8

Choi JE, Won JH, Kim CH, Cho YS, Hong SH, & Moon IJ. Relationship between spectrotemporal modulation detection and music perception in normal-hearing, hearing-impaired, and cochlear implant listeners. *Sci Rep.* 2018; 8(1): 800. doi:10.1038/s41598-017-17350-w

Clark GM. Personal reflections on the multichannel cochlear implant and a view of the future. *J Rehabil Res Dev.* 2008; 45(5): 651-693.

Copland A, & Rich A. What to Listen for in Music: Signet Classic. 2002.

Cosetti MK, & Waltzman SB. Outcomes in cochlear implantation: variables affecting performance in adults and children. *Otolaryngologic clinics of North America.* 2012; 45(1): 155-171. doi:10.1016/j.otc.2011.08.023

Cutler A, Dahan D, & Van Donselaar W. Prosody in the comprehension of spoken language: A literature review. *Language and speech.* 1997; 40(2): 141-201.

Dagna F, Murri A, Albera R, & Cuda D. Cochlear implantation in delayed sudden hearing loss after conservative vestibular schwannoma surgery. [Impianto cocleare in ipoacusia improvvisa ritardata dopo chirurgia conservativa per neurinoma dell'acustico]. *Acta otorhinolaryngologica Italica : organo ufficiale della Societa italiana di otorinolaringologia e chirurgia cervico-facciale.* 2016; 36(5): 428-430. doi:10.14639/0392-100X-561

Dawes P, Munro KJ, Kalluri S, & Edwards B. Unilateral and bilateral hearing aids, spatial release from masking and auditory acclimatization. *J Acoust Soc Am.* 2013; 134(1): 596-606. doi:10.1121/1.4807783

Deltenre P, Mansbach A-L, Bozet C, Christiaens F, Barthelemy P, Paulissen D, & Renglet T. Auditory neuropathy with preserved cochlear microphonics and secondary loss of otoacoustic emissions. *Audiology.* 1999; 38(4): 187-195.

Derinsu U, Yüksel M, Geçici CR, Çiprut A, & Akdeniz E. Effects of residual speech and auditory deprivation on speech perception of adult cochlear implant recipients. *Auris Nasus Larynx.* 2019; 46(1): 58-63. doi:<https://doi.org/10.1016/j.anl.2018.06.006>

Deroche MLD, Lu H-P, Kulkarni AM, Caldwell M, Barrett KC, Peng S-C, . . . Chatterjee M. A tonal-language benefit for pitch in normally-hearing and cochlear-implanted children. *Sci Rep.* 2019; 9(1): 109-109. doi:10.1038/s41598-018-36393-1

Deutsch D. *Psychology of Music*: Elsevier Science. 2013.

DiNino M, & Arenberg JG. Age-Related Performance on Vowel Identification and the Spectral-temporally Modulated Ripple Test in Children With Normal Hearing and With Cochlear Implants. *Trends Hear.* 2018; 22: 2331216518770959. doi:10.1177/2331216518770959

Dorman MF, Cook S, Spahr A, Zhang T, Loisel L, Schramm D, . . . Gifford R. Factors constraining the benefit to speech understanding of combining information from low-frequency hearing and a cochlear implant. *Hearing Research.* 2015; 322: 107-111. doi:10.1016/j.heares.2014.09.010

Dorman MF, Gifford RH, Spahr AJ, & McKarns SA. The benefits of combining acoustic and electric stimulation for the recognition of speech, voice and melodies. *Audiol Neurotol.* 2008; 13(2): 105-112. doi:10.1159/000111782

Dorman MF, Loisel LH, Cook SJ, Yost WA, & Gifford RH. Sound Source Localization by Normal-Hearing Listeners, Hearing-Impaired Listeners and Cochlear Implant Listeners. *Audiology and Neurotology.* 2016; 21(3): 127-131. doi:10.1159/000444740

Dorman MF, Smith M, Smith L, & Parkin JL. The pitch of electrically presented sinusoids. *J Acoust Soc Am.* 1994; 95(3): 1677-1679. doi:10.1121/1.408558

Drennan WR, Oleson JJ, Gfeller K, Crosson J, Driscoll VD, Won JH, . . . Rubinstein JT. Clinical evaluation of music perception, appraisal and experience in cochlear implant users. *Int J Audiol.* 2015a; 54(2): 114-123. doi:10.3109/14992027.2014.948219

Drennan WR, Oleson JJ, Gfeller K, Crosson J, Driscoll VD, Won JH, . . . Rubinstein JT. Clinical evaluation of music perception, appraisal and experience in cochlear implant users. *International journal of audiology.* 2015b; 54(2): 114-123. doi:10.3109/14992027.2014.948219

Drennan WR, & Rubinstein JT. Music perception in cochlear implant users and its relationship with psychophysical capabilities. *J Rehabil Res Dev.* 2008; 45(5): 779.

Drennan WR, Won JH, Nie K, Jameyson E, & Rubinstein JT. Sensitivity of psychophysical measures to signal processor modifications in cochlear implant users. *Hearing Research.* 2010; 262(1): 1-8.

Driscoll VD, Welhaven AE, Gfeller K, Oleson J, & Olszewski CP. Music Perception of Adolescents Using Electroacoustic Hearing. *Otology & neurotology : official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology.* 2016; 37(2): e141-e147. doi:10.1097/MAO.0000000000000945

Dritsakis G, van Besouw RM, & O' Meara A. Impact of music on the quality of life of cochlear implant users: a focus group study. *Cochlear Implants Int.* 2017; 18(4): 207-215. doi:10.1080/14670100.2017.1303892

Drullman R. Temporal envelope and fine structure cues for speech intelligibility. *J Acoust Soc Am.* 1995; 97(1): 585-592.

Easwar V, Sanfilippo J, Papsin B, & Gordon K. Impact of Consistency in Daily Device Use on Speech Perception Abilities in Children with Cochlear Implants: Datalogging Evidence. *J Am Acad Audiol*. 2018; 29(9): 835-846. doi:10.3766/jaaa.17051

Eisenberg LS, Kirk KI, Martinez AS, Ying EA, & Miyamoto RT. Communication abilities of children with aided residual hearing: comparison with cochlear implant users. *Archives of Otolaryngology–Head & Neck Surgery*. 2004; 130(5): 563-569.

Eshraghi AA, Ahmed J, Krysiak E, Ila K, Ashman P, Telischi FF, . . . Valendia S. Clinical, surgical, and electrical factors impacting residual hearing in cochlear implant surgery. *Acta Otolaryngol*. 2017; 137(4): 384-388. doi:10.1080/00016489.2016.1256499

Fitch RH, Miller S, & Tallal P. Neurobiology of speech perception. *Annual review of neuroscience*. 1997; 20(1): 331-353.

Fu QJ. Temporal processing and speech recognition in cochlear implant users. *Neuroreport*. 2002; 13(13): 1635-1639.

Galvin JJ, 3rd, & Fu QJ. Effect of bandpass filtering on melodic contour identification by cochlear implant users. *J Acoust Soc Am*. 2011; 129(2): E139-44. doi:10.1121/1.3531708

Galvin JJ, 3rd, Fu QJ, & Nogaki G. Melodic contour identification by cochlear implant listeners. *Ear Hear*. 2007; 28(3): 302-319. doi:10.1097/01.aud.0000261689.35445.20

Galvin JJ, Fu Q-J, & Oba S. Effect of instrument timbre on melodic contour identification by cochlear implant users. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2008; 124(4): EL189-EL195. doi:10.1121/1.2961171

Gantz BJ, & Turner C. Combining acoustic and electrical speech processing: Iowa/Nucleus hybrid implant. *Acta oto-laryngologica*. 2004; 124(4): 344-347.

Gantz BJ, Turner C, & Gfeller KE. Acoustic plus electric speech processing: preliminary results of a multicenter clinical trial of the Iowa/Nucleus Hybrid implant. *Audiology and Neurotology*. 2006; 11(Suppl. 1): 63-68.

Gantz BJ, Woodworth GG, Knutson JF, Abbas PJ, & Tyler RS. Multivariate Predictors of Audiological Success with Multichannel Cochlear Implants. *Annals of Otolaryngology & Laryngology*. 1993; 102(12): 909-916. doi:10.1177/000348949310201201

Gaudrain E, Bhargava P, & Başkent D. Why does gap detection performance in cochlear implant users differs between free-field and direct-stimulation? *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2016; 140(4): 3262-3262. doi:10.1121/1.4970336

Geers A, Uchanski R, Brenner C, Tye-Murray N, Nicholas J, & Tobey E. Rehabilitation Factors Contributing to Implant Benefit in Children. *Annals of Otolaryngology & Laryngology*. 2002; 111(5_suppl): 127-130. doi:10.1177/00034894021110s525

Gfeller K, Christ A, Knutson JF, Witt S, Murray KT, & Tyler RS. Musical backgrounds, listening habits, and aesthetic enjoyment of adult cochlear implant recipients. *J Am Acad Audiol*. 2000; 11: 390-406.

Gfeller K, & Lansing C. Musical perception of cochlear implant users as measured by the Primary Measures of Music Audiation: an item analysis. *Journal of Music Therapy*. 1992; 29(1): 18-39.

Gfeller K, & Lansing CR. Melodic, rhythmic, and timbral perception of adult cochlear implant users. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 1991; 34(4): 916-920.

Gfeller K, Olszewski C, Rychener M, Sena K, Knutson JF, Witt S, & Macpherson B. Recognition of "real-world" musical excerpts by cochlear implant recipients and normal-hearing adults. *Ear Hear*. 2005; 26(3): 237-250.

Gfeller K, Turner C, Mehr M, Woodworth G, Fearn R, Knutson JF, . . . Stordahl J. Recognition of familiar melodies by adult cochlear implant recipients and normal-hearing adults. *Cochlear Implants Int*. 2002; 3(1): 29-53. doi:10.1002/cii.50

Gfeller K, Turner C, Oleson J, Zhang X, Gantz B, Froman R, & Olszewski C. Accuracy of cochlear implant recipients on pitch perception, melody recognition, and speech reception in noise. *Ear Hear*. 2007; 28(3): 412-423. doi:10.1097/AUD.0b013e3180479318

Gfeller K, Witt S, Woodworth G, Mehr MA, & Knutson J. Effects of frequency, instrumental family, and cochlear implant type on timbre recognition and appraisal. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 2002; 111(4): 349-356. doi:10.1177/000348940211100412

Gifford RH, & Dorman MF. Bimodal Hearing or Bilateral Cochlear Implants? Ask the Patient. *Ear Hear*. 2019; 40(3): 501-516. doi:10.1097/aud.0000000000000657

Gifford RH, Shallop JK, & Peterson AM. Speech recognition materials and ceiling effects: considerations for cochlear implant programs. *Audiol Neurotol*. 2008; 13(3): 193-205. doi:10.1159/000113510

Giraud AL, & Lee HJ. Predicting cochlear implant outcome from brain organisation in the deaf. *Restor Neurol Neurosci*. 2007; 25(3-4): 381-390.

Glick H, & Sharma A. Cross-modal plasticity in developmental and age-related hearing loss: Clinical implications. *Hearing Research*. 2017; 343: 191-201. doi:10.1016/j.heares.2016.08.012

Golub JS, Won JH, Drennan WR, Worman TD, & Rubinstein JT. Spectral and temporal measures in hybrid cochlear implant users: on the mechanism of electroacoustic hearing benefits. *Otology & neurotology : official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*. 2012; 33(2): 147-153. doi:10.1097/MAO.0b013e318241b6d3

Gomaa NA, Rubinstein JT, Lowder MW, Tyler RS, & Gantz BJ. Residual speech perception and cochlear implant performance in postlingually deafened adults. *Ear Hear*. 2003; 24(6): 539-544. doi:10.1097/01.Aud.0000100208.26628.2d

Graham JM, Phelps PD, & Michaels L. Congenital malformations of the ear and cochlear implantation in children: review and temporal bone report of common cavity. *J Laryngol Otol Suppl.* 2000; 25: 1-14.

Gray RF, Jones SE, & Court I. Cochlear implantation for progressive hearing loss. *Arch Dis Child.* 2003; 88(8): 708-711. doi:10.1136/ad.88.8.708

Grey JM. Multidimensional perceptual scaling of musical timbres. *The Journal of the Acoustical Society of America.* 1977; 61(5): 1270-1277.

Grey JM, & Gordon JW. Perceptual effects of spectral modifications on musical timbres. *The Journal of the Acoustical Society of America.* 1978; 63(5): 1493-1500.

Guerzoni L, & Cuda D. Speech processor data logging helps in predicting early linguistic outcomes in implanted children. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2017; 101: 81-86. doi:10.1016/j.ijporl.2017.07.026

Hargreaves DJ. Music and Adolescent Identity AU - North, Adrian C. Music Education Research. 1999; 1(1): 75-92. doi:10.1080/1461380990010107

Harrison RV, Gordon KA, Papsin BC, Negandhi J, & James AL. Auditory neuropathy spectrum disorder (ANS) and cochlear implantation. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2015; 79(12): 1980-1987. doi:10.1016/j.ijporl.2015.10.006

Heffner HE, & Heffner RS. Effect of bilateral auditory cortex lesions on absolute thresholds in Japanese macaques. *J Neurophysiol.* 1990; 64(1): 191-205.

Helmholtz H. On the sensations of tone: Courier Corporation. 1877.

Heng J, Cantarero G, Elhilali M, & Limb CJ. Impaired perception of temporal fine structure and musical timbre in cochlear implant users. *Hear Res.* 2011; 280(1-2): 192-200. doi:10.1016/j.heares.2011.05.017

Henry BA, & Turner CW. The resolution of complex spectral patterns by cochlear implant and normal-hearing listeners. *J Acoust Soc Am.* 2003; 113(5): 2861-2873. doi:10.1121/1.1561900

Henry BA, Turner CW, & Behrens A. Spectral peak resolution and speech recognition in quiet: normal hearing, hearing impaired, and cochlear implant listeners. *J Acoust Soc Am.* 2005; 118(2): 1111-1121. doi:10.1121/1.1944567

Hilly O, Smith L, Hwang E, Shipp D, Symons S, Nedzelski JM, . . . Lin VY. Depth of Cochlear Implant Array Within the Cochlea and Performance Outcome. *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology.* 2016; 125(11): 886-892.

Hochberg I, Boothroyd A, Weiss M, & Hellman S. Effects of noise and noise suppression on speech perception by cochlear implant users. *Ear Hear.* 1992; 13(4): 263-271.

Illg A, Bojanowicz M, Lesinski-Schiedat A, Lenarz T, & Buchner A. Evaluation of the bimodal benefit in a large cohort of cochlear implant subjects using a contralateral hearing aid. *Otology & neurotology* : official publication of the American Otological Society, American Neurotology

Society [and] European Academy of Otology and Neurotology. 2014; 35(9): e240-244. doi:10.1097/mao.0000000000000529

Irvine DRF, & Malmierca MS. (2005). Auditory Spectral Processing: An Overview. In *International Review of Neurobiology* (Vol. 70, pp. 1-6): Academic Press.

Johnson DH. The relationship between spike rate and synchrony in responses of auditory-nerve fibers to single tones. *J Acoust Soc Am.* 1980; 68(4): 1115-1122. doi:10.1121/1.384982

Jones GL, Won JH, Drennan WR, & Rubinstein JT. Relationship between channel interaction and spectral-ripple discrimination in cochlear implant users. *The Journal of the Acoustical Society of America.* 2013; 133(1): 425-433. doi:10.1121/1.4768881

Jung KH, Cho YS, Cho JK, Park GY, Kim EY, Hong SH, . . . Rubinstein JT. Clinical assessment of music perception in Korean cochlear implant listeners. *Acta Otolaryngol.* 2010; 130(6): 716-723. doi:10.3109/00016480903380521

Jung KH, Won JH, Drennan WR, Jameyson E, Miyasaki G, Norton SJ, & Rubinstein JT. Psychoacoustic performance and music and speech perception in prelingually deafened children with cochlear implants. *Audiology and Neurotology.* 2012; 17(3): 189-197.

Juslin PN, & Laukka P. Communication of emotions in vocal expression and music performance: different channels, same code? *Psychol Bull.* 2003; 129(5): 770-814. doi:10.1037/0033-2909.129.5.770

Kang R, Nimmons GL, Drennan W, Longnion J, Ruffin C, Nie K, . . . Rubinstein J. Development and validation of the University of Washington Clinical Assessment of Music Perception test. *Ear Hear.* 2009; 30(4): 411-418. doi:10.1097/AUD.0b013e3181a61bc0

Kaplan H, & Pickett JM. Effects of dichotic/diotic versus monotic presentation on speech understanding in noise in elderly hearing-impaired listeners. *Ear Hear.* 1981; 2(5): 202-207.

Katz J, Burkard RF, & Medwetsky L. *Handbook of Clinical Audiology*: Lippincott Williams & Wilkins. 2002.

Kelsall DC, Arnold RJG, & Lionnet L. Patient-Reported Outcomes From the United States Clinical Trial for a Hybrid Cochlear Implant. *Otology & neurotology : official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology.* 2017; 38(9): 1251-1261. doi:10.1097/mao.0000000000001517

Kiefer J, Hohl S, Sturzebecher E, Pfennigdorff T, & Gstoettner W. Comparison of speech recognition with different speech coding strategies (SPEAK, CIS, and ACE) and their relationship to telemetry measures of compound action potentials in the nucleus CI 24M cochlear implant system. *Audiology.* 2001; 40(1): 32-42.

Kobosko J, Jedrzejczak WW, Gos E, Geremek-Samsonowicz A, Ludwikowski M, & Skarzynski H. Self-esteem in the deaf who have become cochlear implant users as adults. *PLoS One.* 2018; 13(9): e0203680. doi:10.1371/journal.pone.0203680

Koenig W, Dunn HK, & Lacy LY. The Sound Spectrograph. The Journal of the Acoustical Society of America. 1946; 18(1): 19-49. doi:10.1121/1.1916342

Kong Y-Y, Mullangi A, Marozeau J, & Epstein M. Temporal and spectral cues for musical timbre perception in electric hearing. Journal of Speech, Language, and Hearing Research. 2011; 54(3): 981-994.

Kong YY, Cruz R, Jones JA, & Zeng FG. Music perception with temporal cues in acoustic and electric hearing. Ear Hear. 2004; 25(2): 173-185.

Kong YY, Deeks JM, Axon PR, & Carlyon RP. Limits of temporal pitch in cochlear implants. J Acoust Soc Am. 2009; 125(3): 1649-1657. doi:10.1121/1.3068457

Kong YY, Mullangi A, & Marozeau J. Timbre and speech perception in bimodal and bilateral cochlear-implant listeners. Ear Hear. 2012; 33(5): 645-659. doi:10.1097/AUD.0b013e318252caae

Kuwada S, & Yin TC. (1987). Physiological studies of directional hearing. In *Directional hearing* (pp. 146-176): Springer.

Lackner JR. Multimodal and motor influences on orientation: implications for adapting to weightless and virtual environments. J Vestib Res. 1992; 2(4): 307-322.

Lassaletta L, Castro A, Bastarrica M, Perez-Mora R, Madero R, De Sarria J, & Gavilan J. Does music perception have an impact on quality of life following cochlear implantation? Acta Otolaryngol. 2007; 127(7): 682-686. doi:10.1080/00016480601002112

Lawler M, Yu J, & Aronoff JM. Comparison of the Spectral-Temporally Modulated Ripple Test With the Arizona Biomedical Institute Sentence Test in Cochlear Implant Users. Ear Hear. 2017; 38(6): 760-766. doi:10.1097/aud.0000000000000496

Leal MC, Shin YJ, Laborde ML, Calmels MN, Verges S, Lugardon S, . . . Fraysse B. Music perception in adult cochlear implant recipients. Acta Otolaryngol. 2003; 123(7): 826-835. doi:10.1080/00016480310000386

Lerdahl F, & Jackendoff RS. A generative theory of tonal music: MIT press. 1996.

Li CM, Zhang X, Hoffman HJ, Cotch MF, Themann CL, & Wilson MR. Hearing impairment associated with depression in US adults, National Health and Nutrition Examination Survey 2005-2010. JAMA Otolaryngol Head Neck Surg. 2014; 140(4): 293-302. doi:10.1001/jamaoto.2014.42

Li X, Nie K, Imennov NS, Rubinstein JT, & Atlas LE. Improved perception of music with a harmonic based algorithm for cochlear implants. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng. 2013; 21(4): 684-694. doi:10.1109/tnsre.2013.2257853

Li X, Nie K, Imennov NS, Won JH, Drennan WR, Rubinstein JT, & Atlas LE. Improved perception of speech in noise and Mandarin tones with acoustic simulations of harmonic coding for cochlear implants. J Acoust Soc Am. 2012; 132(5): 3387-3398. doi:10.1121/1.4756827

Litvak LM, Spahr AJ, Saoji AA, & Fridman GY. Relationship between perception of spectral ripple and speech recognition in cochlear implant and vocoder listeners. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2007; 122(2): 982-991.

Liu RW, Mehta P, Fortuna S, Armstrong DG, Cooperman DR, Thompson GH, & Gilmore A. A randomized prospective study of music therapy for reducing anxiety during cast room procedures. *J Pediatr Orthop*. 2007; 27(7): 831-833. doi:10.1097/BPO.0b013e3181558a4e

Looi V, McDermott H, McKay C, & Hickson L. Music perception of cochlear implant users compared with that of hearing aid users. *Ear Hear*. 2008; 29(3): 421-434. doi:10.1097/AUD.0b013e31816a0d0b

Looi V, & Radford CJ. A comparison of the speech recognition and pitch ranking abilities of children using a unilateral cochlear implant, bimodal stimulation or bilateral hearing aids. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2011; 75(4): 472-482. doi:10.1016/j.ijporl.2010.12.023

MacDonald RAR. Music, health, and well-being: a review. *International journal of qualitative studies on health and well-being*. 2013; 8: 20635-20635. doi:10.3402/qhw.v8i0.20635

Macherey O, & Carlyon RP. Cochlear implants. *Current Biology*. 2014; 24(18): R878-R884. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cub.2014.06.053>

Macherey O, & Delpierre A. Perception of musical timbre by cochlear implant listeners: a multidimensional scaling study. *Ear Hear*. 2013; 34(4): 426-436. doi:10.1097/AUD.0b013e31827535f8

Manchaiah VK, Zhao F, Danesh AA, & Duprey R. The genetic basis of auditory neuropathy spectrum disorder (ANSD). *International journal of pediatric otorhinolaryngology*. 2011; 75(2): 151-158.

Marmel F, Tillmann B, & Delbé C. Priming in melody perception: Tracking down the strength of cognitive expectations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 2010; 36(4): 1016.

Martin JG. Rhythmic (hierarchical) versus serial structure in speech and other behavior. *Psychol Rev*. 1972; 79(6): 487-509.

Maruyama N, & Kanno Y. Experimental study on functional compensation after bilateral removal of auditory cortex in cats. *J Neurophysiol*. 1961; 24(2): 193-202.

Marx M, James C, Foxton J, Capber A, Frayssé B, Barone P, & Deguine O. Speech prosody perception in cochlear implant users with and without residual hearing. *Ear Hear*. 2015; 36(2): 239-248. doi:10.1097/aud.0000000000000105

McAdams S, & Giordano BL. The perception of musical timbre. *The Oxford handbook of music psychology*. 2009: 72-80.

McCraty R, Barrios-Choplin B, Atkinson M, & Tomasino D. The effects of different types of music on mood, tension, and mental clarity. *Alternative therapies in health and medicine*. 1998; 4(1): 75-84.

Meredith MA, Rubinstein JT, Sie KCY, & Norton SJ. Cochlear Implantation in Children with Postlingual Progressive Steeply Sloping High-Frequency Hearing Loss. *J Am Acad Audiol*. 2017; 28(10): 913-919. doi:10.3766/jaaa.16115

Merriam-Webster. (2019). Merriam Webster Dictionary. Retrieved from <https://www.merriam-webster.com/dictionary/music>

Meurmann OH. The Difference Limen of Frequency in tests of Auditory Function. *Acta oto-laryngologica*. 1954; 43(sup118): 144-155. doi:10.3109/00016485409124004

Migirov L, Kronenberg J, & Henkin Y. Self-reported listening habits and enjoyment of music among adult cochlear implant recipients. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 2009; 118(5): 350-355. doi:10.1177/000348940911800506

Milner B. Laterality effects in audition. Interhemispheric relations and cerebral dominance. 1962: 177-195.

Montagu J. How Music and Instruments Began: A Brief Overview of the Origin and Entire Development of Music, from Its Earliest Stages. *Frontiers in Sociology*. 2017; 2(8). doi:10.3389/fsoc.2017.00008

Moon IJ, & Hong SH. What is temporal fine structure and why is it important? *Korean journal of audiology*. 2014; 18(1): 1-7. doi:10.7874/kja.2014.18.1.1

Moore BC. Frequency difference limens for short-duration tones. *J Acoust Soc Am*. 1973; 54(3): 610-619. doi:10.1121/1.1913640

Moore BCJ. The role of temporal fine structure processing in pitch perception, masking, and speech perception for normal-hearing and hearing-impaired people. *J Assoc Res Otolaryngol*. 2008; 9(4): 399-406. doi:10.1007/s10162-008-0143-x

Moore DR. Plasticity of binaural hearing and some possible mechanisms following late-onset deprivation. *J Am Acad Audiol*. 1993; 4(5): 277-283; discussion 283-274.

Morley I. *The Prehistory of Music: Human Evolution, Archaeology, and the Origins of Musicality*: OUP Oxford. 2013.

Naito Y, Hirano S, Honjo I, Okazawa H, Ishizu K, Takahashi H, . . . Konishi J. Sound-induced activation of auditory cortices in cochlear implant users with post-and prelingual deafness demonstrated by positron emission tomography. *Acta oto-laryngologica*. 1997; 117(4): 490-496.

Nan Y, Liu L, Geiser E, Shu H, Gong CC, Dong Q, . . . Desimone R. Piano training enhances the neural processing of pitch and improves speech perception in Mandarin-speaking children. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2018; 115(28): E6630-e6639. doi:10.1073/pnas.1808412115

Nie K, Barco A, & Zeng F-G. Spectral and Temporal Cues in Cochlear Implant Speech Perception. *Ear Hear*. 2006; 27(2): 208-217. doi:10.1097/01.aud.0000202312.31837.25

Nie K, Stickney G, & Zeng FG. Encoding frequency modulation to improve cochlear implant performance in noise. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2005; 52(1): 64-73. doi:10.1109/tbme.2004.839799

Nimmons GL, Kang RS, Drennan WR, Longnion J, Ruffin C, Worman T, . . . Rubinstein JT. Clinical assessment of music perception in cochlear implant listeners. *Otology & neurotology: official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology.* 2008; 29(2): 149.

North AC, Hargreaves DJ, & O'Neill SA. The importance of music to adolescents. *British Journal of Educational Psychology.* 2000; 70(2): 255-272. doi:doi:10.1348/000709900158083

Obleser J, Boecker H, Drzezga A, Haslinger B, Hennenlotter A, Roettinger M, . . . Rauschecker JP. Vowel sound extraction in anterior superior temporal cortex. *Human brain mapping.* 2006; 27(7): 562-571.

Ohl FW, & Scheich H. Orderly cortical representation of vowels based on formant interaction. *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 1997; 94(17): 9440-9444.

Oxenham AJ. Pitch perception. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience.* 2012; 32(39): 13335-13338. doi:10.1523/JNEUROSCI.3815-12.2012

Oxenham AJ. How We Hear: The Perception and Neural Coding of Sound. *Annual review of psychology.* 2018; 69: 27-50. doi:10.1146/annurev-psych-122216-011635

Oxenham AJ, Bernstein JG, & Penagos H. Correct tonotopic representation is necessary for complex pitch perception. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2004; 101(5): 1421-1425. doi:10.1073/pnas.0306958101

Parkinson AJ, Rubinstein JT, Drennan WR, Dodson C, & Nie K. Hybrid Music Perception Outcomes: Implications for Melody and Timbre Recognition in Cochlear Implant Recipients. *Otology & neurotology : official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology.* 2019; 40(3): e283-e289. doi:10.1097/mao.0000000000002126

Patel A. Why would Musical Training Benefit the Neural Encoding of Speech? The OPERA Hypothesis. *Frontiers in Psychology.* 2011; 2(142). doi:10.3389/fpsyg.2011.00142

Patel AD. Can nonlinguistic musical training change the way the brain processes speech? The expanded OPERA hypothesis. *Hearing Research.* 2014; 308: 98-108. doi:<https://doi.org/10.1016/j.heares.2013.08.011>

Patel AD, & Iversen JR. The linguistic benefits of musical abilities. *Trends in Cognitive Sciences.* 2007; 11(9): 369-372. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tics.2007.08.003>

Patscheke H, Dege F, & Schwarzer G. The Effects of Training in Music and Phonological Skills on Phonological Awareness in 4- to 6-Year-Old Children of Immigrant Families. *Front Psychol.* 2016; 7: 1647. doi:10.3389/fpsyg.2016.01647

Patterson RD, Uppenkamp S, Johnsrude IS, & Griffiths TD. The processing of temporal pitch and melody information in auditory cortex. *Neuron*. 2002; 36(4): 767-776. doi:10.1016/s0896-6273(02)01060-7

Patuzzi R, & Robertson D. Tuning in the mammalian cochlea. *Physiol Rev*. 1988; 68(4): 1009-1082. doi:10.1152/physrev.1988.68.4.1009

Peretz I. The nature of music from a biological perspective. *Cognition*. 2006; 100(1): 1-32.

Peretz I. Music, language and modularity framed in action. *Psychologica Belgica*. 2009; 49(2-3).

Peretz I, Gaudreau D, & Bonnel A-M. Exposure effects on music preference and recognition. *Memory & Cognition*. 1998; 26(5): 884-902. doi:10.3758/bf03201171

Peretz I, Vuhan D, Lagrois M-É, & Armony Jorge L. Neural overlap in processing music and speech. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2015; 370(1664): 20140090. doi:10.1098/rstb.2014.0090

Pfingst BE, Burnett PA, & Sutton D. Intensity discrimination with cochlear implants. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 1983; 73(4): 1283-1292. doi:10.1121/1.389277

Phillips DP, & Farmer ME. Acquired word deafness, and the temporal grain of sound representation in the primary auditory cortex. *Behavioural brain research*. 1990; 40(2): 85-94.

Pijl S, & Schwarz DW. Melody recognition and musical interval perception by deaf subjects stimulated with electrical pulse trains through single cochlear implant electrodes. *J Acoust Soc Am*. 1995; 98(2 Pt 1): 886-895. doi:10.1121/1.413514

Pohlit S. (2010). *Musical Life and Westernization in the Republic of Turkey Schismogenesis and Cultural Revisioning in Contemporary Music*. Paper presented at the conference "Europe in Opera—Musical Compositions of an Identity" at Casa de Mateus (Porto/Portugal).

Pressnitzer D, Patterson RD, & Krumbholz K. The lower limit of melodic pitch. *J Acoust Soc Am*. 2001; 109(5 Pt 1): 2074-2084. doi:10.1121/1.1359797

Rance G, Barker EJ, Sarant JZ, & Ching TY. Receptive language and speech production in children with auditory neuropathy/dyssynchrony type hearing loss. *Ear Hear*. 2007; 28(5): 694-702. doi:10.1097/AUD.0b013e31812f71de

Rauschecker JP, & Scott SK. Maps and streams in the auditory cortex: nonhuman primates illuminate human speech processing. *Nature neuroscience*. 2009; 12(6): 718.

Rawool V. (2016). Auditory Temporal Processing Assessment. In (pp. 121-155).

Reed CM, & Delhorne LA. Reception of environmental sounds through cochlear implants. *Ear Hear*. 2005; 26(1): 48-61.

Richard C, Fayad JN, Doherty J, & Linthicum FH, Jr. Round window versus cochleostomy technique in cochlear implantation: histologic findings. *Otology & neurotology : official*

publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otolaryngology and Neurotology. 2012; 33(7): 1181-1187. doi:10.1097/MAO.0b013e318263d56d

Riquimaroux H, Gaioni SJ, & Suga N. Inactivation of the DSCF area of the auditory cortex with muscimol disrupts frequency discrimination in the mustached bat. *J Neurophysiol.* 1992; 68(5): 1613-1623. doi:10.1152/jn.1992.68.5.1613

Robles L, & Ruggero MA. Mechanics of the mammalian cochlea. *Physiol Rev.* 2001; 81(3): 1305-1352. doi:10.1152/physrev.2001.81.3.1305

Roche JP, & Hansen MR. On the Horizon: Cochlear Implant Technology. *Otolaryngologic clinics of North America.* 2015; 48(6): 1097-1116. doi:10.1016/j.otc.2015.07.009

Roland Jr JT, Gantz BJ, Waltzman SB, Parkinson AJ, & Group MCT. United States multicenter clinical trial of the cochlear nucleus hybrid implant system. *The Laryngoscope.* 2016; 126(1): 175-181.

Roland PS, Wright CG, & Isaacson B. Cochlear implant electrode insertion: the round window revisited. *Laryngoscope.* 2007; 117(8): 1397-1402. doi:10.1097/MLG.0b013e318064e891

Ronnberg J. Cognition in the hearing impaired and deaf as a bridge between signal and dialogue: A framework and a model. *International journal of audiology.* 2003; 42: S68-S76.

Rosen S. Temporal information in speech: acoustic, auditory and linguistic aspects. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 1992; 336(1278): 367-373. doi:10.1098/rstb.1992.0070

Roush P, Frymark T, Venediktov R, & Wang B. Audiologic management of auditory neuropathy spectrum disorder in children: a systematic review of the literature. *Am J Audiol.* 2011; 20(2): 159-170. doi:10.1044/1059-0889(2011/10-0032)

Rönnberg J, Rudner M, Foo C, & Lunner T. Cognition counts: A working memory system for ease of language understanding (ELU). *International journal of audiology.* 2008; 47(sup2): S99-S105.

Rubinstein JT. How cochlear implants encode speech. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg.* 2004; 12(5): 444-448.

Samson S, & Zatorre RJ. Contribution of the right temporal lobe to musical timbre discrimination. *Neuropsychologia.* 1994; 32(2): 231-240.

Samson S, Zatorre RJ, & Ramsay JO. Deficits of musical timbre perception after unilateral temporal-lobe lesion revealed with multidimensional scaling. *Brain.* 2002; 125(3): 511-523.

Saoji AA, Litvak L, Spahr AJ, & Eddins DA. Spectral modulation detection and vowel and consonant identifications in cochlear implant listeners. *The Journal of the Acoustical Society of America.* 2009; 126(3): 955-958.

Scharinger M, Idsardi WJ, & Poe S. A comprehensive three-dimensional cortical map of vowel space. *Journal of cognitive neuroscience.* 2011; 23(12): 3972-3982.

- Schnupp J, Nelken I, & King A. Auditory neuroscience: Making sense of sound: MIT press. 2011.
- Shannon RV. Temporal modulation transfer functions in patients with cochlear implants. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 1992; 91(4): 2156-2164.
- Shannon RV, Zeng F-G, Kamath V, Wygonski J, & Ekelid M. Speech recognition with primarily temporal cues. *Science*. 1995; 270(5234): 303-304.
- Shapira Lots I, & Stone L. Perception of musical consonance and dissonance: an outcome of neural synchronization. *Journal of the Royal Society, Interface*. 2008; 5(29): 1429-1434. doi:10.1098/rsif.2008.0143
- Sharma A, & Dorman MF. Central auditory development in children with cochlear implants: clinical implications. *Adv Otorhinolaryngol*. 2006; 64: 66-88. doi:10.1159/000094646
- Shearer AE, Eppsteiner RW, Frees K, Tejani V, Sloan-Heggen CM, Brown C, . . . Gantz BJ. Genetic variants in the peripheral auditory system significantly affect adult cochlear implant performance. *Hearing Research*. 2017; 348: 138-142.
- Silman S, Silverman CA, Emmer MB, & Gelfand SA. Adult-onset auditory deprivation. *J Am Acad Audiol*. 1992; 3(6): 390-396.
- Skarzynski H, Lorens A, Piotrowska A, & Anderson I. Preservation of low frequency hearing in partial deafness cochlear implantation (PDCI) using the round window surgical approach. *Acta Otolaryngol*. 2007; 127(1): 41-48. doi:10.1080/00016480500488917
- Starr A, Picton TW, Sininger Y, Hood LJ, & Berlin CI. Auditory neuropathy. *Brain*. 1996; 119(3): 741-753.
- Starr A, Sininger Y, Nguyen T, Michalewski HJ, Oba S, & Abdala C. Cochlear Receptor (Microphonic and Summating Potentials, Otoacoustic Emissions) and Auditory Pathway (Auditory Brain Stem Potentials) Activity in Auditory Neuropathy. *Ear Hear*. 2001; 22(2): 91-99.
- Sullivan RF. (1990). Handbook of Hearing Aid Amplification, Volume 11: Clinical Considerations and Fitting Practices. In: LWW.
- Supin AY, Popov VV, Milekhina ON, & Tarakanov MB. Frequency resolving power measured by rippled noise. *Hearing Research*. 1994; 78(1): 31-40. doi:[https://doi.org/10.1016/0378-5955\(94\)90041-8](https://doi.org/10.1016/0378-5955(94)90041-8)
- Swanson B, Dawson P, & McDermott H. Investigating cochlear implant place-pitch perception with the Modified Melodies test. *Cochlear Implants Int*. 2009; 10 Suppl 1: 100-104. doi:10.1179/cim.2009.10.Supplement-1.100
- Tait M, Lutman ME, & Robinson K. Preimplant measures of preverbal communicative behavior as predictors of cochlear implant outcomes in children. *Ear Hear*. 2000; 21(1): 18-24. doi:10.1097/00003446-200002000-00005

Tallal P, & Gaab N. Dynamic auditory processing, musical experience and language development. *Trends Neurosci.* 2006; 29(7): 382-390. doi:10.1016/j.tins.2006.06.003

Tallal P, Miller S, & Fitch RH. Neurobiological basis of speech: a case for the preeminence of temporal processing. *Annals of the New York academy of sciences.* 1993; 682(1): 27-47.

Tambs K. Moderate effects of hearing loss on mental health and subjective well-being: results from the Nord-Trøndelag Hearing Loss Study. *Psychosom Med.* 2004; 66(5): 776-782. doi:10.1097/01.psy.0000133328.03596.fb

TDK. (2019). Türk Dil Kurumu Sözlüğü. Retrieved from <http://sozluk.gov.tr>

Teagle HF, Roush PA, Woodard JS, Hatch DR, Zdanski CJ, Buss E, & Buchman CA. Cochlear implantation in children with auditory neuropathy spectrum disorder. *Ear Hear.* 2010; 31(3): 325-335. doi:10.1097/AUD.0b013e3181ce693b

Tichko P, & Skoe E. Musical Experience, Sensorineural Auditory Processing, and Reading Subskills in Adults. *Brain Sci.* 2018; 8(5). doi:10.3390/brainsci8050077

Tong YC, & Clark GM. Absolute identification of electric pulse rates and electrode positions by cochlear implant patients. *J Acoust Soc Am.* 1985; 77(5): 1881-1888. doi:10.1121/1.391939

Town SM, & Bizley JK. Neural and behavioral investigations into timbre perception. *Front Syst Neurosci.* 2013; 7: 88. doi:10.3389/fnsys.2013.00088

Turgeon C, Champoux F, Lepore F, & Ellemberg D. Deficits in auditory frequency discrimination and speech recognition in cochlear implant users. *Cochlear Implants Int.* 2015; 16(2): 88-94. doi:10.1179/1754762814y.0000000091

Turner CW, Gantz BJ, Vidal C, Behrens A, & Henry BA. Speech recognition in noise for cochlear implant listeners: benefits of residual acoustic hearing. *The Journal of the Acoustical Society of America.* 2004; 115(4): 1729-1735.

van Hoesel R, Bohm M, Pesch J, Vandali A, Battmer RD, & Lenarz T. Binaural speech unmasking and localization in noise with bilateral cochlear implants using envelope and fine-timing based strategies. *J Acoust Soc Am.* 2008; 123(4): 2249-2263. doi:10.1121/1.2875229

van Hoesel RJ, & Tyler RS. Speech perception, localization, and lateralization with bilateral cochlear implants. *The Journal of the Acoustical Society of America.* 2003; 113(3): 1617-1630.

Verschooten E, Shamma S, Oxenham AJ, Moore BCJ, Joris PX, Heinz MG, & Plack CJ. The upper frequency limit for the use of phase locking to code temporal fine structure in humans: A compilation of viewpoints. *Hearing Research.* 2019; 377: 109-121. doi:<https://doi.org/10.1016/j.heares.2019.03.011>

Vinay, & Moore BC. Ten(HL)-test results and psychophysical tuning curves for subjects with auditory neuropathy. *Int J Audiol.* 2007; 46(1): 39-46. doi:10.1080/14992020601077992

Volta A. On the Electricity Excited by the Mere Contact of Conducting Substances of Different Kinds. Abstracts of the Papers Printed in the Philosophical Transactions of the Royal Society of London. 1800; 1: 27-29.

Wallin NL, Merker B, & Brown S. The Origins of Music: MIT Press. 2001.

Warren RM. Auditory Perception: An Analysis and Synthesis: Cambridge University Press. 2008.

Wilson BS, Finley CC, Lawson DT, Wolford RD, Eddington DK, & Rabinowitz WM. Better speech recognition with cochlear implants. *Nature*. 1991; 352(6332): 236-238. doi:10.1038/352236a0

Wolfe J. (2002). *Speech and music, acoustics and coding, and what music might be 'for'*. Paper presented at the Proc. 7th International Conference on Music Perception and Cognition.

Wolfe J, & Schafer E. Programming Cochlear Implants: Plural Publishing, Incorporated. 2014.

Won JH, Drennan WR, Kang RS, & Rubinstein JT. Psychoacoustic abilities associated with music perception in cochlear implant users. *Ear Hear*. 2010; 31(6): 796-805. doi:10.1097/AUD.0b013e3181e8b7bd

Won JH, Drennan WR, Nie K, Jameyson EM, & Rubinstein JT. Acoustic temporal modulation detection and speech perception in cochlear implant listeners. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2011a; 130(1): 376-388.

Won JH, Drennan WR, Nie K, Jameyson EM, & Rubinstein JT. Acoustic temporal modulation detection and speech perception in cochlear implant listeners. *J Acoust Soc Am*. 2011b; 130(1): 376-388. doi:10.1121/1.3592521

Won JH, Drennan WR, & Rubinstein JT. Spectral-ripple resolution correlates with speech reception in noise in cochlear implant users. *J Assoc Res Otolaryngol*. 2007; 8(3): 384-392. doi:10.1007/s10162-007-0085-8

Won JH, Jones GL, Drennan WR, Jameyson EM, & Rubinstein JT. Evidence of across-channel processing for spectral-ripple discrimination in cochlear implant listeners. *J Acoust Soc Am*. 2011; 130(4): 2088-2097. doi:10.1121/1.3624820

Wong PCM, Ciocca V, Chan AHD, Ha LYY, Tan L-H, & Peretz I. Effects of culture on musical pitch perception. *PLoS One*. 2012; 7(4): e33424-e33424. doi:10.1371/journal.pone.0033424

Yost WA. Psychoacoustics: a brief historical overview. *Acoustics Today*. 2015; 11(3): 46-53.

Young ED, & Sachs MB. Representation of steady-state vowels in the temporal aspects of the discharge patterns of populations of auditory-nerve fibers. *J Acoust Soc Am*. 1979; 66(5): 1381-1403. doi:10.1121/1.383532

Yüksel M, Meredith MA, & Rubinstein JT. Effects of Low Frequency Residual Hearing on Music Perception and Psychoacoustic Abilities in Pediatric Cochlear Implant Recipients. *Frontiers in Neuroscience*. 2019; 13(924). doi:10.3389/fnins.2019.00924

Zatorre RJ, & Belin P. Spectral and Temporal Processing in Human Auditory Cortex. *Cerebral Cortex*. 2001; 11(10): 946-953. doi:10.1093/cercor/11.10.946

Zatorre RJ, Evans AC, & Meyer E. Neural mechanisms underlying melodic perception and memory for pitch. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*. 1994; 14(4): 1908-1919.

Zeng FG. Temporal pitch in electric hearing. *Hear Res*. 2002; 174(1-2): 101-106. doi:10.1016/s0378-5955(02)00644-5

Zeng FG, Grant G, Niparko J, Galvin J, Shannon R, Opie J, & Segel P. Speech dynamic range and its effect on cochlear implant performance. *J Acoust Soc Am*. 2002; 111(1 Pt 1): 377-386. doi:10.1121/1.1423926

Zeng FG, Kong YY, Michalewski HJ, & Starr A. Perceptual consequences of disrupted auditory nerve activity. *J Neurophysiol*. 2005; 93(6): 3050-3063. doi:10.1152/jn.00985.2004

Zeng FG, Oba S, Garde S, Sininger Y, & Starr A. Temporal and speech processing deficits in auditory neuropathy. *Neuroreport*. 1999; 10(16): 3429-3435.

Zhou N, Mathews J, & Dong L. Pulse-rate discrimination deficit in cochlear implant users: is the upper limit of pitch peripheral or central? *Hearing Research*. 2019; 371: 1-10. doi:<https://doi.org/10.1016/j.heares.2018.10.018>

Zioga I, Di Bernardi Luft C, & Bhattacharya J. Musical training shapes neural responses to melodic and prosodic expectation. *Brain Res*. 2016; 1650: 267-282. doi:10.1016/j.brainres.2016.09.015

Zohdi I, AbdelMessih MW, El Shennawy AM, Ashour B, Mohamed B, Kandil H, & Eldin G. Statistical Analysis of Various Factors Affecting the Results of Cochlear Implantation. *Journal of International Advanced Otology*. 2014.

9. EKLER

9.1. Ek-1. Etik Kurul Onayı



Marmara Üniversitesi Tıp Fakültesi
Klinik Araştırmalar Etik Kurulu

BAŞVURU BİLGİLERİ	PROTOKOL KODU	09.2017.556
	PROJE ADI	Koklear İmplant Kullanıcılarında Spektral ve Temporal İşitsel İşleme ile Müzik Algısı Arasındaki İlişki
	SORUMLU ARAŞTIRICI ÜNVANI/ADI	Doç. Dr. Ayşe ÇİPRUT

Tarih 15.09.2017		Yukarıda başvuru bilgileri verilen araştırma başvuru dosyası ve ilgili belgeler araştırmanın gereke, amac, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak incelenmiş ve gerçekleştirilmesinde sakınca bulunmadığı için Kurulumuzca onaylanmasına oy birliği ile karar verilmiştir. Onay sonrasında yapılacak her türlü proje değişiklikleri (katılımcılar, başlık vb.) veya protokol değişikliklerinin Etik Kurula bildirilerek proje onayının yenilenmesi gerekmektedir.				
ÜYELER						
Unvanı / Adı / Soyadı	Uzmanlık Dalı	Kurumu / EK Üyeligi	Onaylanan Proje ile İlişkisi	Toplantıya katılım	İmza	
Prof.Dr. Haner DİRESKENELİ	Romatoloji	M.Ü Tıp Fakültesi/ Başkan	☒ Var ☐ Yok	☐ Evet ☐ Hayır		
Prof.Dr. Tülin ERGUN	Dermatoloji	M.Ü Tıp Fakültesi/Başkan Yrd.	☒ Var ☐ Yok	☐ Evet ☐ Hayır		
Prof. Dr. Şefik GÖRKEY	Tıp Tarihi ve Etik	M.Ü Tıp Fakültesi/Üye	☒ Var ☐ Yok	☐ Evet ☐ Hayır		
Prof.Dr. Handan KAYA	Patoloji	M.Ü Tıp Fakültesi/Üye	☒ Var ☐ Yok	☐ Evet ☐ Hayır		
Prof.Dr. M.Bahadır GÜLLÜOĞLU	Genel Cerrahi	M.Ü Tıp Fakültesi/Üye	☒ Var ☐ Yok	☐ Evet ☐ Hayır		
Prof.Dr. Atilla KARAALP	Farmakoloji	M.Ü Tıp Fakültesi/Üye	☒ Var ☐ Yok	☐ Evet ☐ HAYIR		
Prof.Dr. Semra SARDAŞ	Eczacı	M.Ü Eczacılık Fak./Üye	☒ Var ☐ Yok	☐ Evet ☐ Hayır		
Prof.Dr. Başak DOĞAN	Diş Hekimi	M.Ü Diş Hekimliği Fak./Üye	☒ Var ☐ Yok	☐ Evet ☐ Hayır		
Prof. Dr. Beste Melek ATASOY	Radyasyon Onkolojisi	M.Ü Tıp Fakültesi/Üye	☒ Var ☐ Yok	☐ Evet ☐ Hayır		
Doç. Dr. Elif KARAKOÇ AYDINER	Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları	M.Ü Tıp Fakültesi/Üye	☒ Var ☐ Yok	☐ Evet ☐ Hayır		
Doç.Dr. Meltem KORAY	Diş Hekimi	İstanbul Üniv. Diş Hekimliği Fak./Üye	☒ Var ☐ Yok	☐ Evet ☐ Hayır		
Doç. Dr. Gürkan SERT	Hukukçu	M.Ü Tıp Fakültesi/Üye	☒ Var ☐ Yok	☐ Evet ☐ Hayır		
Yrd.Doç.Dr: Figen DEMİR	Halk Sağlığı	Acıbadem Üniv. Tıp Fak.	☒ Var ☐ Yok	☐ Evet ☐ Hayır		
Yrd.Doç.Dr. Pınar Mega TİBER	Biyofizik	M.Ü Tıp Fakültesi/Üye	☒ Var ☐ Yok	☐ Evet ☐ Hayır		
Gözde Aynur MİRZA	Sağlık Mensubu olmayan kişi	Serbest	☒ Var ☐ Yok	☐ Evet ☐ Hayır		

9.2. Ek-2. Bilgilendirme Formu

Koklear implant kullanan çocukların veya yetişkinlerin, duydukları sesleri zamansal olarak ve frekans içeriği açısından nasıl algıladıklarının ve müziği algılama becerilerinin değerlendirilmesini amaçlayan “*Koklear Implant Kullanıcılarında Spektral ve Temporal İşitsel İşleme İle Müzik Algısı Arasındaki İlişki*” isimli çalışmada yer almak üzere davet edilmiş bulunmaktasınız. Bu çalışma, araştırma amaçlı olarak yapılmaktadır. Lütfen aşağıdaki bilgileri dikkatlice okumak için zaman ayırın ve bu bilgileri ailenizle ve/veya doktorunuzla tartışın. Çalışma hakkında tam olarak bilgi sahibi olduktan sonra ve sorularınız cevaplandıktan sonra eğer katılmak isterseniz sizden bu formu imzalamanız istenecektir.

Bu çalışmayla katılımcıların farklı sesleri ve ses gruplarını zamansal olarak nasıl algıladıkları ve müzikal sesleri ne şekilde ayırt edebildikleri test edilecektir. Toplamda sizinle birlikte 55 katılımcı çalışmada yer alacaktır. Araştırmamızda kendi geliştirdiğimiz test bataryasında farklı sesler dinleyecek ve yönlendirmeleri takip edeceksiniz. Bu testin herhangi bir girişimsel yönü yoktur. Sadece sesleri dinleyecek ve yanıt vereceksiniz.

Bu çalışmada yer alıp almamak tamamen size bağlıdır. Eğer katılmaya karar verirsiniz bu yazılı olarak bilgilendirilmiş olduğunuz form imzalanmak için size verilecektir. Aynı şekilde çalışmayı yürüten araştırmacı, araştırma şartları gereği sizi çalışma dışı bırakabilir. Rutin testler ve araştırma testleri toplamda 1 saat sürmektedir. Çalışma sağlık açısından herhangi bir risk taşımamaktadır.

Çalışmamıza katılarak koklear implant kullanıcılarında işitme sisteminin nasıl çalıştığının anlaşılmasına yardımcı olarak ülkemizde ve dünyada işitme biliminin gelişmesine katkıda bulunacaksınız. Araştırma için yapılacak harcamalarla ilgili herhangi bir parasal sorumluluğunuz bulunmamaktadır. Araştırmacı kişisel bilgilerinizi, araştırmayı ve istatistiksel analizleri yürütmek için kullanacaktır. Kimlik bilgileriniz çalışma boyunca araştırmacı tarafından gizli tutulacaktır. Çalışmanın sonunda, bu bilgiler hakkında bilgi istemeye hakkınız vardır. Çalışma sonuçları çalışma bitiminde tıbbi literatürde yayınlanabilecektir, ancak kimliğiniz açıklanmayacaktır.

Çalışma ile ilgili bir sorunuz olduğunda ya da çalışma ile ilgili ek bilgiye gereksiniminiz olduğunuzda aşağıdaki kişi ile lütfen iletişime geçiniz.

ADI: Mustafa Yüksel

GÖREVİ: Uzman Odyolog, Araştırmacı

TELEFON: 0536 680 13 56

9.3. Ek-3. Gönüllü Onay Formu

Yukarıda gönüllüye araştırmadan önce verilmesi gereken bilgileri gösteren metni okudum. Bunlar hakkında bana yazılı ve sözlü açıklamalar yapıldı. Bu koşullarla söz konusu klinik araştırmaya kendi rızamla hiçbir baskı ve zorlama olmaksızın katılmayı kabul ediyorum.

Gönüllünün Adı-Soyadı:

Telefon No:

Tarih:

Adresi:

İmza:

Velayet veya vesayet altında bulunanlar için:

Veli veya Vasinin Adı-Soyadı:

Telefon No:

Tarih:

Adresi:

İmza:

Açıklamaları Yapan Araştırmacının:

Adı-soyadı:

Telefon No:

Tarih:

Adresi:

İmza:

Rıza alma işlemine başından sonuna kadar tanıklık eden kuruluş görevlisinin:

Adı-soyadı:

Telefon No:

Tarih:

Adresi:

İmza:

9.4. Ek-4. Tez Çalışması Kapsamında Üretilen Makale ve Bildiriler



Effects of Low Frequency Residual Hearing on Music Perception and Psychoacoustic Abilities in Pediatric Cochlear Implant Recipients

Mustafa Yüksel^{1*}, Margaret A. Meredith² and Jay T. Rubinstein³

¹ Audiology and Speech Disorders Program, Institute of Health Sciences, Marmara University, Istanbul, Turkey, ² Childhood Communication Center, Seattle Children's Hospital, Seattle, WA, United States, ³ Virginia Merrill Bloedel Hearing Research Center, Department of Otolaryngology – Head and Neck Surgery, University of Washington, Seattle, WA, United States

OPEN ACCESS

Edited by:

Jeremy Marozeau,
Technical University of Denmark,
Denmark

Reviewed by:

Andrej Kral,
Hannover Medical School, Germany
Valerie Looi,
Advanced Bionics, Australia

*Correspondence:

Mustafa Yüksel
mustafa.yuksel@marmara.edu.tr

Specialty section:

This article was submitted to
Auditory Cognitive Neuroscience,
a section of the journal
Frontiers in Neuroscience

Received: 24 April 2019

Accepted: 19 August 2019

Published: 03 September 2019

Citation:

Yüksel M, Meredith MA and
Rubinstein JT (2019) Effects of Low
Frequency Residual Hearing on Music
Perception and Psychoacoustic
Abilities in Pediatric Cochlear Implant
Recipients. *Front. Neurosci.* 13:924.
doi: 10.3389/fnins.2019.00924

Studies have demonstrated the benefits of low frequency residual hearing in music perception and for psychoacoustic abilities of adult cochlear implant (CI) users, but less is known about these effects in the pediatric group. Understanding the contribution of combined electric and acoustic stimulation in this group can help to gain a better perspective on decisions regarding bilateral implantation. We evaluated the performance of six unilaterally implanted children between 9 and 13 years of age with contralateral residual hearing using the Clinical Assessment of Music Perception (CAMP), spectral ripple discrimination (SRD), and temporal modulation transfer function (TMTF) tests and compared findings with previous research. Our study sample performed similarly to normal hearing subjects in pitch direction discrimination (0.81 semitones) and performed well above typical CI users in melody recognition (43.37%). The performance difference was less in timbre recognition (48.61%), SRD (1.47 ripple/octave), and TMTF for four modulation frequencies. These findings suggest that the combination of low frequency acoustic hearing with the broader frequency range of electric hearing can help to increase clinical CI benefit in pediatric users and decisions regarding second-side implantation should consider these factors.

Keywords: cochlear implant, residual hearing, hearing preservation, music perception, psychoacoustics

INTRODUCTION

Profoundly deaf patients can receive cochlear implants (CIs) and the advantages of electrical stimulation in restoring hearing capacity and speech understanding are well known. However, music perception and speech perception in noise are still generally poor in CI recipients without residual acoustic hearing, due to spectrottemporal limitations of electrical stimulation (Gfeller et al., 2002b, 2007; Nimmons et al., 2008; Won et al., 2010, 2011; Drennan et al., 2015). Combining acoustic hearing with electric stimulation, if available, can be advantageous and CI users who have residual low frequency hearing in the non-implanted ear or in the implanted ear can perform better on such tasks (Gantz and Turner, 2004; Gantz et al., 2006; Golub et al., 2012; Roland et al., 2016). There are different ways to achieve combined acoustic and electric hearing. CI users can use the residual hearing in the implanted ear when residual hearing is preserved, so called

Hybrid (Cochlear Ltd., Sydney) or EAS (MED-EL, Innsbruck, Austria) hearing, or benefit from the residual hearing in the contralateral non-implanted ear, so-called bimodal hearing, with or without a hearing aid. The aim of both methods is to combine the high frequency information of electrical stimuli with the low frequency information of acoustic hearing to provide better spectral and temporal information via the combination than a CI can provide alone.

The benefits of combined acoustic and electric hearing are especially significant in music perception (Gfeller et al., 2006; Golub et al., 2012; Driscoll et al., 2016; Kelsall et al., 2017; Cheng et al., 2018; Parkinson et al., 2019). Gfeller et al. (2006) conducted two different experiments. In the first, authors compared 4 Hybrid CI users implanted with shorter electrode arrays with 39 CI users implanted with standard length electrodes and 17 normal hearing adults using an open-set melody recognition test. In the second, authors compared 14 Hybrid CI users implanted with shorter electrode arrays with 174 standard CI users implanted with standard length electrodes and 21 normal hearing adults using a closed set test of musical instrument identification. Hybrid CI users performed significantly better than standard CI users on both tests and similar to normal hearing subjects in melody recognition with lyrics. Dorman et al. (2008) evaluated and compared the melody recognition abilities of 15 CI users with and without a hearing aid in the non-implanted ear. Acoustic only (70.6%) and EAS (71.2%) modes were similar but the electric only mode (52%) was significantly poorer than the other two conditions. More recently, Kelsall et al. (2017) demonstrated that Hybrid CI users ($N = 50$) implanted with shorter electrode arrays performed similarly to normal hearing subjects in a pitch perception task using complex tones and the average score was 1.1 semitones. Conventional CI users tested in related studies have scores around three semitones. Melody perception was 65.9% and almost three times better than in conventional CI users. Timbre recognition was also better, but the difference was limited with Hybrid users scoring 56.6% and conventional CI users scoring 42.5%. The authors concluded that Hybrid CI users maintain music perception abilities postoperatively better than typically observed with conventional CIs.

To determine whether the preserved acoustic cues contribute to superior performance, Parkinson et al. (2019) examined the music perception of normal hearing subjects with acoustic simulations of Hybrid implants and compared electric only, acoustic only, and electro-acoustic conditions. Results showed better performance with the electric-acoustic condition (67.9%) in melody recognition scores compared to the electric-only condition (39.1%), but there was no effect of stimulation condition on timbre recognition scores. Researchers also compared the findings with the Hybrid L24 US clinical trial (Roland et al., 2016) and the results showed a similar pattern. The authors attributed the better melody recognition performance to the availability of low frequency spectral cues in the acoustic domain. In general, low frequency residual hearing appears highly beneficial for pitch and melody perception but less so for timbre perception.

Speech and musical sounds contain multiple frequency and timing cues that vary in a complex manner. Both normal hearing

and CI systems need a detailed representation of acoustic signals in spectral and temporal domains to fully perceive such complex signals, but spectral and temporal sensitivity is limited in current implants as a result of biological and technological constraints. Won et al. (2010) evaluated the spectral and temporal sensitivity and music perception abilities of 42 adult CI recipients. Spectral sensitivity was shown to correlate with the three subtests of the Clinical Assessment of Music Perception (CAMP) test (Kang et al., 2009), but there was no correlation between temporal sensitivity and music perception. A similar study was performed with pediatric CI recipients (8–16 years of age) and the authors suggested that the spectral sensitivity might be decisive in the children's performance (Jung et al., 2012). Heng et al. (2011) and Kong et al. (2011) both evaluated the relationship between timbre perception and temporal sensitivity in CI recipients and both studies emphasized the importance of temporal sensitivity in the perception of timbre. Recently Choi et al. (2018) evaluated the spectrotemporal modulation sensitivity and music perception of normal hearing listeners, hearing aid users, and CI recipients, and there was a significant correlation between music perception abilities and spectrotemporal modulation sensitivity, but there was no correlation between music perception and spectral or temporal modulation sensitivities alone. Golub et al. (2012) compared Hybrid CI recipients with standard CI recipients and pitch perception and spectral ripple discrimination (SRD) performance were significantly better in the Hybrid group and there was no advantage of residual acoustic hearing for temporal sensitivity.

Since there is no US FDA approval for the Hybrid or EAS systems for individuals younger than 18 years of age, reported outcomes in this age group with preserved residual hearing after implantation are limited. Benefit of combined acoustic and electric hearing on music emotion judgment (Giannantonio et al., 2015) and perception (Shirvani et al., 2016) and faster reaction time on music perception tests (Polonenko et al., 2017) were shown in bimodal CI users with a contralateral hearing aid. While these studies emphasize the benefit of combined electric and contralateral acoustic hearing, it is also possible to electro-acoustically stimulate the same ear and even the same single neuron (Tillein et al., 2015; Sato et al., 2017) with Hybrid and EAS systems. But there are only two studies directly evaluated the Hybrid or EAS system using subjects under 18 years of age. Driscoll et al. (2016) evaluated the music perception of five adolescents using Hybrid implants (13–18 years of age) with complex pitch ranking (PR-C), melodic error detection, and melody recognition. The performance of the Hybrid implant users on the three tests was significantly better than the traditional implant users and very similar to normal hearing peers. Recently Cheng et al. (2018) assessed the speech perception and melody contour identification of 35 children in unilateral (CI only) and bimodal (with hearing aid on the contralateral ear) conditions. Subjects performed significantly better in the bimodal condition on the melody contour identification and Mandarin tone recognition tests and results suggested that combined electric and acoustic hearing can improve both music and tonal speech perception in CI users.

Given the apparent benefits of bimodal hearing, there is an ongoing debate over when bimodal hearing may have benefits over bilateral CIs (Cullington and Zeng, 2011; Looi and Radford, 2011; Bartov and Most, 2014; Giannantonio et al., 2015; Polonenko et al., 2017; Gifford and Dorman, 2018). Studies reported that bimodal benefit is highly dependent on the degree of hearing loss, amount of pre-operative acoustic experience, and CI benefit (Looi and Radford, 2011; Ilg et al., 2014; Dorman et al., 2015) and also the testing material used to evaluate the benefit. Standard clinical measures of speech perception alone are probably not reliable to determine second-side CI candidacy (Gifford and Dorman, 2018). Therefore, this study was intended to assess spectral and temporal sensitivity and music perception in older children with progressive hearing loss who have residual hearing in the contralateral ear to determine if, as expected, their outcomes were adult-like. We also intended to evaluate the benefits of residual acoustic hearing on music perception and spectral and temporal sensitivity in this age group. It is hoped that such measures can improve candidacy selection for second-side cochlear implantation in children with residual hearing in the unimplanted ear.

MATERIALS AND METHODS

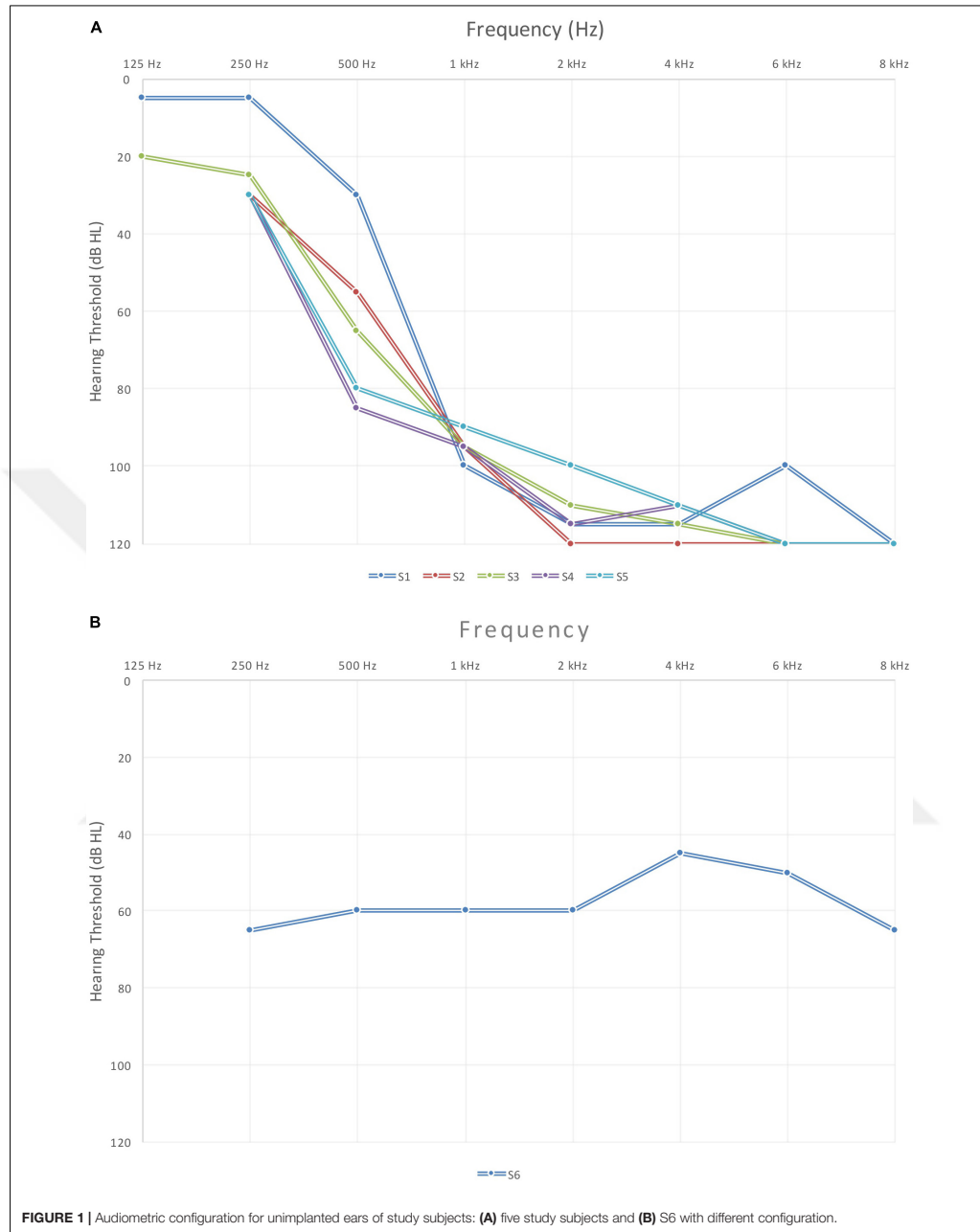
Subjects

Six unilaterally implanted children between 9 and 13 years ($M = 10.6$ years) of age participated in this study. Subjects spoke English as their native language and had limited formal music training. **Table 1** describes the demographics and etiology of hearing loss if known. All subjects passed newborn hearing screening bilaterally, have normal cochlear anatomy and early speech, and language development was normal by parent report. All subjects except S6 were deafened progressively while S6 had stable hearing thresholds through all of childhood. Mean age at diagnosis was 3.9 years and all subjects started to use hearing aids not later than 6 months after the diagnosis (mean age 4.1 years). Mean age at implantation was 5.2 years and all of the participants were using their implants for 4–8 years at the time of the study. All subjects received Cochlear Ltd. Devices using the Advanced Combination Encoder strategy at 900 Hz stimulation rate per channel. During the testing only one subject (S6) was wearing her hearing aid since she was the only one using a hearing aid in the unimplanted ear regularly. The other five subjects were not using an aid in the contralateral ear by the time of the study though some had earlier in their lives. Audiograms for the contralateral ear are shown for five subjects (**Figure 1A**). S6 has a significantly different audiometric configuration from the rest of the group, therefore we presented her audiogram separately (**Figure 1B**). The protocol was approved by the Seattle Children's Hospital and University of Washington Institutional Review Boards and all subjects and their parents gave written informed consent.

All tests were conducted in a sound-treated double walled room (IAC) with custom MATLAB programs and a sound field presentation level of 65 dB A. All stimuli were presented via a loudspeaker that was positioned at 0° azimuth and 0° elevation at a 1-m distance from the subjects.

TABLE 1 | Demographics, etiology of hearing loss, and speech perception scores.

No.	Age	Demographics			Participant demographics				Speech perception scores		
		Age at diagnosis (months)	Age at hearing aid (months)	Age at first CI (months)	Etiology	Device	Processor	Surgical approach	CNC (words) (%)	AzBio quiet (%)	AzBio + 5 SNR (%)
1.	10	50	51	58	TMPRSS33 mutation	CI422	Nucleus 6	Round window	84	98	65
2.	12	25	28	46	TMPRSS33 mutation	CI512	Nucleus 6	Cochleostomy	80	95	42
3.	9	27	27	38	TMPRSS33 mutation	CI422	Nucleus 5	Round window	56	86	59
4.	11	75	76	84	Unknown	CI422	Nucleus 6	Round window	88	99	47
5.	11	75	76	84	Unknown	CI422	Nucleus 6	Round window	100	98	52
6.	13	51	53	60	Connexin26	CI422	Nucleus 5	Round window	80	90	66
Mean	11	50.5	51.83	61.67							



Clinical Assessment of Music Perception

Clinical Assessment of Music Perception is a test of music perception that was specifically developed for CI users and a previously described testing procedure was employed for pitch, timbre, and melody subtests (Nimmons et al., 2008; Kang et al., 2009). Each test was started with a training session that allowed the subjects to familiarize themselves with the task which allowing them to listen four different pitch pairs and 12 melodies and 8 instruments twice. During training sessions feedback was given, but in the actual testing no feedback was given to the subjects.

The complex pitch direction discrimination (PDD) test was a two alternative forced choice procedure in which the subject identifies the synthesized tone with a higher pitch. Two buttons (1 and 2) were presented on a computer screen and subjects were instructed to select the button corresponding to the tone with the higher pitch. Three base frequencies (262, 330, and 392 Hz) were used as a reference stimulus and in each tone pair the comparison stimulus interval was changed by the step size of one semitone. The initial pitch pair has an interval of 12 semitones and each correct response was followed by a smaller interval with incorrect responses followed by larger intervals. The discrimination threshold in semitones was estimated as the mean interval size for three base frequencies, each determined from the mean of the final six of eight reversals. A reversal at zero was automatically added by the test algorithm when the subjects answered correctly at a one semitone interval to create an accurate psychometric function.

Twelve well-known melody clips were played three times in random order in the melody recognition subtest. Rhythmic cues were removed from the melodies and each note of each melody has the same length and time signature with identical tempo. All melodies played in notes with a duration of 500 ms in an 8 note pattern at a tempo of 60 beats per minute. Each melody was prerecorded as five versions with different intensities per note (± 4 dB) and each time a different version was played randomly to avoid intensity cues. After listening to the melody, subjects were asked to identify the melody by selecting the title of the song from the closed set of names. Measured outcome was a total percent correct score calculated after 36 melody presentations.

In timbre recognition, subjects were asked to identify a musical instrument from a closed set of names with the picture of the corresponding instrument. Eight instruments playing an identical five-note sequence were used and all instruments were recorded live with attempted identical phrasing. A total percent of instruments correctly identified was calculated after 24 presentations.

Spectral Ripple Discrimination

The SRD test is an adaptive task and previously described stimuli and procedures were used (Won et al., 2007). The stimuli were generated by summing 200 pure tone frequency components with a duration of 500 ms and a rise/fall time of 150 ms. Each stimulus was either a standard (reference) or inverted ripple (ripple phase – reversed). The stimuli had a bandwidth of 100–5000 Hz and the ripple densities differed

by ratios of 1.411. The test paradigm used a two up and one down adaptive forced-choice procedure and spectral ripple resolution thresholds were determined converging on 70.7% correct (Levitt, 1971). Thresholds were determined as the highest ripple density (in ripples per octave – rpo) at which listeners were able to discriminate an inverted signal from two standard stimuli, identical to the inverted one except that the positions of spectral peaks and valleys were reversed. Subjects were instructed to select the respective number of different/inverted signal from computer screen. Testing included three adaptive tracks. The mean threshold of a single track was determined by averaging the final 8 of 13 reversals. The final SRD thresholds were determined by averaging three adaptive tracks. A few examples were shown to subjects prior to the actual test until the examiner is confident the subject understood the task and as the actual testing began no feedback was given.

Temporal Modulation Transfer Function

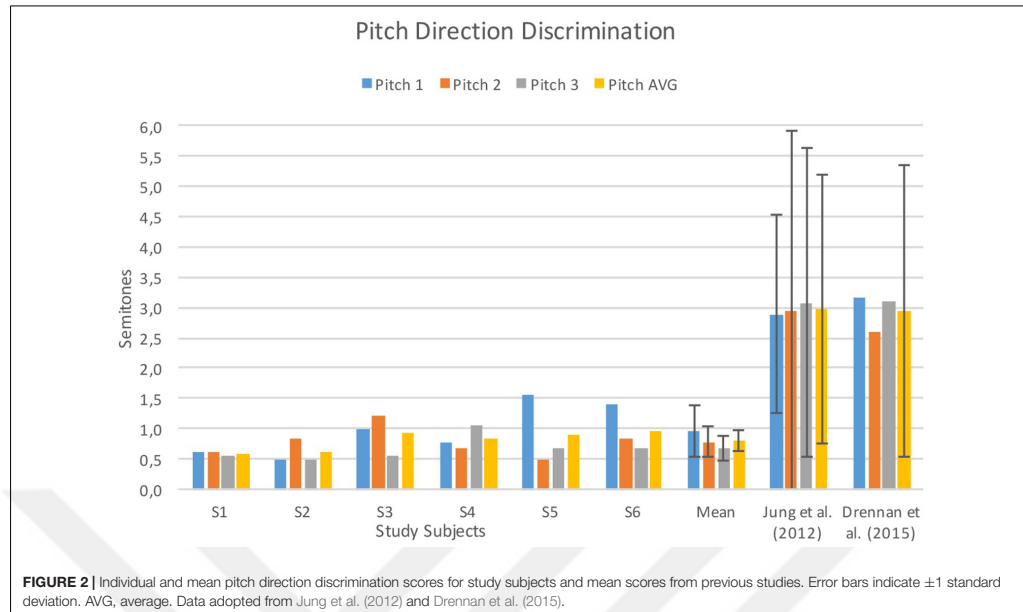
The temporal modulation transfer function (TMTF) test used in this study was adapted from Bacon and Viemeister (1985) and modified by Won et al. (2011). Stimuli consisted of two intervals, one with unmodulated and one with sinusoidally amplitude modulated (SAM) wide-band noise and subjects were instructed to choose the interval with the modulation. Total duration of the stimuli was 2 s and each interval was 1 s. Modulation frequencies of 10, 50, 100, and 300 Hz were used to keep the attention of the subjects since three tests were taking approximately 90 min and this also allowed analysis of the high pass characteristic of the TMTF. Modulated stimuli were created with the following equation:

$$y(t) = [f(t)] x[1 + m_i \sin(2\pi f_m t)]$$

In this equation, t indicates time and x indicates multiplication, $f(t)$ is the wideband Gaussian noise carrier, m_i is the modulation index (modulation depth), f_m is the modulation frequency, and $y(t)$ is the resulting signal. To compensate the intensity increment for the SAM stimuli the modulated waveform was divided by a factor of $1 + (m_i^2/2)$. A two interval two alternative forced-choice test with two down one up adaptive procedure was used. Measured outcome was the modulation depth (m_i) threshold (MDT) for each modulation frequency, converging on 70.7% (Levitt, 1971). The starting modulation depth was 100% and decreasing in steps of 4 dB for the first four reversals and 2 dB for the next 10 reversals. MDT for each modulation frequency was obtained from the average of the final 10 reversals. Reported values are in dB relative to 100% modulation depth.

RESULTS

Since our study sample was small, results from previous studies conducted with the same testing material in the same research center were used as a reference and values are shown in the respective figures.



CAMP

Pitch direction discrimination, timbre recognition, and melody recognition scores of six study subjects and mean values from previous studies conducted with normal hearing subjects and standard length electrode CI users (Kang et al., 2009; Jung et al., 2012; Drennan et al., 2015) for reference are shown in Figures 2, 3.

Mean PDD thresholds for the study sample were $0.97 (\pm 0.43)$ for 262 Hz; $0.78 (\pm 0.25)$ for 330 Hz; $0.67 (\pm 0.20)$ for 391 Hz; and $0.81 (\pm 0.16)$ semitones on average. Jung et al. (2012) assessed 11 prelingually deafened pediatric CI users with standard length electrodes and no residual hearing and subjects scored 2.98 (± 2.23) semitones on average and 145 postlingually deafened adult CI users in the Drennan et al. (2015) study scored 2.95 (± 2.40) semitones on average (Figure 2). Mean PDD threshold of normal hearing subjects in Kang et al. (2009) study was $1.0 (\pm 0.03)$.

The timbre recognition score of the subjects was 48.61% (± 8.06) on average. Pediatric users of CIs without residual hearing in a previous study scored 34.09% (± 13.15) on average (Jung et al., 2012). Adult CI recipients in the Drennan et al. (2015) study and adults with Hybrid devices in electro-acoustic mode in Parkinson et al. (2019) study scored 43.2 ($\pm 22\%$) and 40.7 ($\pm 19.7\%$), respectively (Figure 3A). Mean timbre recognition of normal hearing subjects in Kang et al. (2009) study was 94.2 ($\pm 4.0\%$).

On the melody recognition subtest the subjects scored 43.37% (± 19.49) on average and with that score our study sample performed almost four times better than the children from a

previous study without residual hearing (Jung et al., 2012). In reference studies adult CI users scored 26.20% (± 19.90) on average (Drennan et al., 2015) and adult Hybrid users in the electric-acoustic condition in the Parkinson et al. (2019) study scored 67.90% (± 21.10) on average (Figure 3B). Mean melody recognition of normal hearing subjects in Kang et al. (2009) study was 87.5% ($\pm 8.3\%$).

Spectral Ripple Discrimination

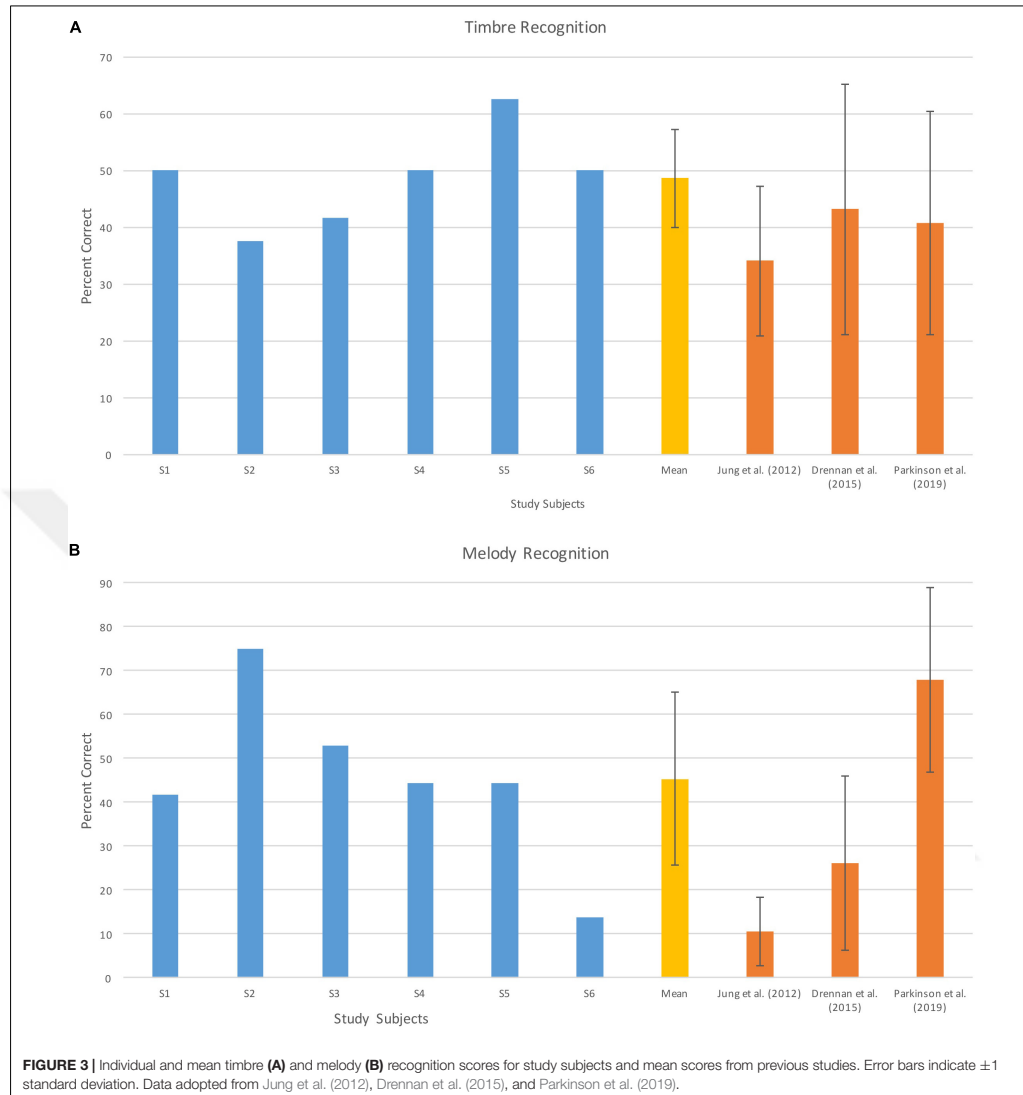
Mean spectral ripple threshold of study subjects was 1.47 (± 0.85) rpo. Pediatric and adult CI recipients and adult Hybrid CI recipients in previous studies have mean spectral ripple thresholds at 2.08 (± 1.6), 2.10 (0.40) and 4.60 (± 0.60) rpo, respectively (Figure 4A).

Temporal Modulation Transfer Function

Temporal modulation detection thresholds in four modulation frequency are shown in Figure 4B. Two previous reference studies were conducted with adult CI recipients (Won et al., 2011; Golub et al., 2012) but the values were quite similar. The low pass shape of the present study's TMTFs is similar to TMTFs measured in previous studies.

DISCUSSION

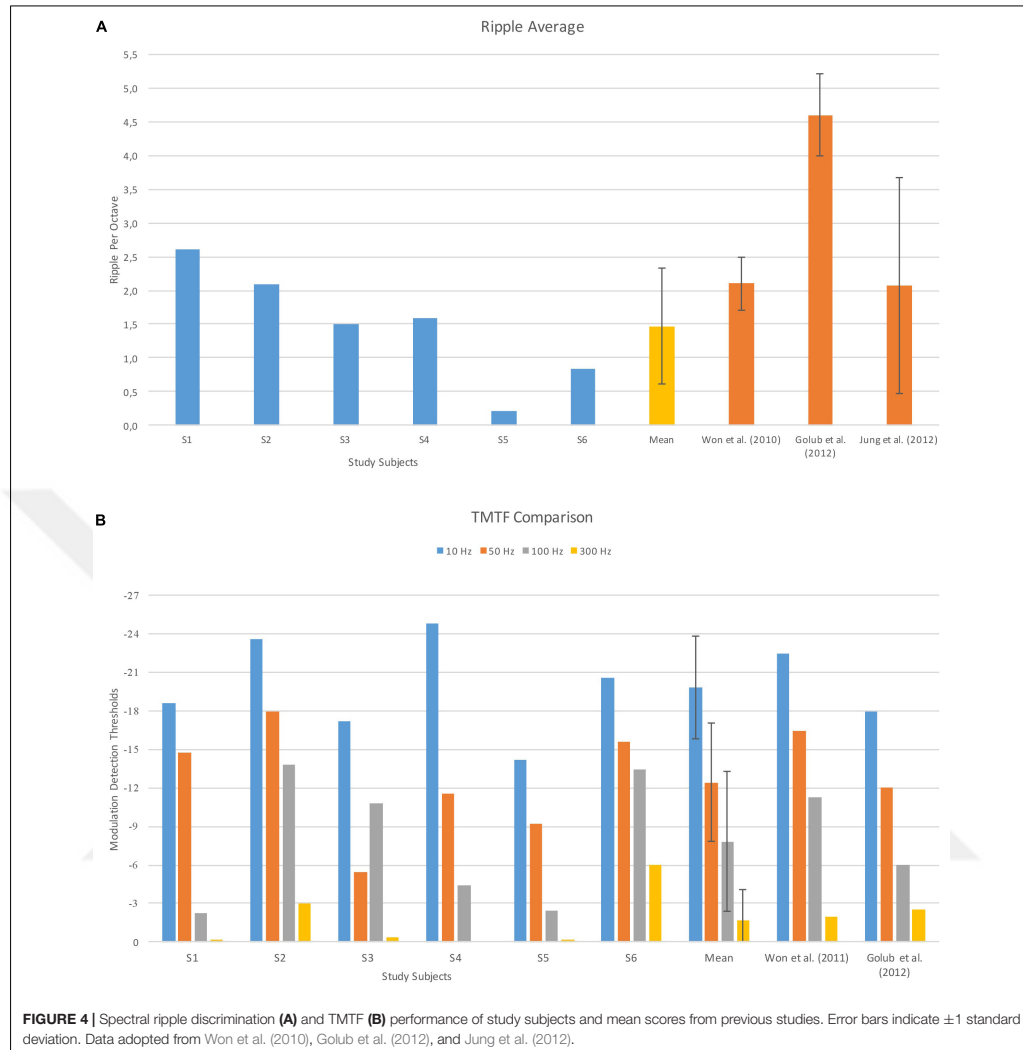
This study demonstrates the benefit of low frequency residual hearing on music perception measurements in CI recipients. Such benefit was shown in previous studies with bimodal users



(Bartov and Most, 2014; Cheng et al., 2018), Hybrid CI recipients (Driscoll et al., 2016), and acoustic simulations of the electric-acoustic condition (Parkinson et al., 2019).

The complex PDD performance of our study sample was very close to normal hearing subjects in previous studies (Gfeller et al., 2002a; Kang et al., 2009) with values ranging between 0.59 and 0.96 semitones. Adolescent Hybrid CI users in the Driscoll et al. (2016) study performed between 1 and 6 semitones but

the PR-C Test was used in that study and the best score in PR-C is 1 semitone while the best score in PDD of CAMP is 0.50 semitones. Also the participants in our study had progressive hearing losses but there was no comparable information given in the Driscoll et al. (2016) study. Adult Hybrid CI users in the Kelsall et al. (2017) study performed the same pre (with hearing aids) and post operatively (mean = 1.1 semitones) in the PDD test and this observation is an important evidence for



the benefit of low frequency hearing on pitch perception. This benefit is especially significant, since the pitch range evaluated in CAMP is a direct reflection of western musical instruments and melody intervals that mainly focused on octaves around middle C (262 Hz). In the other two measurements of music perception, the study sample performed better than CI recipients without any acoustic hearing, particularly for melody recognition. We believe that the superior performance in the melody recognition can be related to the PDD, since the melodies were sequential tones with changing pitches in an isochronous manner and as mentioned

earlier, these pitches are well within the residual hearing range of subjects 1–5. Unlike the PDD test, the participants did not reach the normal range in the melody recognition test. This finding is consistent with Jung et al. (2012) study where child CI users with standard length electrode arrays performed similarly to adults in the PDD test but performed below chance level on the melody recognition test. It should be considered that perception of melodies requires more attention and memory-related performance compared to the PDD test and this requirement might be dominant for children. Performance was

significantly worse than normal hearing in timbre recognition. Timbre of musical instruments is a perceptual concept related to salient peaks on the spectral envelope that can present itself as formants or harmonics (Burred et al., 2006) in the upper frequency range depending on the resonance characteristics of respective instruments (Toole and Olive, 1988). Therefore, the timbre recognition task is more related to broadband perception than pitch and melody recognition tasks and hence dependent on the well-known spectral limitations of CIs.

The superior performance seen in music perception was not evident in SRD and TMTF measurements. The SRD test stimulus has a frequency range of 100–5000 Hz and the perception of high frequency information above 1000 Hz is critical for ripple detection. Effects of age and maturation were studied previously and it has been suggested that SRD matures at 7 years of age in CI recipients (Horn et al., 2017). This is based not only on chronological age but also on CI age (DiNino and Arenberg, 2018) for congenitally deaf children. Our study sample consisted of children with progressive hearing loss who may develop normal central auditory function regardless of implantation age (Sharma and Dorman, 2006). Also, Jung et al. (2012) found no difference between adult and pediatric CI recipients in SRD testing. Therefore, we can speculate that the absence of difference can be expected due to the hearing loss above 1 kHz. In the same study by Jung et al. (2012) the difference between Schroeder-phase discrimination scores at 50 and 200 Hz of adult and pediatric CI groups was statistically significant and it is known that temporal auditory processing can be influenced by age (Brennan et al., 2018), become adult like at age of 11 years in normal hearing individuals (Buss et al., 2017) and development of temporal modulation sensitivity is delayed in pediatric CI users (Park et al., 2015). The precise maturation process in implanted children, and the effects of residual hearing and progressive hearing loss are still not known, but the effect of age and maturation must be considered when interpreting our results.

Limitations of the Study

Our sample size was small due to the specific nature of the CI recipients in this study. This limitation precludes detailed statistical analysis. It is believed, however, that the findings present valuable information to assist decisions on when to perform second-side implantation in older children with residual hearing.

CONCLUSION

Our study sample performed similarly to normal hearing listeners in the PDD task and also performed substantially

better on melody recognition than CI recipients without residual hearing in previous studies. Timbre recognition, SRD, and TMTF performances were similar to previous studies of implant recipients. These findings must have taken into account when deciding whether to proceed with second-side implants in children with residual hearing. CI recipients who perform similarly to normal hearing individuals in any behavioral measure is an important and atypical outcome measurement post implantation, hence preserving this ability should be a priority for clinicians.

DATA AVAILABILITY

The datasets generated for this study are available on request to the corresponding author.

ETHICS STATEMENT

This study was carried out in accordance with the recommendations of the Declaration of Helsinki with written informed consent from all subjects. The protocol was approved by the Seattle Children's Hospital and the University of Washington Institutional Review Boards.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

MY conducted the tests and wrote the manuscript. MM evaluated the subjects. JR conceptualized the study, reviewed the data, and edited the manuscript.

FUNDING

MY was supported by an individual fellowship from The Scientific and Technological Research Council of Turkey under International Research Fellowship Program. Philanthropic support to the Virginia Merrill Bloedel Hearing Research Center supported the studies.

ACKNOWLEDGMENTS

A portion of this paper was accepted for presentation at the 16th Symposium on CIs in Children in Hollywood, FL, United States, 10–13 July 2019.

REFERENCES

- Bacon, S. P., and Viemeister, N. F. (1985). Temporal modulation transfer functions in normal-hearing and hearing-impaired listeners. *Audiology* 24, 117–134. doi: 10.3109/00206098509081545
- Bartov, T., and Most, T. (2014). Song recognition by young children with cochlear implants: comparison between unilateral, bilateral, and bimodal users. *J. Speech Lang. Hear. Res.* 57, 1929–1941. doi: 10.1044/2014_JSLHR-H-13-0190
- Brennan, M. A., McCreery, R. W., Buss, E., and Jesteadt, W. (2018). The influence of hearing aid gain on gap-detection thresholds for children and adults with hearing loss. *Ear Hear.* 39, 969–979. doi: 10.1097/AUD.0000000000000558

- Burred, J., Röbel, A., and Rodet, X. (2006). "An accurate timbre model for musical instruments and its application to classification," in *Proceedings of the Workshop on Learning the Semantics of Audio Signals*, (Athens).
- Buss, E., Porter, H. L., Hall, J. W. III, and Grose, J. H. (2017). Gap detection in school-age children and adults: center frequency and ramp duration. *J. Speech Lang. Hear. Res.* 60, 172–181. doi: 10.1044/2016_JSLHR-H-16-0010
- Cheng, X., Liu, Y., Wang, B., Yuan, Y., Galvin, J. J. III, Fu, Q. J., et al. (2018). The benefits of residual hair cell function for speech and music perception in pediatric bimodal cochlear implant listeners. *Neural Plast.* 2018:4610592. doi: 10.1155/2018/4610592
- Choi, J. E., Won, J. H., Kim, C. H., Cho, Y.-S., Hong, S. H., and Moon, I. J. (2018). Relationship between spectrotemporal modulation detection and music perception in normal-hearing, hearing-impaired, and cochlear implant listeners. *Sci. Rep.* 8:800. doi: 10.1038/s41598-017-17350-w
- Cullington, H. E., and Zeng, F. G. (2011). Comparison of bimodal and bilateral cochlear implant users on speech recognition with competing talker, music perception, affective prosody discrimination, and talker identification. *Ear Hear.* 32, 16–30. doi: 10.1097/AUD.0b013e3181edfbd2
- DiNino, M., and Arenberg, J. G. (2018). Age-related performance on vowel identification and the spectral-temporally modulated ripple test in children with normal hearing and with cochlear implants. *Trends Hear.* 22:2331216518770959. doi: 10.1177/2331216518770959
- Dorman, M. F., Cook, S., Spahr, A., Zhang, T., Loisele, L., Schramm, D., et al. (2015). Factors constraining the benefit to speech understanding of combining information from low-frequency hearing and a cochlear implant. *Hear. Res.* 322, 107–111. doi: 10.1016/j.heares.2014.09.010
- Dorman, M. F., Gifford, R. H., Spahr, A. J., and McKarns, S. A. (2008). The benefits of combining acoustic and electric stimulation for the recognition of speech, voice and melodies. *Audiol. Neurotol.* 13, 105–112. doi: 10.1159/000111782
- Drennan, W. R., Oleson, J. J., Gfeller, K., Crosson, J., Driscoll, V. D., Won, J. H., et al. (2015). Clinical evaluation of music perception, appraisal and experience in cochlear implant users. *Int. J. Audiol.* 54, 114–123. doi: 10.3109/14992027.2014.948219
- Driscoll, V. D., Welhaven, A. E., Gfeller, K., Oleson, J., and Olszewski, C. P. (2016). Music perception of adolescents using electroacoustic hearing. *Otol. Neurotol.* 37, e141–e147. doi: 10.1097/MAO.0000000000000945
- Gantz, B. J., and Turner, C. (2004). Combining acoustic and electrical speech processing: Iowa/Nucleus hybrid implant. *Acta Otolaryngol.* 124, 344–347. doi: 10.1080/00016480410016423
- Gantz, B. J., Turner, C., and Gfeller, K. E. (2006). Acoustic plus electric speech processing: preliminary results of a multicenter clinical trial of the Iowa/Nucleus Hybrid implant. *Audiol. Neurotol.* 11, 63–68. doi: 10.1159/000095616
- Gfeller, K., Olszewski, C., Turner, C., Gantz, B., and Oleson, J. (2006). Music perception with cochlear implants and residual hearing. *Audiol. Neurotol.* 11(Suppl. 1), 12–15. doi: 10.1159/000095608
- Gfeller, K., Turner, C., Mehr, M., Woodworth, G., Fearn, R., Knutson, J. F., et al. (2002a). Recognition of familiar melodies by adult cochlear implant recipients and normal-hearing adults. *Cochlear Implants Int.* 3, 29–53. doi: 10.1002/cii.50
- Gfeller, K., Witt, S., Woodworth, G., Mehr, M. A., and Knutson, J. (2002b). Effects of frequency, instrumental family, and cochlear implant type on timbre recognition and appraisal. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol.* 111, 349–356. doi: 10.1177/000348940211100412
- Gfeller, K., Turner, C., Oleson, J., Zhang, X., Gantz, B., Froman, R., et al. (2007). Accuracy of cochlear implant recipients on pitch perception, melody recognition, and speech reception in noise. *Ear Hear.* 28, 412–423. doi: 10.1097/aud.0b013e3180479318
- Giannantonio, S., Polonenko, M. J., Papsin, B. C., Paludetti, G., and Gordon, K. A. (2015). Experience changes how emotion in music is judged: evidence from children listening with bilateral cochlear implants, bimodal devices, and normal hearing. *PLoS One* 10:e0136685. doi: 10.1371/journal.pone.0136685
- Gifford, R. H., and Dorman, M. F. (2018). Bimodal Hearing or Bilateral Cochlear Implants? Ask the Patient. *Ear Hear.* 40, 501–516. doi: 10.1097/aud.0000000000000657
- Golub, J. S., Won, J. H., Drennan, W. R., Worman, T. D., and Rubinstein, J. T. (2012). Spectral and temporal measures in hybrid cochlear implant users: on the mechanism of electroacoustic hearing benefits. *Otol. Neurotol.* 33, 147–153. doi: 10.1097/MAO.0b013e318241b6d3
- Heng, J., Cantarero, G., Elhilali, M., and Limb, C. J. (2011). Impaired perception of temporal fine structure and musical timbre in cochlear implant users. *Hear. Res.* 280, 192–200. doi: 10.1016/j.heares.2011.05.017
- Horn, D. L., Dudley, D. J., Dedhia, K., Nie, K., Drennan, W. R., Won, J. H., et al. (2017). Effects of age and hearing mechanism on spectral resolution in normal hearing and cochlear-implanted listeners. *J. Acoust. Soc. Am.* 141, 613–613. doi: 10.1121/1.4974203
- Illg, A., Bojanowicz, M., Lesinski-Schiedat, A., Lenarz, T., and Buchner, A. (2014). Evaluation of the bimodal benefit in a large cohort of cochlear implant subjects using a contralateral hearing aid. *Otol. Neurotol.* 35, e240–e244. doi: 10.1097/MAO.0000000000000529
- Jung, K. H., Won, J. H., Drennan, W. R., Jameyson, E., Miyasaki, G., Norton, S. J., et al. (2012). Psychoacoustic performance and music and speech perception in prelingually deafened children with cochlear implants. *Audiol. Neurotol.* 17, 189–197. doi: 10.1159/000336407
- Kang, R., Nimmons, G. L., Drennan, W., Longnion, J., Ruffin, C., Nie, K., et al. (2009). Development and validation of the University of Washington clinical assessment of music perception test. *Ear Hear.* 30, 411–418. doi: 10.1097/AUD.0b013e3181a61bc0
- Kelsall, D. C., Arnold, R. J. G., and Lionnet, L. (2017). Patient-reported outcomes from the united states clinical trial for a hybrid cochlear implant. *Otol. Neurotol.* 38, 1251–1261. doi: 10.1097/MAO.0000000000001517
- Kong, Y., Mullangi, A., Marozeau, J., and Epstein, M. (2011). Temporal and spectral cues for musical timbre perception in electric hearing. *J. Speech Lang. Hear. Res.* 54, 981–994. doi: 10.1044/1092-4388(2010)10-0196
- Levitt, H. (1971). Transformed up-down methods in psychoacoustic. *J. Acoust. Soc. Am.* 2:467. doi: 10.1121/1.1912375
- Looi, V., and Radford, C. J. (2011). A comparison of the speech recognition and pitch ranking abilities of children using a unilateral cochlear implant, bimodal stimulation or bilateral hearing aids. *Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol.* 75, 472–482. doi: 10.1016/j.ijporl.2010.12.023
- Nimmons, G. L., Kang, R. S., Drennan, W. R., Longnion, J., Ruffin, C., Worman, T., et al. (2008). Clinical assessment of music perception in cochlear implant listeners. *Otol. Neurotol.* 29, 149–155. doi: 10.1097/mao.0b013e31812f7244
- Park, M.-H., Won, J. H., Horn, D. L., and Rubinstein, J. T. (2015). Acoustic temporal modulation detection in normal-hearing and cochlear implanted listeners: effects of hearing mechanism and development. *J. Assoc. Res. Otolaryngol.* 16, 389–399. doi: 10.1007/s10162-014-0499-z
- Parkinson, A. J., Rubinstein, J., Drennan, W., Dodson, C., and Nie, K. (2019). Hybrid music perception outcomes: implications for melody and timbre recognition in cochlear implant recipients. *Otol. Neurotol.* 40, e283–e289. doi: 10.1097/MAO.0000000000002126
- Polonenko, M. J., Giannantonio, S., Papsin, B. C., Marsella, P., and Gordon, K. A. (2017). Music perception improves in children with bilateral cochlear implants or bimodal devices. *J. Acoust. Soc. Am.* 141, 4494–4507. doi: 10.1121/1.4985123
- Roland, J. T. Jr., Gantz, B. J., Waltzman, S. B., Parkinson, A. J., and Group, M. C. T. (2016). United States multicenter clinical trial of the cochlear nucleus hybrid implant system. *Laryngoscope* 126, 175–181. doi: 10.1002/lary.25451
- Sato, M., Baumhoff, P., Tillein, J., and Kral, A. (2017). Physiological mechanisms in combined electric-acoustic stimulation. *Otol. Neurotol.* 38, e215–e223. doi: 10.1097/MAO.0000000000001428
- Sharma, A., and Dorman, M. F. (2006). Central auditory development in children with cochlear implants: clinical implications. *Adv. Otorhinolaryngol.* 64, 66–88. doi: 10.1159/000094646
- Shirvani, S., Jafari, Z., Motasaddi Zarandi, M., Jalaie, S., Mohagheghi, H., and Tale, M. R. (2016). Emotional perception of music in children with bimodal fitting and unilateral cochlear implant. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol.* 125, 470–477. doi: 10.1177/0003489415619943
- Tillein, J., Hartmann, R., and Kral, A. (2015). Electric-acoustic interactions in the hearing cochlea: single fiber recordings. *Hear. Res.* 322, 112–126. doi: 10.1016/j.heares.2014.09.011

- Toole, F. E., and Olive, S. E. (1988). The modification of timbre by resonances: perception and measurement. *J. Audio Eng. Soc.* 36, 122–142.
- Won, J. H., Drennan, W. R., Kang, R. S., and Rubinstein, J. T. (2010). Psychoacoustic abilities associated with music perception in cochlear implant users. *Ear Hear.* 31, 796–805. doi: 10.1097/AUD.0b013e3181e8b7bd
- Won, J. H., Drennan, W. R., Nie, K., Jameyson, E. M., and Rubinstein, J. T. (2011). Acoustic temporal modulation detection and speech perception in cochlear implant listeners. *J. Acoust. Soc. Am.* 130, 376–388. doi: 10.1121/1.3592521
- Won, J. H., Drennan, W. R., and Rubinstein, J. T. (2007). Spectral-ripple resolution correlates with speech reception in noise in cochlear implant users. *J. Assoc. Res. Otolaryngol.* 8, 384–392. doi: 10.1007/s10162-007-0085-8
- Conflict of Interest Statement:** JR has served as a paid consultant to Cochlear Ltd., and Advanced Bionics Corporation, two manufacturers of cochlear implants.
- The remaining authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.
- Copyright © 2019 Yüksel, Meredith and Rubinstein. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.



Cochlear Implantation in a Case of Auditory Neuropathy Spectrum Disorder with CAPOS Syndrome

CAPOS Sendromu ve İşitsel Nöropati Spektrum Bozukluğu Olan Bir Hastada Koklear İmplantasyon

Atılım ATILGAN , Mustafa YUKSEL , Ayca CIPRUT 

Ethics Committee Approval: Not Applicable.

Conflict of Interest: The authors declare that they have no conflict of interest.

Funding: None.

Informed Consent: Informed consent was taken.

Cite as: Atilgan A, Yuksel M, Ciprut A. Cochlear implantation in a case of auditory neuropathy spectrum disorder with CAPOS syndrome. Medeniyet Med J. 2019;34:

ABSTRACT

Auditory neuropathy spectrum disorder (ANS) is a hearing disorder which characterized with normal outer hair cell function but disrupted neural synchrony in the afferent auditory pathway. CAPOS (cerebellar ataxia, areflexia, pes cavus, optic atrophy, and sensorineural hearing loss) syndrome can manifest itself with ANSD and this rare situation and audiological rehabilitation outcomes have not well documented in the literature. We aim to present a cochlear implant user subject with CAPOS syndrome and ANSD. A 14-year-old girl diagnosed with ANSD and CAPOS syndrome. She received unilateral cochlear implant (CI). Her hearing sensitivity and speech perception abilities have been improved with CI. Also, she has a good music perception ability measured with the Turkish version of Clinical Assessment of Music Perception Test. After detailed audiological evaluations, CI could be a good option for patients who have ANSD and CAPOS syndrome.

Keywords: Cochlear implant, auditory neuropathy spectrum disorder, CAPOS syndrome

ÖZ

İşitsel Nöropati Spektrum Bozukluğu (İNSB) normal dış tüy hücre fonksiyonuna rağmen afferent işitsel yollarda senkronizasyonun kesintiye uğramasıyla tanımlanan bir işitme problemdir. Birçok gen mutasyonu İNSB'ye neden olabilir ve bazı vakalarda ek patolojiler gözlemlenebilir. CAPOS (serebellar ataksi, arefleks, pes kavus, optik atrofi ve sensorinöral işitme kaybı) sendromunda sensorinöral işitme kaybı İNSB ile kendini gösterir ve odyolojik rehabilitasyonla ilgili sonuçlar literatürde yeterince açıklanmamıştır. Bu çalışmada CAPOS sendromu ve İNSB'si olan koklear implant kullanıcısı bir hasta sunulmuştur. 14 yaşında kız hasta İNSB ve CAPOS sendromuyla tanılanmıştır. Bir yıl süren takibin ardından unilateral koklear implant kullanmaya başlamıştır. Koklear implant sonrasında hastanın işitme eşiklerinde ve konuşmayı algılama performansında belirgin derecede iyileşme gözlenmiştir. Ayrıca Müzik Algısının Klinik Değerlendirmesi Testinin Türkçe versiyonunda müzik algısı performansının yüksek olduğu görülmüştür. Detaylı odyolojik değerlendirmeler sonrasında CAPOS sendromu ve İNSB'si olan hastalar için koklear implant iyi bir seçenek olabilir.

Anahtar kelimeler: Koklear implant, işitsel nöropati spektrum bozukluğu, CAPOS sendromu

Received: 29 July 2019
Accepted: 14 August 2019
Online First: 27 September 2019

Corresponding Author:
A. Atilgan
ORCID: 0000-0003-2944-6404
Marmara University,
Department of Audiology,
Istanbul, Turkey
✉ atilmatilgan@gmail.com

M. Yuksel
ORCID: 0000-0002-9092-7541
A. Ciprut
ORCID: 0000-0002-0295-8760
Marmara University,
Department of Audiology,
Istanbul, Turkey

INTRODUCTION

Auditory neuropathy spectrum disorder (ANSD) is a hearing disorder that can be diagnosed by an absent or abnormal auditory brainstem responses and presence of outer hair cell function. The most prominent indication of the outer hair cell function is a clear cochlear microphonic in an auditory brainstem response (ABR) waveform with an absent or abnormal ABR response and the presence of otoacoustic emissions (OAEs)¹.

The behavioral pure-tone thresholds (BPTT) of patients with ANSD vary greatly. In most cases, hearing thresholds are fluctuated and are unstable. These symptoms often correlate with poor speech perception abilities, especially in the presence of background noise². Sound localization abilities are also deteriorated³.

Disrupted neural synchrony despite normal peripheral activity can be caused by presynaptic dysfunction of the inner hair cells, and involves pre-, and postsynaptic nerve terminal synapses within the inner hair cells, and postsynaptic unmyelinated and myelinated dendrites, auditory ganglion cells and myelinated axons⁴. The typical etiologies of ANSD include prematurity, Cytomegalovirus (CMV), hyperbilirubinemia, anoxia, hypoxia, congenital brain anomalies, ototoxic drug exposure, and genetic factors⁵. Clinical evidence of ANSD can also be attributed to auditory nerve aplasia/dysplasia^{6,7}.

The rehabilitation options for ANSD patients depend on the individual's hearing needs and the location of the pathologies. Hearing aids may not be an effective treatment due to the auditory synchronization issues associated with the postsynaptic disorder⁸. Several studies have established that cochlear implant (CI) may be a good option for patients with ANSD⁸⁻¹⁰.

CAPOS (cerebellar ataxia, areflexia, pes cavus, optic atrophy, and sensorineural hearing loss) is a

genetic syndrome that is classified as an ATP1A3 gene mutation-related neurological disorder. The prognosis for CAPOS syndrome is progressive. It generally starts with the sudden onset of cerebellar ataxia and febrile illness. Recurrent episodes have also been reported¹¹. Hearing loss is a common symptom in patients with CAPOS syndrome, however the nature and prognosis of the disease can vary. In CAPOS syndrome, mutations in the ATP1A3 gene may cause auditory neuropathy that affect the postsynaptic site, resulting in a disruption in the synapses between the afferent auditory nerve and the inner hair cells¹². This disruption is described as postsynaptic synaptopathy¹³. Auditory interventions can be confusing for subjects with ANSD, and an additional disorder, like CAPOS syndrome, further complicates the course of interventions more markedly. Few studies on the benefits of CIs in subjects with ANSD and CAPOS syndrome have been reported in the literature. Therefore, this paper presents outcomes of CI in a rare case of ANSD with CAPOS syndrome.

CASE REPORT

Our case was 14 years old during our study, and she suffered from varicella disease when she was 8 years old. Sudden hearing loss occurred after this febrile illness, and she received treatment procedure for idiopathic sudden hearing loss at a different hospital. The patient did not receive any audiological interventions until she visited our clinic. She was referred to our clinic when she was 11 years old with complaints of dizziness and vision problems, as well as hearing loss and poor speech understanding performance in the presence of noise. Her audiometric evaluation when she was 11 years old (during her first visit) indicated moderate hearing loss with low-frequency sloping, as demonstrated by the audiogram in Figure 1.

Clear OAE responses were detected. ANSD was confirmed with an absent auditory brainstem response and the presence of cochlear micro-

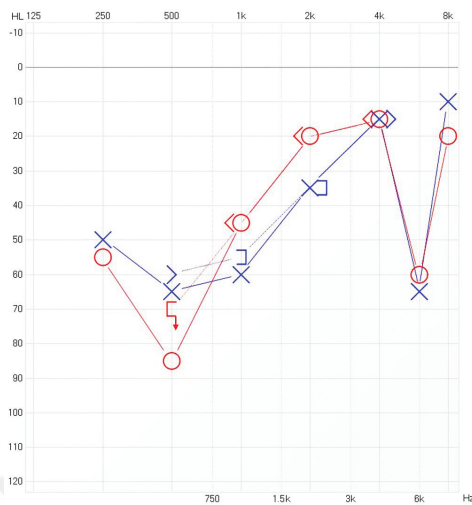


Figure 1. Behavioral pure-tone air conduction thresholds at 11 years old.

phonics for both ears (Figure 2). ABR was performed during natural sleep using the Interacoustics Eclipse (Interacoustics, Middlefart, Denmark) with ER-3A insert earphones. The stimulus artifact was confirmed by performing a control trace, after removing the insert earphones, and preventing the sound from being delivered to the ear. The patient's audiological evaluations at 11 years old (during her first visit) are summarized in Table 1.

The patient's prognosis deteriorated in speech understanding, balance, and vision. After genetic testing, she was diagnosed with CAPOS syndrome. Corresponding ATP1A3 analysis revealed that she carried a heterozygous variant, c.2491 G > A: p.E831K of the ATP1A3 gene which is classified as 'pathogenic' by dbSNP and 'likely pathogenic' by the CLINVAR database (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/clinvar/>). This genetic variant was not detected in the patient's parents. Radiological evaluations confirmed that there were no cochlear and/or auditory nerve malformations.

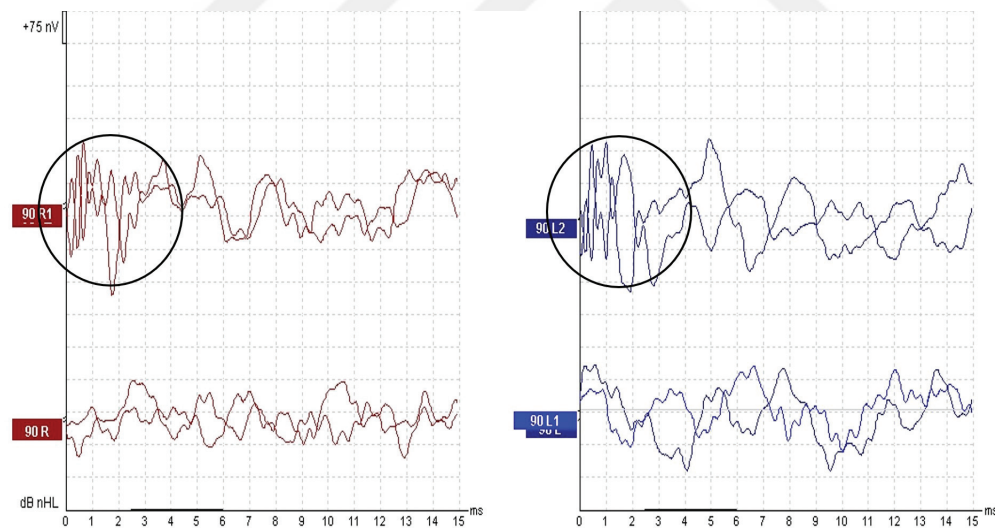
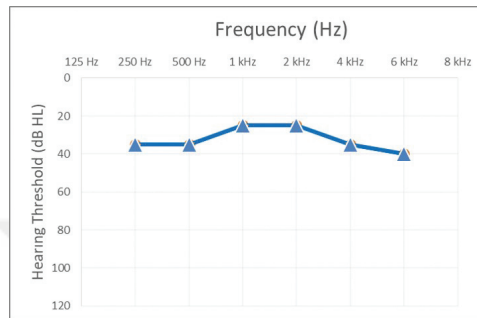


Figure 2: Click Evoked ABR result with rarefaction and condensation polarities for the patient. The upper part of the figure shows the cochlear microphonics which are indicated in the circle line. The lower part are the control traces (no stimulus presented to patient) for controlling any stimulus related artifact.

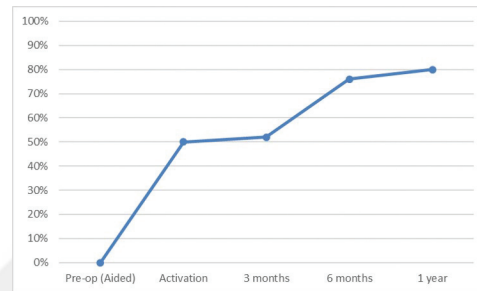
Table 1. Audiological test results at 11 years old.

Acoustic Immitance	Normal tympanogram, acoustic reflexes absent for both ears
Otoacoustic Emission (DPOAE)	Present for both ears
Auditory Brainstem Response (ABR)	No response for both ears
Cochlear Microphonics	Present for both ears
Audiogram configuration	Reverse sloping audiogram for both ears
Unaided Speech Discrimination Score	34% for right ear, 38% for the left ear
Aided Speech Discrimination Score	28%

**Figure 3. Behavioral frequency modulated tones thresholds with CI after one-year CI usage.**

The patient briefly used a bilateral hearing aid equipped with frequency modulation (FM) system, but she rejected the device after complaints of poor speech perception abilities. Our speech perception evaluations also confirmed that she did not benefit from the hearing aids (Table 1). After her one-year follow-up, when she was 12 years old, she received a unilateral CI (Cochlear Nucleus CI 24RE) in the right ear. All the electrode impedance telemetry values were within a normal range. Electrical compound action potentials were detected for all electrodes using Neural Response Telemetry. Her CI was adjusted to her behavioral threshold and comfort level. The patient was followed up regularly with free field pure-tone audiometry, and her behavioral pure tone thresholds were within the range of 20-40 dB HL (Figure 3).

The speech audiometry was conducted using a mono-syllabic, phonetically balanced word discrimination test 14 in a sound-treated, double-

**Figure 4: Pre (Last visit prior to CI) and Post-Operative Word discrimination score.**

walled room (IAC Acoustics, Sound Seal, IL, USA). Words were presented through loudspeakers that was positioned at 0° azimuth and 0° elevation and that were located 1-m from the patient. She had clear speech during the tests. Her word discrimination score increased as the duration of CI usage increased (Figure 4). Her speech understanding in noise performance was tested with the Turkish Matrix Sentence Test¹⁵ and 50% speech reception threshold was reached at 7.4 dB SNR after one-year of CI usage. Her test score was in the above to normal range for normal hearing¹⁵ but dropped to the normal range for CI recipients, according to Hocberg et al.¹⁶.

The patient's music perception abilities were also evaluated using the Turkish version of the Clinical Assessment of Music Perception Test (T-CAMP)¹⁷ (for detailed information on the testing materials and procedure please see Kang et al.¹⁸). Testing was conducted in a free field with custom MATLAB (MathWorks Inc., Natick, MA, USA) pro-

grams on a computer connected to a Madsen Astera Audiometer (Otometrics, Natus Medical, Denmark) with a sound field presentation level of 65 dBA. All stimuli were presented through a JBL Control One loudspeaker (JBL, Harman International, USA) that was positioned at 0° azimuth and 0° elevation and located 1-m from the subject. The subject scored 2,41 semitones on a pitch direction discrimination (PDD) subtest and scored 45.83% and 8.33% on timbre and melody recognition subtests, respectively.

DISCUSSION

In this paper, we documented a case of ANSD with CAPOS syndrome and our results suggest that after careful selection these patients can also benefit from CI as much as patients with SNHL.

There are only a few studies in the literature that evaluated patients with CAPOS syndrome and their CI outcomes. Han et al.¹² reported 3 cases confirmed with ATP1A3 mutations and two of them underwent CI. They monitored speech performance for 6 months and the speech perception test scores improved as the duration of CI usage increased. Tranebjærg et al.¹¹ presented 18 patients with CAPOS syndrome who had hearing problems and they stated that 4 patients received CI and two of them gained significant benefit from CI. Patients who have gained significant benefit from CI were younger than patients who have not. Considering the beneficial effects of CI in ANSD patients with disorders of inner hair cells, and the presence of synapses or the myelinated dendrites of spiral ganglion cells¹⁹, we can say that it is not surprising to observe beneficial effects of CI in patients with ATP1A3 mutation -related ANSD. CI can bypass the site of lesion in these patients and present a clear and synchronized signal to the auditory nerve. Synchronization of the auditory nerve helps to improve speech perception as a result of improved temporal synchrony and spectral resolution. It is well known that temporal auditory processing is degraded in patients with

ANSD²⁰ and consistent stimulation of CI electrodes can deliver the temporal envelope in each electrode, therefore improves the temporal synchrony²¹. Although some studies have suggested that patients with ANSD did not perform poorly in frequency discrimination test like they did in temporal processing tests²², it is still crucial to present spectrally rich information to the auditory nerve for good speech perception.

Contribution of temporal and spectral information in music perception is similar to speech perception. Broader spectral resolution with temporal information is crucial for good music perception. Our findings on the music perception is unique in the literature for ANSD patients with CAPOS syndrome. In previous studies CI users performed differently. Mean PDD scores ranged between 2.95²¹ and 4.6²³ semitones, melody recognition scores between 10.61^{23,24} and 29.6²³ and timbre recognition scores between 34.09^{23,24} and 48.2²³.

Our patient's score on the timbre recognition test (45.83%) was superior to that detected in a previous study (34.09%) with similar study group²⁴, possibly as a result of residual hearing capacity in high frequencies. Reverse sloping audiometric configuration is very common in patients with CAPOS syndrome and ANSD as reported in previous studies^{11,12,25}. Although the contribution of residual hearing in case of ANSD is controversial, we can speculate that some benefit can still be achievable. Studies on the music perception abilities of CI users showed that, while low frequency residual hearing is beneficial for pitch perception²⁶, timbre perception needs broader frequency perception especially in high frequencies. Timbre recognition performance of our patient might be the manifestation of the contribution of residual hearing in high frequencies. Scores observed in PDD and melody recognition subtest scores were similar to the scores obtained by the patients with sensorineural hearing loss in previous studies in this age range²⁴, which can be a result of a similar low frequency hearing capacity in our case and in

patients with severe/profound SNHL. Therefore, contribution of residual hearing in patients with ANSD should be considered.

Another consideration in case of CAPOS syndrome is the effect of optic atrophy and the possible deteriorations in the visual domain. Early diagnosis of the hearing loss and interventions with hearing aids and/or CIs have vital importance and can be life-changing for these patients. Prevention of sensory deprivation, especially in younger age, can confer lifelong benefit for patients with CAPOS syndrome.

CONCLUSION

We presented a patient who had ANSD with CAPOS syndrome that successfully received and benefited from CI. Audiological management of ANSD with CAPOS syndrome could be complicated as a result of complex nature of both disorders. After careful audiological follow-ups and detailed evaluations, patients should be considered as candidates for the implantation of cochlear implant.

REFERENCES

- Berlin CI, Hood L, Morlet T, Rose K, Brashears S. Auditory neuropathy/dys-synchrony: diagnosis and management. *Ment Retard Dev Disabil Res Rev*. 2003;9:25-231. [CrossRef]
- Berlin CI, Hood LJ, Morlet T, et al. Multi-site diagnosis and management of 260 patients with auditory neuropathy/dys-synchrony (auditory neuropathy spectrum disorder). *Int J Audiol*. 2010;49:30-43. [CrossRef]
- Zeng F-G, Kong Y, Michalewski HJ, Starr A. Perceptual consequences of disrupted auditory nerve activity. *J Neurophysiol*. 2005;93:3050-63. [CrossRef]
- Rance G, Starr A. Pathophysiological mechanisms and functional hearing consequences of auditory neuropathy. *Brain*. 2015;138:3141-58. [CrossRef]
- Rajput K, Saeed M, Ahmed J, et al. Findings from aetiological investigation of Auditory Neuropathy Spectrum Disorder in children referred to cochlear implant programs. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2019;116:79-83. [CrossRef]
- Buchman CA, Roush PA, Teagle HFB, Brown CJ, Zdaniski CJ, Grose JH. Auditory Neuropathy Characteristics in Children with Cochlear Nerve Deficiency. *Ear Hear*. 2006;27:399-408. [CrossRef]
- Atılğan A, Öztürk S, Binnetoğlu A. Cochlear Nerve Agenesis in Unilateral Auditory Neuropathy Spectrum Disorder: Case Report. *Turkish J Audiol Hear Res*. 2018;1-5.
- Sharma A, Cardon G. Cortical development and neuroplasticity in Auditory Neuropathy Spectrum Disorder. *Hear Res*. 2015;330:221-32. [CrossRef]
- Breneman A, Gifford RH, Dejong MD. Cochlear Implantation in Children with Auditory Neuropathy Spectrum Disorder: Long Term Outcomes. *J Am Acad Audiol*. 2012;23:5-17. [CrossRef]
- Teagle HFB, Roush PA, Woodard JS, et al. Cochlear implantation in children with auditory neuropathy spectrum disorder. *Ear Hear*. 2010;31:325-35. [CrossRef]
- Tranebjærg L, Strenzke N, Lindholm S, et al. The CAPOS mutation in ATP1A3 alters Na/K-ATPase function and results in auditory neuropathy which has implications for management. *Hum Genet*. 2018;137:111-27. [CrossRef]
- Han K-H, Oh D-Y, Lee S, et al. ATP1A3 mutations can cause progressive auditory neuropathy: a new gene of auditory synaptopathy. *Sci Rep*. 2017;7:16504. [CrossRef]
- Shearer AE, Hansen MR. Auditory synaptopathy, auditory neuropathy, and cochlear implantation. *Laryngoscope Invest Otolaryngol*. July 2019. [CrossRef]
- Akşit M. Konuşmayı Ayırt Etme Testi İçin İzofonik Tek Heceli Kelime Listelerinin. Oluşturulması (Unpublished master's thesis). Marmara University Health Sciences Institute. 1994.
- Zokoll MA, Fidan D, Türkylmaz D, et al. Development and evaluation of the Turkish matrix sentence test. *Int J Audiol*. 2015;54(Suppl 2):51-61. [CrossRef]
- Hochberg I, Boothroyd A, Weiss M, Hellman S. Effects of noise and noise suppression on speech perception by cochlear implant users. *Ear Hear*. 1992;13:263-71. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1397769>. Accessed August 5, 2019. [CrossRef]
- Yüksel M. Relationship Between Spectral and Temporal Auditory Processing and Music Perception Abilities of Cochlear Implant Users (Unpublished master's thesis). Marmara University Health Sciences Institute, 2019.
- Kang R, Nimmons GL, Drennan W, et al. Development and Validation of the University of Washington Clinical Assessment of Music Perception Test. *Ear Hear*. 2009;30:411-8. [CrossRef]
- Santarelli R, Rossi R, Scimemi P, et al. OPA1-related auditory neuropathy: Site of lesion and outcome of cochlear implantation. *Brain*. 2015;138:563-76. [CrossRef]
- Zeng F-G, Oba S, Garde S, Sininger Y, Starr A. Temporal and speech processing deficits in auditory neuropathy. *Neuroreport*. 1999;10:3429-35. [CrossRef]
- Drennan WR, Longnion JK, Ruffin C, Rubinstein JT. Discrimination of Schroeder-Phase Harmonic Complexes by Normal-Hearing and Cochlear-Implant Listeners. *J Assoc Res Otolaryngol*. 2008;9:138-49. [CrossRef]
- Vinay, Moore BCJ. Ten(HL)-test results and psychophysical tuning curves for subjects with auditory neuropathy. *Int J Audiol*. 2007;46:39-46. [CrossRef]
- Won JH, Drennan WR, Kang RS, Rubinstein JT. Psychoacoustic abilities associated with music perception in cochlear implant users. *Ear Hear*. 2010. [CrossRef]
- Jung KH, Won JH, Drennan WR, et al. Psychoacoustic Performance and Music and Speech Perception in Prelingually Deafened Children with Cochlear Implants. *Audiol Neurotol*. 2012;17:189-97. [CrossRef]
- Paquay S, Wiame E, Deggouj N, et al. Childhood hearing loss is a key feature of CAPOS syndrome: A case report. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2018;(September 2017):191-4. [CrossRef]
- Gfeller KE, Olszewski C, Turner C, Gantz B, Oleson J. Music Perception with Cochlear Implants and Residual Hearing. *Audiol Neurotol*. 2006;11:12-5. [CrossRef]

Konu **About Your Abstract / 14th European Symposium on Pediatric Cochlear Implantation**
Gönderen 14th European Symposium on Pediatric Cochlear Implantation - 2019ESPCI
<LookUs@AbstractAgent.com>
Alıcı <mustafa.yuksel@marmara.edu.tr>
Tarih 2019-08-24 12:45



Bucharest, Romania
16-19 October, 2019

14th European Symposium on Pediatric Cochlear Implantation



Dear Mustafa Yüksel,

We are pleased to inform you that your abstract titled "**Music and Speech Perception Abilities of Cochlear Implant User Adolescents with Auditory Neuropathy Spectrum Disorder**" with reference number "0081" has been accepted for "**Oral Presentation**" in **ROUNDTABLE** in scope of **14th European Symposium on Paediatric Cochlear Implantation** which will be held in *Bucharest, Romania* between *October 16-19, 2019*.

We thank you for your contribution to the **14th European Symposium on Paediatric Cochlear Implantation**.

As the details of the program are finalized we will send you the schedule of your speech. You may visit the official web site of the ESPCI 2019 via www.espci2019.org to follow the updates in the program and also the announcements.

Please do not hesitate to contact us if you have any questions or need any clarifications.

Best Regards,



TOPKON CONGRESS SERVICES

Phone: +90 216 330 90 20 Pbx
Fax: +90 216 330 90 05-06-07-08
Email: espci2019@topkon.com
<http://www.topkon.com>

This letter of acceptance is sent for scientific participation only and could not be considered as an invitation letter.

AbstractAgent by LookUs
www.AbstractAgent.com/2019espci


[Print this Page for Your Records](#)
[Close Window](#)

Control/Tracking Number: 2019-A-432-ACI

Activity: Abstract

Current Date/Time: 12/7/2018 9:17:25 PM

Effects of low frequency residual hearing on music perception by older children**Presenter Bio:**

Dr Rubinstein received ScB/ScM degrees in Engineering at Brown University in 1981/83. He received an MD and PhD in Bioengineering at the University of Washington in 1987/88. He completed postdoctoral research training and residency in Otolaryngology in 1994 at the Massachusetts Eye and Ear Infirmary. He completed a Neurotology fellowship at the University of Iowa in 1995 staying as Assistant then Associate Professor of Otolaryngology and Bioengineering. In 2003/04 he was the Boerhaave Professor at Leiden University, the Netherlands. He is currently Virginia Merrill Bloedel Professor of Otolaryngology and Bioengineering and Director, Bloedel Hearing Research Center, University of Washington. He has been President of the American Auditory Society and the Association for Research in Otolaryngology. He is a member of the Collegium Otorhinolaryngologicum as well as a Senior Member of the Institute for Electrical and Electronics Engineers. He is president-elect of the Politzer Society. He has published over 130 peer-reviewed articles in both clinical and basic science journals and has mentored 18 predoctoral and postdoctoral trainees in basic and translational research, as well as providing clinical training to a large number of otolaryngology residents and fellows. His laboratory studies models of, signal processing in and perception with cochlear implants, and is collaborating in the development of a vestibular implant.

Author Block: Mustafa Yuksel, BS¹, Meg Meredith, MA², **Jay T. Rubinstein, MD, PhD¹**;

¹VM Bloedel, Univ. of Washington, Seattle, WA, ²Audiology, Seattle Childrens, Seattle, WA.

Abstract:

Introduction: Research with postlingually deafened adults demonstrates that low frequency residual hearing is highly beneficial for pitch and melody perception but less so for timbre perception. Research with prelingually deafened children shows generally poor music perception overall. This study was intended to assess music perception in older children with progressive hearing loss to determine if, as expected, their outcomes were more adult-like

Methods: Six children with residual contralateral hearing were studied with the UW Clinical Assessment of Music Test. They were assessed in a soundbooth using both their CI and their contralateral hearing in its usual aided or unaided condition.

Results: In five patients with steeply sloping contralateral residual hearing with good low frequency threshold, pitch and melody perception were better than typical CI users. In one patient who had a flat -60 dB hearing loss, results were similar to typical CI users. In general timbre perception was not enhanced by residual hearing consistent with studies of postlingually deafened adults.

Conclusion: When determining whether a patient is a candidate for a second-side cochlear implant, the impact of the possible loss of residual low frequency thresholds on music perception should be considered even if that ear has very poor or no measurable speech perception

:

Author Disclosure Information:

M. Yuksel: None. **M. Meredith:** None. **J.T. Rubinstein:** Grant/research support; Company; Cochlear, Ltd. Grant/research support; My Role; PI.

Classifications (Complete): 01j. Music and Cochlear Implantation ; 01g. Hearing Preservation

Keyword (Complete): music ; melody ; timbre

Presentation Preference (Complete): Podium

Disclosures (Complete):

: True

: True

Additional Details (Complete):

I anticipate discussing the unlabeled uses of a commercial product in this educational activity.: No

Does this research involve human or animal subjects?: Yes

If yes, Has this research been approved by the Institutional Review Board (IRB) and/or Institutional Animal Care and Use Committee (IACUC)?:

Yes

This abstract should be entered into the Student Poster Competition.: No

Learning Objectives (Complete):

CI2019 Pediatric:
**16th Symposium
on Cochlear
Implants in
Children**

Treating the Whole Child



**PROGRAM
BOOK**

July 10-13, 2019
Hollywood, FL

Organizers:
American Cochlear Implant Alliance
University of Miami, Department of
Otolaryngology/Ear Institute

www.acialliance.org



@acialliance #CI2019Miami



facebook.com/acialliance.org





TIME	CODE	TITLE	PRESENTER	ROOM
12:40 PM - 2:10 PM	S2-3	Getting the Most out of the CI - Audiology*		Great Hall 1-3
		Moderators: Michael Scott, AuD; Teresa Zwolan, PhD		
12:40 PM - 12:49 PM		Reliability of Cochlear Implants: Reporting In Compliance with International Standards by Cochlear Implant Manufacturers	Brian Kaplan, MD	
12:49 PM - 12:58 PM		The Long-Term Stability of the Electrical Stapedial Reflex Threshold; A Retrospective Chart Review	Cache Pitt, AuD	
12:58 PM - 1:07 PM		Evaluation of a Modern Remote Microphone DeC72:C79signed to Improve Performance in Small Group Settings with Multiple Talkers	Sara Neumann, AuD	
1:07 PM - 1:16 PM		The Latest and Greatest from the Cochlear Implant Literature for the Clinical Audiologist	Jannine Larky, AuD	
1:16 PM - 1:25 PM		Q&A		
1:25 PM - 1:34 PM		Longitudinal Results of Older Pediatric Sequential Cochlear Implant Recipients	Allison Biever, AuD	
1:34 PM - 1:43 PM		Towards a Consensus About Minimal Outcome Measurements in Paediatric Cochlear Implant Users	Griet Mertens, PhD AuD	
1:43 PM - 1:52 PM		Effects of Speech Processing Strategy on Cochlear Implant Performance	Meredith Holcomb, AuD	
1:52 PM - 2:01 PM		How Accurate is Cochlear Implant Scene Classification?	Hillary Ganek, PhD	
2:01 PM - 2:10 PM		Q&A		
2:10 PM - 2:40 PM	COF-2	Coffee Break with Exhibitors		Great Hall 4-6
2:40 PM - 3:40 PM	S3-1	Imaging/Surgical		Regency
		Moderators: Joni Doherty, MD; Colin Driscoll, MD		
2:40 PM - 2:49 PM		Diffusion Tensor Imaging Measures are Associated with Speech Perception Ability in Young Cochlear Implant Candidates	Nancy Young, MD	
2:49 PM - 2:58 PM		Cochlear Implants and Magnetic Resonance Imaging: Experience with Over 100 Studies Performed with Magnets in Place	Neil Patel, MD	
2:58 PM - 3:07 PM		Cochlear Morphologic Factors Associated with Electrode Contact Position with the New Slim Modiolar Electrode	Nedim Durakovic, MD	
3:07 PM - 3:16 PM		Comparison of Intrascalar Location of Straight vs Perimodiolar Electrode Array by Flat-Panel Computerized Tomography	Diego Zanetti, MD	
3:16 PM - 3:25 PM		Prediction of the Cochlear Implant Electrode Insertion Depth	Vedat Topsakal, Prof.	
3:25 PM - 3:40 PM		Q&A		
2:40 PM - 3:40 PM	S3-2	Cognition		Great Hall 1-3
		Moderators: Derek Houston, PhD; David Jung, MD		
2:40 PM - 2:49 PM		Executive Functioning in Children Using Cochlear Implants: Longitudinal Trajectories Over 3 Years	Alexandra Quittner, PhD	
2:49 PM - 2:58 PM		Principles of Executive Function Interventions for Children with Cochlear Implants	Amy McConkey Robbins, LSLS Cert AVT	
2:58 PM - 3:07 PM		Comparisons of Listening Effort, Speech Perception in Noise, and Working Memory in High-performing School-aged Cochlear Implant Users and their Normal Hearing Peers	Eun Kyung Jeon, PhD, AuD	
3:07 PM - 3:16 PM		Reading, Phonological Processing and Writing Outcomes for Adolescents Who Received Their First Cochlear Implant Younger than Two Years and Who are Now Aged 11 to 19 Years	Shani Dettman, PhD, MEd	
3:16 PM - 3:25 PM		Literacy and Related Outcomes: Comparisons Between Children with Cochlear Implants and Hearing Aids	Sneha Bharadwaj, PhD	
3:25 PM - 3:40 PM		Q&A		
2:40 PM - 3:40 PM	S3-3	Music		Atlantic
		Moderators: Blake Papsin, MD; Jay Rubinstein, MD		
2:40 PM - 2:49 PM		Effects of Low Frequency Residual Hearing on Music Perception by Older Children	Jay Rubinstein, MD, PhD	
2:49 PM - 2:58 PM		The Role of Music in Families of Children with Hearing Loss in Australia, Finland and the UK	Valerie Looi, PhD	

10.ÖZGEÇMİŞ

Adı	Mustafa	Soyadı	Yüksel
Doğum Yeri	Ankara	Doğum Tarihi	08.01.1985
Uyruğu	Türkiye	Telefon	536 680 13 56
E-Posta	mustafa.yuksel@marmara.edu.tr		

Eğitim Düzeyi

	Mezun Olduğu Kurumun Adı	Mezuniyet Yılı
Doktora	Marmara Üniversitesi Odyoloji ve Konuşma Bozuklukları	Devam ediyor
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi Odyoloji ve Ses Konuşma Bozuklukları Programı	2015
Lisans	Hacettepe Üniversitesi Psikoloji Bölümü	2008
Lise	Fethiye Kemal Mumcu Anadolu Listesi	2003

İş Deneyimi

	Görevi	Kurum	Süre (Yıl - Yıl)
1	Psikolog	75. Yıl Dinlenme ve Bakımevi	2010-2012
2	Psikolog	Sağlık Bakanlığı	2012-2014
3	Araştırma Görevlisi	Gazi Üniversitesi	2014-2015
4	Araştırma Görevlisi	Marmara Üniversitesi	2016-Devam ediyor

Yabancı Dilleri	Okuduğunu Anlama*	Konuşma*	Yazma*
İngilizce	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi

Yabancı Dil Sınav Notu #								
YDS	ÜDS	IELTS	TOEFL IBT	TOEFL PBT	TOEFL CBT	FCE	CAE	CPE
100								

	Sayısal	Eşit Ağırlık	Sözel
ALES Puanı	70	73	71

Bilgisayar Bilgisi

Program	Kullanma becerisi
MS Office	Çok iyi
SPSS	İyi
MATLAB	Orta
Logic Pro X	Çok iyi
Praat	İyi

EK : Diğer Bilimsel faaliyetler (yayın, kongre bildirisi vs.)

Hakemli Dergilerde Yayımlanan Araştırma Makaleleri

1. **Yüksel M**, Meredith MA, Rubinstein, JT. (2019) **Effects of Low Frequency Residual Hearing on Music Perception and Psychoacoustic Abilities in Pediatric Cochlear Implant Recipients**, *Frontiers in Neuroscience*, 13(924), DOI: 10.3389/fnins.2019.00924
2. Atılğan A, **Yüksel M**, Çıprut A. (2019) **Cochlear Implantation in a Case of Auditory Neuropathy Spectrum Disorder with CAPOS Syndrome**, *Medeniyet Medical Journal*, 34:318,323, DOI: 10.5222/MMJ.2019.53503
3. Derinsu U, **Yüksel M**, Geçici CR, Çıprut 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, DOI: 10.1016/j.anl.2018.06.006
4. **Yüksel M**, Gündüz B. (2019) **Long Term Average Speech Spectra of Postlingual Cochlear Implant Users**, *Journal of Voice*, 33(2):255: 19-25, DOI: 10.1016/j.jvoice.2017.10.013
5. **Yüksel M**, Gündüz B. (2018) **Long Term Average Speech Spectra of Turkish**, *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 43(3), 101-105, DOI: 10.1080/14015439.2017.1377286
6. **Yüksel M**, Kemaloğlu YK. (2017) **Acoustic Analysis of the Used Tuning Forks**. *Journal of International Advanced Otolaryngology*, 13(2), 239-242, DOI: 10.5152/iao.2017.2745
7. Doğan M, Nemli N, **Yüksel M**, Bayramoğlu İ, Kemaloğlu YK. (2016) **İşitme Kaybının Yaşam Kalitesine Etkisini İnceleyen Anket Çalışmalarına Ait Bir Derleme**. *Kulak Burun Boğaz ve Baş Boyun Cerrahisi Dergisi*, 24(1), 33-42.
8. **Yüksel M**, Kemaloğlu YK. (2015) **Diapazonlar: Tarihi, Özellikleri ve Günümüz KBB Uygulamalarındaki Güvenilirliklerinin İncelenmesi**. *Kulak Burun Boğaz ve Baş Boyun Cerrahisi Dergisi*, 23(3), 126-135

Kitap Bölümleri

1. **Yüksel M**, Gündüz B. (2015) **Odyolojide Temel Kavramlar ve Yaklaşımlar: İşitme Cihazları**, Nobel Tıp Kitapevi, Eds. Mehmet Gündüz, Hayriye Karabulut, ISBN:978-605-335-166-5.

Bildiriler

1. **Yüksel M, Çiprut A. (2019) Music and Speech Perception Abilities of Adolescent CI Users with Auditory Neuropathy Spectrum Disorder. 14th European Symposium on Pediatric Cochlear Implantation, 16-19 Ekim, Bükreş, Romanya, Sözlü Bildiri**
2. **Yüksel M, Meredith MA, Rubinstein, JT. (2019) Effects of low frequency residual hearing on music perception by older children. 16th Symposium on Cochlear Implants in Children, 10-13 Temmuz, Hollywood, Florida, ABD, Sözlü Bildiri**
3. Taşdemir İ, **Yüksel M, Çiprut A. (2019) Koklear İmplant Kullanıcılarında Dinleme Eforunun Psikoakustik Becerilerle İlişkinin İncelenmesi. 7. Ulusal Otoloji Nörootoloji Kongresi, 4-7 Nisan, Antalya, Türkiye, Sözlü Bildiri**
4. **Yüksel M, Çiprut A. (2018) Effect of Early and Late Implantation on the Speech Perception in Noise Performance of Cochlear Implant Recipients. 15th International Conference on Cochlear Implants and Other Implantable Auditory Technology, 27-30 Haziran, Antwerp, Belçika Sözlü Bildiri**
5. Mutlu B, **Yüksel M, Torun MT, Kalcıoğlu MT. (2018) Evaluation of the Pitch Perception Abilities of Adult Cochlear Implant Recipients. 15th International Conference on Cochlear Implants and Other Implantable Auditory Technology, 27-30 Haziran, Antwerp, Belçika, Sözlü Bildiri**
6. **Yüksel M. (2018) Güç Olgulara Yaklaşım: West Sendromu. Pediatrik Odyoloji Kongresi, 5-7 Şubat, Ankara, Türkiye, Panel Konuşmacısı**
7. **Yüksel M, Çiprut A. (2017) Case Study: Audiological Improvements in A Patient with Complex Health Issues. VIII. World Hearing Aids and Implants Symposium, 7-11 Ekim, Barcelona, İspanya, Sözlü Bildiri**
8. **Yüksel M, Çiprut A, Derinsu EU. (2017) Effects of Pre Cochlear Implantation Variables on the Post Cochlear Implantation Speech Discrimination Performances. 4th Congress of European ORL - HNS, 7-11 Ekim, Barcelona, İspanya, Sözlü Bildiri**
9. Cesur S, **Yüksel M, Çiprut A. (2017) Time of Cochlear Implant Use Obtained from Data Logging and Word Discrimination Performance of Children. 11th Asia Pacific Symposium on Cochlear Implants and Related Sciences, 19-22 Eylül, Famagusta, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti, Sözlü Bildiri**
10. Boynueğri S, **Yüksel M, Kemaloğlu YK. (2017) Could Manipulation Style of the Tuning Forks Produce So Much Different Results Leading to the Misinterpretation of the**

Audiological Test Outcomes? *13th Congress of the European Federation of Audiology Societies, 7-10 Haziran, Interlaken, İsviçre, Sözlü Bildiri*

11. Şansal E, Yılmaz M, Gündüz B, **Yüksel M.** (2017) Yutma Sorunu Olan Hastalarda Ses Analizlerinin Değerlendirilmesi. *V. Yutma Bozuklukları Kongresi, 12-14 Nisan, Ankara, Türkiye Sözlü Bildiri*
12. **Yüksel M,** Derinsu EU, Atılğan A. (2016) Fonksiyonel İşitme Kayıplarında Auditory Steady State Response (ASSR). *8. Ulusal Odyoloji ve Konuşma Bozuklukları Kongresi, 12-15 Ekim, Ankara, Türkiye, Sözlü Bildiri*
13. **Yüksel M.** (2016) Genç Bakış. *8. Ulusal Odyoloji ve Konuşma Bozuklukları Kongresi, 12-15 Ekim, Ankara, Türkiye, Panel Konuşmacısı*
14. **Yüksel M,** Gündüz B. (2016) **Audiological Findings Pertaining to Turkish Language.** *15th International Meeting of MSOA, 28-30 Nisan, Nevşehir, Türkiye, Sözlü Bildiri*
15. Bacık TŞ, Gündüz B, **Yüksel M,** Deniz M. (2015) Dudak-Damak Yarıklı Çocukların (2-78 Ay) Gelişim, Sesletim, Ses ve Dil Açısından Değerlendirilmesi. *Dudak Damak Yarıkları Derneği 2. Uluslararası Kongresi, 27-29 Kasım, Antalya, Türkiye, Sözlü Bildiri*
16. Kemaloğlu YK, **Yüksel M.** (2015) **Acoustical Analysis of Tuning Forks.** *12th European Federation of Audiology Societies Congress, 27-30 Mayıs, İstanbul, Türkiye, Poster Sunumu*
17. Bacık ŞD, Şahin GK, **Yüksel M,** Gündüz B, Gökdoğan Ç. (2015) **Quality of Life of Pediatric Patients with Cochlear Implant.** *12th European Federation of Audiology Societies Congress, 27-30 Mayıs, İstanbul, Türkiye, Poster Sunumu*
18. Şahin GK, Kemaloğlu YK, Gökdoğan Ç, **Yüksel M,** Bayramoğlu İ. (2015) Okul Çağı Çocuklarda Konuşmayı Ayırt Etme Testinde Kullanılmak Üzere Tek Heceli Kelime Listelerinin Geliştirilmesi. *8. Koklear İmplantasyon Otoloji-Nörootoloji Odyoloji Kongresi, 12-15 Kasım, Samsun, Türkiye, Sözlü Bildiri*
19. **Yüksel M,** Gündüz B. (2015) Koklear İmplant Kullanıcılarında Konuşmanın Uzun Dönem Spektral Analizi. *8. Koklear İmplantasyon Otoloji-Nörootoloji Odyoloji Kongresi, 12-15 Kasım, Samsun, Türkiye, Sözlü Bildiri*