



T.C.

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

TIP FAKÜLTESİ

KULAK BURUN BOĞAZ ANABİLİM DALI

KOKLEAR İMPLANT KULLANIM SÜRESİNİN SES AKUSTİK
PARAMETRELERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

DR. ANWAR ALASHQAR

UZMANLIK TEZİ

TEZ DANIŞMANI

PROF. DR. ÖZGÜR SÜRMELİOĞLU

ADANA-2024

TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim boyunca çok değerli desteklerini, bilgi birikimlerini, her türlü tecrübelerini bizlerle paylaşan, bundan sonraki uzmanlık sürecimde tecrübe ve bilgilerine ihtiyaç duyacağım, çok değerli hocalarım Anabilim Dalı Başkanımız Sayın Prof. Dr. Mete Kıroğlu' na, Sayın Prof. Dr. Özgür Tarkan'a, Sayın Prof. Dr. Süleyman Özdemir'e, Sayın Prof. Dr. Özgür Sürmeliolu'na, Sayın Doç. Dr. Muhammed Dağkiran' a, Uzm. Dr. Elvan Onan'a, Uzm. Dr. Çağlar Eker'e şükran ve saygılarımı sunarım.

Tezim konusunda bilgi ve deneyimini benden esirgemeyen, tez hocam sayın Prof. Dr. Özgür Sürmeliolu'na teşekkür ediyorum.

Asistanlığım boyunca, zamanımın çoğunu birlikte geçirdiğim, dostluklarını her zaman hissettiğim, birlikte büyük özveri ile çalıştığımız asistan doktor arkadaşlarıma, ayrıca birlikte çalıştığımız Kulak Burun Boğaz kliniği tüm hemşire, personel ve sekreter arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Çalışmamın yürütülmesinde emeği geçen uzman odyolog arkadaşlarım Funda Akar Atik, Rasim Şahin, Ahmet Atilla ve diğer Halil Avcı İşitme Engelliler Merkezi çalışanlarına yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Sevgili eşim, abim, kız kardeşim ve bana her zaman doğru yolu gösteren, beni bugünlere getiren, sevgisini hiç bir zaman esirgemeyen babam ve annemi teşekkür ediyorum.

Saygılarımla

Dr. Anwar ALASHQAR

ADANA-2023

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	ii
İÇİNDEKİLER	iii
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
GRAFİK LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	xi
KISALTMALAR	xiii
1.GİRİŞ ve AMAÇ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1.Kulak Anatomisi	3
2.1.2. Dış Kulak Anatomisi	3
2.1.2.1.Kulak Kepçesi (Aurikula)	3
2.1.2.2. Dış Kulak Yolu	3
2.1.3. Orta kulak	3
2.1.3.1. Kulak Zarı	4
2.1.3.2. Kemikçikler	4
2.1.3.3. Östaki Tüpü	4
2.1.4. İç Kulak Anatomisi	4
2.1.4.1. Kemik Labirent	5
2.1.4.2. Membranöz Labirent	5
2.2. İşitme Fizyolojisi	9
2.2.1. Dış Kulak Fizyolojisi	9
2.2.2. Orta Kulak Fizyolojisi	10
2.2.3. İç Kulak Fizyolojisi	11
2.3. İşitme Siniri Fizyolojisi	13
2.4. Santral İşitme Yolakları	13
2.4.1. Koklear Çekirdekler ve Akustik Stria	14
2.4.2. Superior Olivar Kompleks ve Olivokoklear Demet	15
2.4.3. Lateral Lemnisküs	15
2.4.4. İnferior Kollikulus	15

2.4.5. Medial Genikulat Cisim	16
2.4.6. İşitme Korteksi	16
2.5. İşitme Kayıpları	17
2.5.1. İşitme Kaybının Tipleri	17
2.5.2. İşitme Kaybının Derecesi; (WHO)	17
2.5.3. İşitme Kaybına Yol Açan Nedenler	17
2.5.4. İşitme Kaybının Tedavisi:	18
2.6. Koklear İmplant:	19
2.6.1. Koklear İmplant Tarihçesi :	19
2.6.2. Koklear İmplantasyonda Hasta ve Cihaz Seçimi	20
2.6.2.1. Medikal Değerlendirme	20
2.6.2.2. Odyolojik Değerlendirme	21
2.6.2.3. Dil Değerlendirmesi	24
2.6.2.4. Psikolojik Değerlendirme	25
2.6.2.5. Radyolojik Değerlendirme	25
2.6.2.6. Operasyon Yaşı	26
2.6.2.7. Kulak Seçimi	26
2.6.2.8. Ekip Çalışması	27
2.6.3. Koklear İmplantın Genel Özellikleri	27
2.6.4. Koklear İmplantasyonda Preoperatif değerlendirme	28
2.6.5. Koklear İmplant Cerrahisi:	29
2.6.5.1. İnsizyonlar ve Flep	29
2.6.5.2. Koklear İmplantasyonda Cerrahi Basamaklar.	31
2.6.5.3. Koklear İmplant Cerrahisinde Komplikasyonlar	32
2.6.6. Koklear İmplantın Ayarlanması ve Rehabilitasyon	32
2.6.6.1. Rehabilitasyon Basamakları	33
2.7. Ses	33
2.7.1. Sesin Fizyolojik Özellikleri	33
2.7.1.1. Frekans (perde)	33
2.7.1.2. Şiddet	34
2.7.1.3. Kalite	34
2.7.1.4. Rezonans	34
2.8. Türkçenin Ünlü Harflerin Akustik Özellikleri	34
2.9. Sesin Klinik İncelemesi	35

2.9.1. Sesin Objektif Akustik Analizi	36
2.9.1.1. Temel frekans (f_0).....	37
2.9.1.2. Frekans Pertürbasyonu Parametreleri	38
2.9.1.2.1. Jitter Grubu:	38
2.9.1.2.2. Shimmer Grubu.....	38
2.9.1.3. HNR (Harmonic to Noise Ratio - Harmonik Gürültü Oranı):	38
2.9.1.4. Formantlar.....	39
Şekil 9. Formatların şematik görünütüsü	39
2.10. Dil Gelişimi ve İşitme Kayıplı Bireylerde Ses Özellikleri	41
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	41
2.1. Araştırmanın Yeri, Zamanı ve Örneklem Seçimi	42
2.3. Bireyler	43
2.4. Verilerin Toplanması ve Değerlendirilmesi.....	43
2.5. İstatistiksel analiz:.....	44
4. BULGULAR.....	45
4.1 Bireylerin Sosyodemografik Özellikleri	45
4.2 Ses Analiz Bulguları	46
5. TARTIŞMA.....	57
6. SONUÇLAR.....	63
7. KAYNAKLAR.....	64

TABLO LİSTESİ

Tablo 1. Gruplara göre yaş ve cinsiyet dağılımları	45
Tablo 2. Gruplarda unilateral ve bilateral hasta oranları.....	46
Tablo 3. Tüm bireylere ait /a/, /u/ ve /i/ fonemlerinin ses akustik analiz verileri	47
Tablo 4. /a/ foneminin gruplara göre F0, jitter, shimmer, HNR değerleri	48
Tablo 5. /u/ foneminin gruplara göre F0, jitter, shimmer, HNR değerleri	50
Tablo 6. /i/ foneminin gruplara göre F0, jitter, shimmer, HNR değerleri.....	51
Tablo 7. Gruplara göre formantlar F1 ve F2 ölçüm değerleri	52
Tablo 8. Bilateral, unilateral ve kontrol grubuna göre F0, jitter, shimmer, HNR değerleri.....	54
Tablo 9. Bilateral, unilateral ve kontrol grubuna göre formantlar F1 ve F2 ölçüm değerleri.....	56

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. Kokleanın anatomisi	8
Şekil 2. Korti organı	8
Şekil 3. Dış, orta ve İç kulak fizyolojisi	12
Şekil 4. İşitme frekanları.....	12
Şekil 5. Santral işitme yolları.....	14
Şekil 6. Koklear implantın şematize edilmesi	28
Şekil 7. Koklear implantın dış ve iç parçaları.....	28
Şekil 8. En çok kullanılan dört farklı insizyonlar	29
Şekil 9. Posterior timpanotomi yaklaşımla elektrot dizisinin yuvarlak pencereye insersiyonu ...	31
Şekil 10. Türkçe'deki ünlüleri yazıda ve Uluslararası Fonetik Alfabe'de kullanılan kodlar	35
Şekil 11. Ses Raporu (Voice Report).....	37
Şekil 12. Formatların şematik görünütüsü.....	39
Şekil 13. Formantların spektrogramda yatay siyah bantlar şeklindeki görüntüsü.....	40
Şekil 14. Çocuklarda Dil Gelişim Evreleri	43

GRAFİK LİSTESİ

Grafik 1. Çalışmaya katılan bireylerin yaşa göre dağılım. 46



ÖZET

Koklear İmplant Kullanım Süresinin Ses Parametreleri Üzerindeki Etkisi

Amaç: Çocuklarda koklear implant kullanım süresi ile artan akustik bilginin sesin akustik parametreleri üzerindeki etkileri ve iyileşme özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Gereç ve yöntem: Çalışmamıza 25'i normal işiten, 50'si prelingual uygulanan koklear implant kullanıcısı olan toplam 75 birey katılmıştır. Koklear implant kullanan hastalar cihaz kullanım sürelerine göre iki gruba ayrıldı. İmplant kullanım süresi 5 yıl olan hastalar grup I, 10 yıl olan hastalar grup II, normal işiten bireyler ise kontrol grubu olarak değerlendirildi. Tüm katılımcılara 3 saniye boyunca ünlü harflerden /a/, /u/ ve /i/ fonemlerini seslendirmeleri istenmiştir. Audacity ve PRAAT programında kayıtları yapılarak akustik analizleri yapılmıştır. Habitual temel frekans (F0), jitter, shimmer, Harmonik/Görültü oranı (HNR) ve Formant Frekansları değerleri kaydedilerek karşılaştırılmıştır.

Bulgular: Gruplar arası değerlendirmede, tüm gruplarda yaş ortalaması farklı bulunmuştur ($p<0,001$). Cinsiyet dağılımlarının ise homojen ve benzer olduğu bulunmuştur ($p=0,360$). Bunun dışında iki grup arasında unilateral ve bilateral koklear implant kullanımı olma durumları istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,001$). Tüm gruplarda /a/, /u/ ve /i/ F0 değerinin gruplar arası karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı saptanmıştır ($p<0,05$). /a/ ve /i/ fonemleri Jitter, Shimmer ve HNR parametreleri istatistiksel olarak benzer bulunmuştur ($p>0,05$). /u/ foneminde Shimmer ve HNR parametreleri istatistiksel olarak anlamlı saptanmıştır ($p<0,05$). Formant analizinde gruplarda /a/ F1, /u/ F1 ve /u/ F2 istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). Onun dışındaki kalan formant analizi ise benzer olarak çıkmıştır ($p>0,05$). Unilateral, bilateral ve kontrol grubu kıyaslandığında, /a/ F0, /i/ F0, /u/ F1 ve /u/ F2 gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı olduğu izlenmiştir ($p<0,05$). Tüm fonemlerde Jitter, Shimmer, HNR parametreleri, /u/ F0, /a/ ve /i/ F1 ve F2 ise istatistiksel olarak benzer olduğu saptanmıştır ($p>0,05$).

Sonuç: Pediyatrik grupta erken yaşta bilateral koklear implant kullanımının ses kalitesini iyileştirdiği ve akustik analizden elde edilen bilginin eğitim ve terapi süreçlerinin yönetilmesine

olumlu katkılar sağlayabileceği sonucuna varılmıştır. Bu konu ile ilgili daha standardize hasta gruplarında yapılacak olan çalışmalara gereksinim duyulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: İşitme kaybı, Koklear İmplant, Sesin akustik analizi, Formantlar



ABSTRACT

The Effect of Cochlear Implant Using Period on Voice Parameters

Purpose: It is aimed to determine the effects and improvement properties of the acoustic information on the acoustic parameters of the voice in children with the use of cochlear implant duration.

Materials and method: A total of 75 individuals, 25 of whom were hearing normally and 50 were prelingual cochlear implants users, participated in our study. Patients using cochlear implants were divided into two groups according to the duration of device usage. Children using implants for 5 years as Group I, children using implants for 10 years as Group II. Individuals with normal hearing were evaluated as the control group. All participants were asked to pronounce the vowels /a/, /u/ and /i/ for 3 seconds. Acoustic analysis were made by recording them in Audacity and PRAAT programs. Habitual fundamental frequency (F0), jitter, shimmer, Harmonic/Noise ratio (HNR) and Formant Frequencies values were recorded and compared.

Results: It was observed that the mean age was different in all groups ($p<0.001$). Gender distributions were found to be homogeneous and similar ($p=0.360$). The use of unilateral & bilateral cochlear implants in the two groups were statistically significant ($p<0.001$). In all groups, /a/, /u/ and /i/ F0 values were found to be statistically significant when compared between groups ($p<0.05$). /a/ and /i/ phonemes Jitter, Shimmer and HNR parameters were found to be statistically similar ($p>0.05$). Shimmer and HNR parameters were found to be statistically significant in the /u/ phoneme ($p<0.05$). Whereas Shimmer and HNR parameters were found to be statistically significant in the /u/ phoneme ($p<0.05$). In the formant analysis, /a/ F1, /u/ F1 and /u/ F2 were found to be statistically significant in the groups ($p<0.05$). The remaining fromant analysis were similar ($p>0.05$). When the unilateral, bilateral & control groups were compared, it was observed that /a/ F0, /i/ F0, /u/ F1 & /u/ F2 were statistically significant between the groups ($p<0.05$). In all phonemes Jitter, Shimmer, HNR, /u/ F0, /a/ and /i/ F1 & F2 were found to be statistically similar ($p>0.05$).

Conclusion: It was concluded that the use of bilateral cochlear implants at an early age in the pediatric group improved the sound quality and the information obtained from acoustic analysis could make positive contributions to the management of education and therapy processes. There is a need for studies on this subject in more standardized patient groups.

Keywords: Hearing loss, Cochlear Implant, Voice acoustic analysis, Formants



KISALTMALAR

KBB : Kulak burun boğaz

Hz : Hertz

dB : Desibel

SPSS : İstatistik paketi veri program

DKY : Dış kulak yolu

TM : Timpanik membran

Kİ : Koklear implant

SSK : Semisirküler kanal

LSS : Lateral semisirkuler kanal

İAK : İnternal akustik kanal

NRT : Nöral cevap telemetrisi (*Neural response telemetry*)

SNİK : Sensörinöral işitme kaybı

BT : Bilgisayarlı tomografi

USG : Ultrasonografi

MRG : Manyetik rezonans görüntüleme

F0 : Ortalama (habitüel) temel frekans

HNR : Harmonik / Gürültü oranı (Harmonic to Noise Ratio)

F1 : Birinci formant

F2 : İkinci formant

1. GİRİŞ ve AMAÇ

Koklear implantlar (Kİ): akustik bilgiyi elektrik uyarana çevirmek için yapılmış; koklear siniri uyaran iç cihaz ve buna bağlantılı olan spesifik konuşma kodlamasını kullanan bir dış cihazdan oluşan işitme cihazıdır. Bu cihazlar bilateral çok ileri derecede sensörinöral işitme kaybı (SNİK) olan veya tek taraflı total SNİK olan ve işitme cihazlarından çok az fayda gören veya hiç fayda görmeyen hastalara uygulanmaktadır ¹. 1973 yılında W. House tarafından ilk kez erişkin bir hastada koklear implant yapılmıştır.

Koklear implantasyon, doğumsal veya sonradan gelişen ileri derecede SNİK rehabilitasyonunda son yıllarda artan bir şekilde uygulanmaktadır. Ses, canlıların işitme organları olan kulak yoluyla algılanan; moleküllerin titreşmesiyle meydana gelen mekanik bir dalgadır ve ortamda yayılarak kulağa ulaşır. Kulağa gelen mekanik ses enerjisi iç kulağa ulaştıktan sonra, elektriksel enerjiye çevrilmektedir. Vestibulokoklear sinir oluşan enerjiyi işitsel yolak üzerinden beyne taşır. Eğer ses işitsel yolakta bir engel ile karşılaşır ya da beyinde işitsel olarak çözümlenemezse işitme kaybı oluşabilmektedir.

İnsan sesi, akciğerden gelen basınçlı havanın vokal kordlara çarpıp titreşmesi ile oluşmaktadır. Vokal kordlar istirahat halinde açıktır, inspirasyon ile akciğerlere dolan basınçlı hava vokal yol boyunca ilerler. Vokal kordlar arasından geçen hava basıncının etkisiyle vokal kordlar mukosal dalgalanma hareketi yapar, vibrasyon tekrarlanır ve ilk ham insan sesi oluşur. Sonrasında rezonans ve artikülasyon organlarında şekillenerek konuşma gerçekleşmektedir. İşitme kaybı doğuştan ya da sonradan gelişebilmektedir. Bilateral orta veya ileri derecede SNİK olarak doğan bebeklerin prevelansı azımsanmayacak kadar yüksektir ve bu bebeklerin 1000'de 4'ünde konuşma bozukluğu mevcuttur ².

Konuşma gelişiminde işitsel girdinin rolü; dil seslerini öğrenmek ve iletişim için çok önemlidir. Normal konuşma ve dil gelişimi, işitme kaybının doğuştan olması ve kayıp derecesinden büyük ölçüde etkilenmektedir. Doğuştan ileri ya da çok ileri derecede işitme kayıplı çocuk, normal işiten yaşlıları ile karşılaştırıldığında dili geliştiremez ya da pek çok farklı dil bileşenlerinde ciddi sıkıntı yaşayabilmektedir.

İşitme kaybı ileri düzeyde olduğunda işitme cihazından yeterli fayda göremeyen çocuklar, koklear implant adayı olabilirler. Ortamdan gelen sesi beyne ileterek seslerin duyulabilir olmasını sağlamasına rağmen; koklear implant yaşı, işitme kaybının süresi gibi nedenlerden oluşan duyuşal eksiklik, dil gelişiminde gecikmeye yol açabilmektedir ³.

Konjenital işitme kaybı olan bazı çocuklar anlaşılır konuşma geliştirse de, zayıf işitsel geri bildirim döngüsü nedeniyle konuşmalarında; artikülasyon, suprasegmental özellikler bozulması gibi sorunların yanı sıra bireyin sesinin de bozulduğu durumlar yaşanabilmektedir ⁴. Sesin akustik analizi yapılarak; sesin kalitesi ve kullanımı ile ilgili klinik bilgi sağlamaktadır ⁵. Son yapılan çalışmalar; normal işiten bireylere göre işitme kaybı olan bireylerde sesin temel frekansının genellikle yüksek olduğunu ortaya koymaktadır ⁶.

Sesin temel frekansı, konuşma sırasında bir kişi tarafından sıklıkla kullanılan perde veya temel frekansdır. İleri derece işitme kaybı olan çocuklarda sesin temel frekansında ve spektral gürültüde artış ve seste daha fazla instabilite olduğu, bunun da vokal kaliteye göre azalmış laringeal kontrol nedeniyle olabileceği gösterilmiştir ⁶.

Çalışmamızın amacı, Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Kulak Burun Boğaz (K.B.B) Anabilim Dalı'nda koklear implant kullanan sensörinöral işitme kayıplı çocuklarda, koklear implant kullanım süresinin, ses ve konuşma akustik parametreleri üzerindeki etkisini araştırmaktır. Koklear implantasyondan sonra bu çocukların ses akustik parametreleri akranları ile karşılaştırılmıştır. Sesin akustik parametreleri arasından en çok kullanılan; Temel Frekans (F0) (Hz), Jitter (local), Shimmer (local) Harmonic noise ratio (HNR) (dB) ve Formant Frekansları değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın sonunda, koklear implant kullanıcısı olan çocukların ses kaliteleri ve ses ile ilgili yaşayabilecekleri sorunlara yönelik bilgi edinilmesiyle bu çocukların eğitim ve terapi programlarına olumlu katkılar sağlanabilecektir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1.Kulak Anatomisi

2.1.1. Temporal Kemik Anatomisi

İşitme ve dengenin periferik algı organlarını içeren kulak, temporal kemik içerisinde yerleşim gösterir. Temporal kemik üstte parietal kemik, arkada oksipital kemik, önde sfenoid kemik ile komşudur.

Temporal kemik 4 ayrı parçadan oluşmaktadır.

1. Skuamöz parça
2. Mastoid parça
3. Timpanik parça
4. Petröz parça

2.1.2. Dış Kulak Anatomisi

Kulak kepçesi (aurikula) ve dış kulak yolundan meydana gelmektedir.

2.1.2.1.Kulak Kepçesi (Aurikula)

Deri ve perikondrium ile çevrili elastik fibrokartilajdan oluşmaktadır.

2.1.2.2. Dış Kulak Yolu

Kavum konkadan, kulak zarına (timpanik membran) kadar uzanır. Posterosüperior boyu 25 mm, anteroinferior boyu ise yaklaşık 30 mm'dir. Lateral 1/3 kısmı kıkırdaktan, medial 2/3 kısmı kemikten oluşmaktadır.

2.1.3. Orta kulak

Orta kulak boşluğu sagittal planda yerleşim göstermektedir ve 6 duvarı bulunmaktadır. Lateralde timpanik membran, medialde promontorium, superiorda tegmen timpani, inferiorda

juguler bulb, anteriorda internal karotis arter ve östaki kanalı, posteriorda aditus ad antrum, mastoid hava hücreleri bulunmaktadır.

2.1.3.1. Kulak Zarı

Orta kulağı, dış kulaktan ayıran şeffaf, çok katlı, oval şekilde bir yapıdır. Vertikal uzunluğu 9-10 mm, yatay uzunluğu 8-9 mm'dir. Kulak zarının alanı ortalama 73 mm^2 dir⁷. Kalınlığı yaklaşık 0.1 mm kadardır⁸. Kulak zarı, timpanik kemiğin anulusunda, yerleşmiş olan fibröz anulusa tutunmaktadır. Kulak zarı; anterior ve posterior malleolar ligamentler ile, üstte pars flaksida, altta pars tensa bölümlerine ayrılmaktadır. Pars tensa translusendir. Pars tensa dış yüzeyde skuamöz, ortada fibröz ve iç yüzde mukozal tabakalardan gelişmektedir. Pars flaksidada fibröz tabaka yoktur, ayrıca fibröz annulus bulunmamaktadır.

2.1.3.2. Kemikçikler

Malleus; baş, boyun, manibrium mallei, anterior ve lateral çıkıntıdan oluşmaktadır.

İnkus; gövde, uzun ve kısa koldan oluşmaktadır. Uzun kol posterior yönde seyrederek stapesin başı ile eklem yapar. Eklem yaptığı kısma lentiküler proçes adı verilmektedir.

Stapes; vücuttaki en küçük kemiktir. Vestibülün lateral duvarındaki oval pencere üzerine oturmaktadır. Stapesin baş, boyun, iki bacağı ve tabanı bulunmaktadır.

2.1.3.3. Östaki Tüpü

Orta kulak ile nasofarinks birbirine bağlayan bir boru şeklindedir. Erişkinde uzunluğu 31-38 mm'dir. Çocuklarda ise daha kısa ve düz seyirlidir. Orta kulaktaki 1/3 posterolateral kısmı kemik, nasofarinkteki 2/3 anterolateral kısmı ise kıkırdaktan oluşur. Ortalama olarak 11 mm'dir⁹. Normalde tüp kapalıyken çiğneme, yutkunma, esneme hareketleriyle açılarak orta kulak basıncını, dış atmosfer basıncı ile dengelenmesini sağlamaktadır.

2.1.4. İç Kulak Anatomisi

İç kulak koklea ve labirentin sistemden oluşur. Labirent, kemik labirent ve membranöz labirent olarak 2'ye ayrılmaktadır.

2.1.4.1. Kemik Labirent

Vestibul, orta kulağın medial duvarı ile İAK (İnternal Akustik Kanal)'ın fundusu arasında yerleşmektedir. Boyu 6 mm, çapı 3 mm civarındır. Vestibülün medial duvarının posterior kısmında küçük bir delik vardır ve burası vestibuler akuaduktusun başlangıcı olarak bilinmektedir. Bu kanal petröz kemiğin posterior yüzüne doğru seyrederek dura altında sonlanır (endolenfatik kese). Vestibul lateral duvarında fenestra ovale (oval pencere) denilen açıklıkla orta kulakla ilişkilidir. Buranın üzeri stapesin tabanı ve anuler ligament ile örtülmüştür ¹⁰. Kemik semisirküler kanallar 3 adet ve birbirleriyle 90°'lik açı yaptığı söylenmektedir. Fakat bazı çalışmalar bu açının 100° olduğunu göstermektedir ¹¹.

Superior (Anterior) SSK: Petröz kemiğin uzun aksına transvers olarak yerleşmektedir.

Posterior SSK: Petröz kemiğin posterioruna paralel bir planda yerleşim göstermektedir.

Lateral (Horizontal) SSK: Superior ve posterior SSK arasında yerleşim gösterir. Attığın medial duvarında, aditus ad antrumda bir çıkıntı şeklinde kendini göstermektedir.

SSK'ların bombeli uçları ampulla, düz uçları ise crus simplex olarak adlandırılmaktadır. Kemik koklea, vestibülün anteriorunda bulunmaktadır. İnternal karotid arterin, dirseğinden yaklaşık 2 mm uzaklıktadır. Erişkin bir insanda, 2,5 dönüşlük bir sarmal yapmaktadır. Bu sarmalın uzunluğunun ortalama 42 mm olduğu bilinmektedir ¹².

Modiolus denilen spongiöz kemikten yapılmış bir eksen etrafında yerleşim gösterir. Tabanına bazis koklea adı verilirken tepesine kupula koklea adı verilmektedir. Koklea içindeki spiral kanal içinde lamina spiralis ossea denilen yarım bir kemik bölme mevcuttur. Kemik labirent içerisinde perilenf denilen sıvılar bulunmaktadır. Membranöz labirent, bu sıvılar içerisinde yerleşim göstermektedir. Bu sıvının ekstraselüler sıvı içeriğine benzer bir şekilde sodyum miktarının yüksek, potasyum miktarının ise düşük olduğu bilinmektedir.

2.1.4.2. Membranöz Labirent

İntrasellüler sıvı içeriğine benzer bir şekilde sodyumu düşük, potasyumu yüksek endolenfatik sıvıyı içermektedir. Vestibulun içinde utrikulus ve sakkulus yerleşmektedir.

Utrikulus üzerinde SSK'lara açılan deliklerle, sakkulusa bağlayan duktus utrikulosakkularis bulunmaktadır. Sakkulus üzerinde utrikulusa bağlayan duktus utrikulosakkularise ait bir delik ile duktus koklearise bağlayan duktus renuense ait bir delik bulunmaktadır.

Membranöz semisirküler duktuslar anterior, posterior ve lateral olmak üzere üçe ayrılır. Membranöz semisirküler duktuslar, endolenfatik duktus aracılığı ile indirekt olarak sakkulus ile bağlantılı olan utrikulusun posterioruna açılmaktadır. Endolenfatik duktus, vestibüler akuaduktusun içinde bulunur ve utrikulus ve sakkulusa açılacak şekilde ikiye ayrılmaktadır. Başlangıç kısmındaki genişlemeye sinus adı verilmektedir. Vestibüler akuaduktusun içine girerken daralır (istmus). Duktusun distal kısmı genişler ve serebellum üzerini örten dura içinde yer alan, endolenfatik kese olarak adlandırılan bir kese şeklini almaktadır ¹⁰. Kokleanın anatomisi Şekil 1'de gösterilmektedir ¹³. Bunlardan skala vestibül oval pencereden başlar ve koklear apekse kadar uzanmaktadır, heliktroma aracılığı ile skala timpani ile de ilişkilidir. Skala timpani, yine helikotrema aracılığıyla skala vestibülle koklear apekte devam eden ve kokleanın bazal kıvrımı civarında yuvarlak pencere membranına kadar uzanan bölmedir. Kesit incelendiğinde perilenf içeren bu iki skala arasında endolenf içeren bölme ise skala media (duktus koklearis) adını almaktadır. Skala media bir fibröz bant yardımı ile kemiksi spiral laminadaki dar bir tutunma kısmından otik kapsülün dışındak geniş tutunma alanına doğru uzanan spiral bir ligamandır. Skala media medial tarafı, kemik kokleayı kaplayan kalınlaşmış bir periost olan osseöz spiral laminaya tutunmaktadır. Skala vestibüli fonksiyonel olarak orta kulak ile oval pencerede, skala timpani ise yuvarlak pencerede iletişim halinde olduğu bilinmektedir. Skala timpani koklear akuaduktus ile subaraknoid mesafe ile bağlantılıdır. Duktus koklearisin dış duvarında birkaç sıra bağ dokusu bulunmaktadır. Vasküler bakımdan çok zengindir ve bu kısma stria vaskülaris denilmektedir. Üzerinde Na-K ATPaz pompası bulunur ve bu endolenfin içeriğinin kontrolünde rol oynamaktadır ¹⁴.

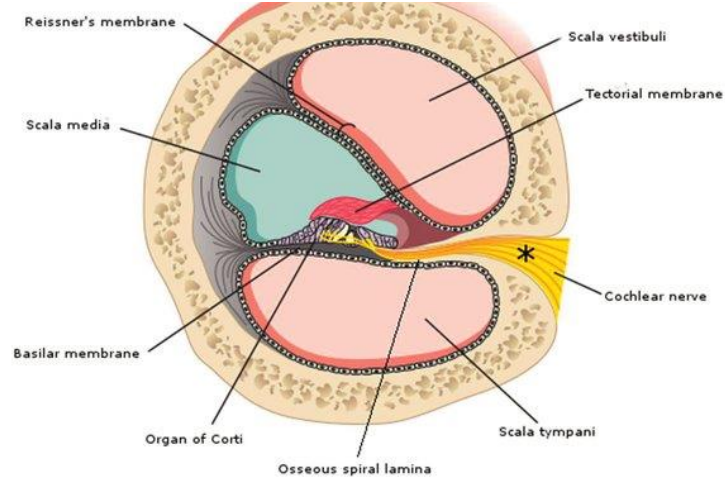
Korti Organı: Baziller membranın iç kenarında dizilmiş nöroepitelyal yapıları içerir. İnsanda koklea içerisinde spiral boyunca boyu yaklaşık 35 mm olduğu bilinmektedir İç ve dış tüylü hücreler olmak üzere iki tip tüylü hücre görülmektedir. Korti organı bünyesinde dış tüylü hücrelerin etrafını saran geniş bir ekstraselüler boşluk (Nuel boşluğu) ve dış tüylü hücre bölgesi ile iç tüylü hücre arasında bulunan tünel şeklindeki bir boşluk (Korti tüneli) bulunmaktadır. Bu boşluklar destek hücrelerinin özelleşmesi ile oluşturulurlar (Şekil 2) ¹⁵.

İç tüylü hücreler; basık ve bülböz yapıdadır. Genelde tek sıra halinde yerleşim gösterir. Korti organının iç kısmı boyunca bir duvar oluşturur. İç tüylü hücrelerin tüycükleri tektorial membran ile temas etmektedir. Dış tüylü hücreler; silindirik yapıda olup nukleusları bazal yerleşim göstermektedir. Üç- dört sıralı hücreler halinde bulunurlar. Tüycükleri “W” şeklindedir ve tektorial membran ile temas etmektedir. Dış tüylü hücrelerin uzunluklarında kokleanın bazalinden apikaline doğru gidildikçe artış olduğu bilinmektedir ¹⁴.

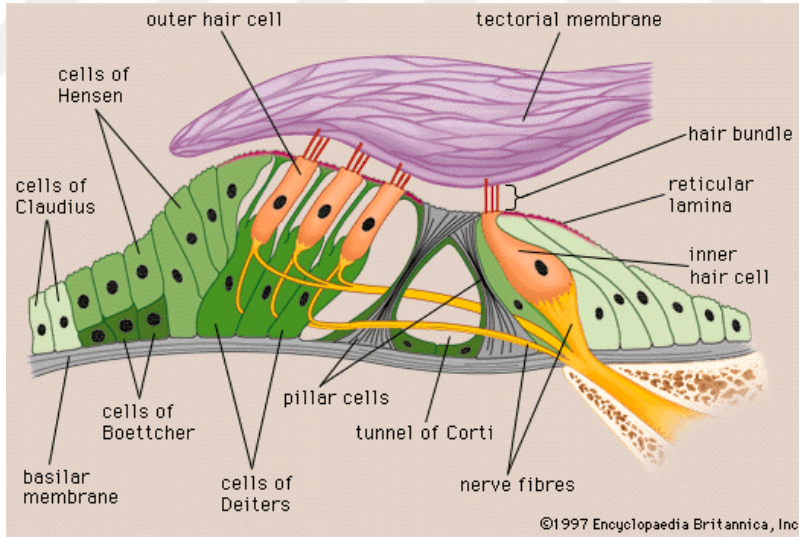
Her iki tüylü hücre farklı innervasyon paternleri göstermektedir. İç tüylü hücreler neredeyse tamamen afferent sinir ile innerve olurlar ve kokleadan beyne giden afferent sinirlerin %90-95'i iç tüylü hücrelerden kaynaklanmaktadır. İç tüylü hücre bölgesine gelen efferent lifler, ipsilateral orta beyindeki lateral superior oliver kompleksten gelmektedir. Dış tüylü hücreler direkt olarak, birkaç tane geniş buton şeklinde sonlanma gösteren efferent lifler ile innerve edilmektedir. Kokleanın efferent innervasyonunun %80'i dış tüylü hücrelerde sonlanır. Bu efferent lifler kontrlateral superior olive'in medial kısmından kaynaklanmaktadır.

Tüylü hücreler birbirinden destek hücreleri aracılığıyla ayrılmaktadır. Dış tüylü hücreler arasındaki diğer hücreleri birbiri ile temas eden hücre gövdelerine sahiptirler ve baziller membran üzerine yerleşmişlerdir. Her biri dış tüylü hücre ve buna bağlı sinir ucunun tabanını fincan şeklinde sararlar. İnce parmak şeklinde çıkıntılar nuel boşluğuna doğru uzanmaktadır. Dış tüylü hücre ile etrafını saran destek hücreleri arasındaki temas yalnızca apikal birleşme kompleksinde bulunmaktadır. Dış ve iç tüylü hücreler birbirinden dış ve iç pillar hücreleri aracılığıyla ayrılırlar. Bu hücrelerin parmaksı uzantıları korti adı verilen tüneli oluşturur. Dış tüylü hücrelerin daha da dışında ise hensen adı verilen hücreler bulunmaktadır. Bunlar özellikle korti organının daha apikal kıvrımlarında izlenir. Baziller membran, korti organının üzerinde bulunduğu yapıdır.

Baziller membran, korti organının üzerinde bulunduğu yapıdır. Tektorial membran, korti organının üzerine uzanan ekstrasellüler matriks materyali tabakasıdır. Koklear sarmalın iç kenarında spiral limbusun interdental hücrelerine yapışık durumdadır. Fakat dış kenarda korti organının yüzeyine yapışık değildir. Dış tüylü hücrelerin en uzun sterosilyası tektorial membranın alt kısmında onun içine gömülü halde bulunmaktadır ¹⁶.



Şekil 1. Kokleanın anatomisi



Şekil 2. Korti organı

2.2. İşitme Fizyolojisi

Ses, bir enerji kaynağından yayılan titreşimlerin etkisi sonucu gaz, sıvı ve katı ortamlarda moleküllerin sıkışıp gevşemesiyle ortaya çıkan enerjidir. Bu sıkışma ve gevşemeler ortamda ses dalgalarını oluşturmaktadır. Moleküllerin bir defa sıkışıp gevşeme hareketi içinde kalan mesafe sesin dalga boyunu ve bir saniyedeki titreşim sayısı o sesin frekansını belirlemektedir. Ses dalgalarının amplitüdü ise o sesin şiddetini oluşturur. Frekans birim olarak cps (cycle per second- saniyedeki titreşim) veya Hertz (Hz) olarak gösterilmektedir. Normal bir insan kulağı 20-20000 Hz arası sesleri duyabilir. Ses şiddetinin birimi desibeldir (dB). Normal insan kulağı 0-120 dB arasındaki şiddetteki sesleri duyabilir. 120 dB'in üzerindeki ses şiddeti kulak için rahatsız edici ve zararlıdır. İşitme, atmosferde meydana gelen ses dalgalarının kulağımız tarafından toplanmasından beyindeki merkezlerde karakter ve anlam olarak algılanmasına kadar olan süreç işitme olarak adlandırılır. İşitme sistemi geniş bir bölgeyi ilgilendirir. Dış, orta, iç kulak ile merkezi işitme yolları ve işitme merkezi bu sistemin parçalarıdır.

İşitme için dört kritik evre bulunmaktadır. İlk olarak orta kulakla ses titreşimleri iç kulak sıvılarına iletilmektedir. İkinci olarak iç kulakta frekansların periferik analizi yapılmaktadır (basiller membran). Üçüncü olarak da mekanik enerji, iç kulaktaki silialı hücreler tarafından elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Sesin alınması ve işitmenin algılanması birkaç fazda gelişmektedir ¹⁷:

1. Atmosferde oluşan ses dalgalarının korti organına kadar iletilmesi ses enerjisi (akustik enerji) ile sağlanan mekanik bir olaydır.
2. Korti organına ulaşan akustik enerji, nöroepitelial hücrelerde elektrik potansiyellerine dönüşür.
3. Sinir lifleri bu elektrik potansiyellerini daha yukarı merkezlere iletirler.
4. Koklear çekirdeklerden, temporal lobdaki işitme merkezine gelen uyarılar birleştirilir ve analiz edilir.

2.2.1. Dış Kulak Fizyolojisi

Ses dalgasının korti organına iletilmesi sürecinde başın ve vücudun engelleyici, kulak kepçesi, dış kulak yolu ve orta kulağın yönlendirici ve şiddetlendirici etkileri vardır. Her iki kulak arasındaki uzaklık interaural mesafe başın engelleyici etkisini belirgin hale getiren önemli bir

faktördür. Ses yakın kulağa göre 0,6 ms'n'lik bir zaman farkı ile diğer kulağa ulaşabilmektedir. Başın ses dalgalarının alınmasına yaptığı diğer bir etki de gölge etkisidir. Tiz seslerin dalga boyu başın genişliğinden küçüktür. Bu yüzden tiz sesler uzak kulağa daha güçlükle ulaşır. Buna karşın pes seslerin dalga boyu başın genişliğinden büyüktür. Bunların yayılma doğrultusunun uzağında kalan kulağa ulaşması sorun oluşturmaz. Bu yüzden tiz seslerin yönü, pes seslere göre daha kolaylıkla saptanabilmektedir.

Kulak kepçesi, başın yönüne göre aşağı yukarı 135 derecelik bir yay içindeki bütün sesleri toplayarak dış kulak yoluna yönlendirir. Konka ise bir megafon görevi yapar ve ses dalgalarını dış kulak yolunda yoğunlaştırır. Bu şekilde ses dalgalarının şiddetini 6 dB artırdığı öne sürülmektedir. Dış kulak yolu ses dalgalarını yönlendirmekle kalmaz aynı zamanda şiddetlendirilir. Ses dalgalarının atmosferdeki yayılmasıyla dış kulak yolundaki yayılması karşılaştırıldığında normal yetişkin bir insanda sesin şiddetinin arttığı ve bu artışın 1000 - 8000 Hz frekansları arasında olduğu saptanmıştır. Normal yetişkin bir insanda bu şiddet artması 3500 - 4000 Hz frekansları çevresinde en yüksek değere erişmektedir. 3500 frekansındaki bir ses dalgası dış kulak yolunda yaklaşık olarak 15–20 dB kuvvetlenmektedir. Ancak bu değerler sabit değildir; çünkü kişiden kişiye kanalın çapı ve biçim değişmektedir. Ayrıca sesin geliş açısı da değişiklik göstermektedir (Şekil 3) ¹⁸.

2.2.2. Orta Kulak Fizyolojisi

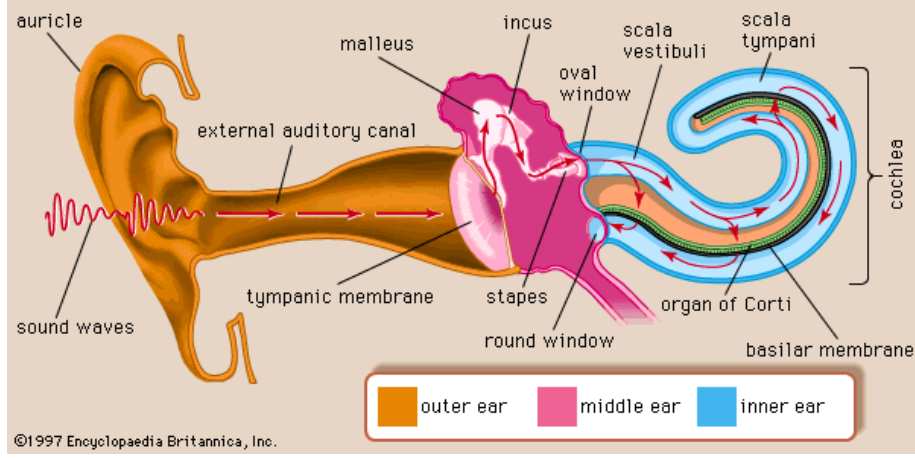
Ses enerjisi, dış kulak yolu vasıtasıyla kulak zarına daha yoğun halde gelir. Ses dalgaları; timpanik membranda titreşime yol açarak membrana yapışık olan manibrium mallei vasıtasıyla malleus başına ve buradan inkus başına iletilir. Hareket bundan sonra, inkudostapedial eklem vasıtasıyla stapes, oval pencereye ve buradan iç kulak sıvılarına iletilir. Ancak, orta kulakta bu iletim sırasında atmosferden (hava ortamdan), perilenfe (sıvı ortama) ses dalgalarının iletimi söz konusu olduğundan akustik rezistansı çok düşük olan atmosferden, akustik rezistansı çok yüksek olan perilenfe geçinceye kadar bir enerji kaybına uğramaktadır. Ses dalgalarının ancak 1/1000'i perilenfe geçebilmektedir. Bu ortam değişikliği sırasında 30 dB işitme kaybı ortaya çıkmaktadır. Ancak; orta kulak ve kemikçikler, kendisine gelen akustik enerjiyi yaklaşık 30 dB kadar yükselterek perilenfe aktarmaktadır. Bu şekilde ortam değişikliği sırasında ortaya çıkan enerji kaybı telafi edilmektedir. Bu telaf mekanizmasını da şu şekilde özetlemek mümkündür: Malleus ve

inkus, ses iletimi sırasında bir manvella gibi hareket ederler ve ses 1:1/3 oranında yükseltirler. Bu artış yaklaşık 2,5 dB' dir.

Orta kulağın asıl yükseltici etkisi, kulak zarıyla stapes arasındaki yüzey farkından doğmaktadır. Aralarındaki oran $55:3,2=17$ 'dir. Yani akustik enerji timpanik membrandan oval pencereye, yüzey farkından dolayı 17 kat yükselerek geçer; bu yaklaşık 25 dB'lik kazancı gösterir. Kemikçiklerin manivella etkisi de hesaba katıldığında, yaklaşık 27,5 dB işitme kazancı oluşmaktadır. Timpanik membran titreştiği zaman ses titreşimleri pencereye iki şekilde ulaşır. Kemikçikler yoluyla oval pencereye ve hava yoluyla yuvarlak pencereye ulaşır. Bu şekilde pencereye ulaşan ses dalgaları arasında iletim hızının farklı olmasından dolayı faz farkı ortaya çıkar. Ses dalgaları farklı fazlarda iletildiği zaman, koklear potansiyellerin optimum seviyede olduğu tespit edilmiştir. Ses titreşimlerinin basiller membrana ulaşabilmesi için, perilenfin hareket etmesi gereklidir. Ancak stapes tabanı, titreşimi iletmek için perilenfe doğru hareket ettiği zaman, perilenfin harekete geçebilmesi için ikinci bir pencereye gerek vardır. Yuvarlak pencere membranı, stapes hareketi sırasında orta kulağa doğru bombeleşerek, perilenfe hareket imkanı sağlar (Şekil 3) ¹⁸.

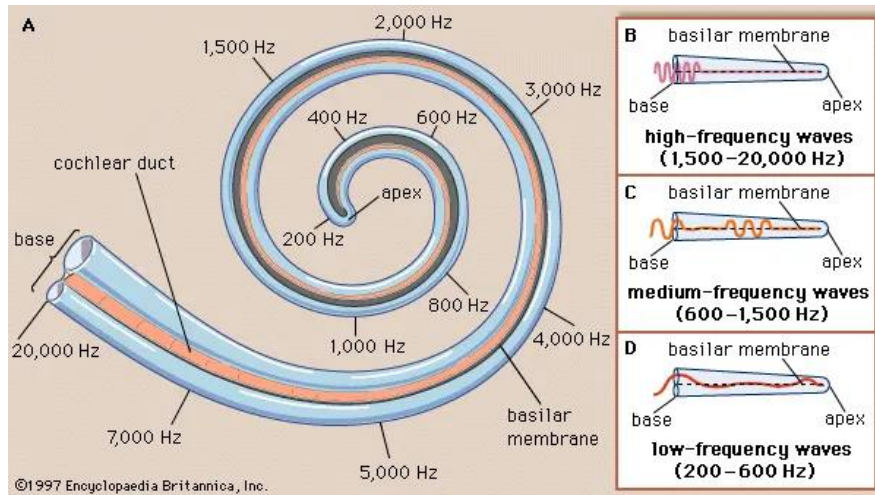
2.2.3. İç Kulak Fizyolojisi

Stapes hareketiyle başlayan ve perilenfle iletilen mekanik dalga, basiller membranı tabandan apekse doğru hareketlendirir. Bu dalganın özelliği, amplitüdün giderek artması ve titreşimlerini belli bir bölgede maksimum amplitüde ulaştıktan sonra birden sönmesidir. Titreşimler enine ve boyuna olmak üzere yayılırlar. İletim dalgası basiller membran üzerinde stimulusun taşıdığı frekansa tekabül eden bölgede maksimum amplitüde ulaşır ve bu bölgeyi hareket ettirerek fibrilleri uyarır (Şekil 3) ¹⁹.



Şekil 3. Dış, orta ve iç kulak fizyolojisi

Kokleadaki baziller membranının tabana yakın yeri ince, kısa ve gergindir. Apekse yakın yer ise kalın, uzun ve gevşektir. Bu nedenle baziller membranının en alt kısmı en yüksek frekanslarda; en üst kısmı ise en alçak frekanslarda uyarılır (Şekil 4)¹³. Baziller membran titreşirken, üstündeki silialı hücreler tektorial membrana çarpıp ayrılırlar ve sonuçta uyarılan koklea kısmında ses dalgalarının mekank enerjisi elektrokimyasal enerjiye dönüşür. Bu enerji de sonra impulsları doğurarak sesin 8. sinir lifleriyle merkeze iletilmesine sebep olur. Ses uyarılarını taşıdıkları frekanslara göre beyindeki değişik yerlerde sonlanırlar.



Şekil 4. İşitme frekansları

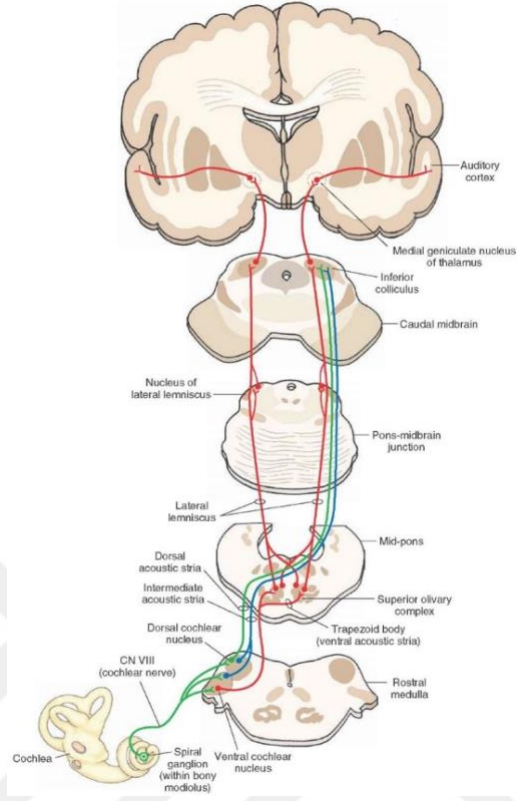
İşitme merkezinde de pes ve tiz seslerini alındığı yerler ayrılaşmıştır. Yani işitme merkezi tıpkı koklea gibi özel bir tonotopisite göstermektedir. Yüksek tonlar işitme merkezinin derinliklerinde ve düşük tonlar ise yüzeylerinde sonlanır. Sesler kortekse geçtiği zaman orada önceki ses deneyimlerine göre tanınırlar. İki kulakla beyin arasındaki bağlantı çift kanallı bir sinir sistemiyle yapılır. Karışık bir yol izleyen sinirler birçok noktada koklear çekirdek, süperior oliva, kollikulus inferior ve medial genikulat cisimden geçerler.

2.3. İşitme Siniri Fizyolojisi

İnsan kokleasındaki korti organında bulunan tüy hücreleri biri iç ve üçü dış tüylü hücre olmak üzere dört sıra halinde dizilmiştir. Bunların toplam sayıları 12.000 kadardır. Tüy hücreleriyle temas halinde olan sinir liflerinin sayısı tüy hücrelerinin iki katı (25-30 bin) kadardır. Bu aksonların hücre gövdesi kokleanın içinde bulunan spiral ganglionlardır. Her spiral ganglion hücresi korti organına kısa reseptör lifleri, beyin sapındaki koklear nukleuslara uzun sinir lifleri gönderir. Yani spiral ganglionlar bipolar hücrelerdir. İşitme siniri liflerinin tüy hücreleri tarafından uyarılmasında ileri sürülen üç teori vardır. Bunlar mekanik, kimyasal ve elektrikseldir.

2.4. Santral İşitme Yolakları

İşitsel bilginin işlenmesi için santral işitme yollarında yedi farklı önemli nokta bulunmaktadır. Bunlar; medulla oblongata, koklear nukleus, superior olivar kompleks, mezensefalonda lateral lemnisküs, inferior kollikulus ve superior kollikulus, talamusta medial genikulat cisim ve son olarak da bilginin işlendiği işitme korteksidir (Şekil 5)²⁰.



Şekil 5. Santral işitme yolları

2.4.1. Koklear Çekirdekler ve Akustik Stria

Koklear çekirdekler bütün işitme sinirlerinin zorunlu uğrak noktasıdır. Çekirdekler pontomedüller kavşakta bulunup simetrik yerleşimlidirler. Koklear nukleuslar iki büyük alt gruba ayrılır. Her alt grup farklı hücre grupları içerir ve işitme sinirinden topografik olarak değişik sinir lifleri alır. Bu hücrelerin her biri, farklı frekansları temsil eden sinir liflerini alırlar ve farklı fizyolojik karakteristikleri vardır. Kokleanın bazal bölgesinden gelen lifler çoğunlukla dorsal çekirdeklerde apekten gelenler ise ventral çekirdeklerde sonlanır. Her hücrenin en hassas olduğu tek frekans mevcuttur. Bu durum frekans kodlamanın yer teorisiyle uyumlu olduğunu göstermektedir. Hücrelerden çıkan aksonlar; ventral akustik stria, intermediate akustik stria ve dorsal akustik stria olmak üzere üç demet oluştururlar.

2.4.2. Superior Olivar Kompleks ve Olivokoklear Demet

Superior olivar kompleks, ponsun gri cevherinin arka alt kısmında yerleşmiştir. Birkaç adet çekirdekten oluştuğu için kompleks adını almıştır. Superior olivanın medial çekirdeği, superior olivanın lateral çekirdeği, trapezoid cismin medial çekirdeği ve periolivar çekirdek superior olivar kompleksi oluşturan yapılardır. Superior olivar kompleks, her iki koklear çekirdekten lifler alması sayesinde her iki kulağa seslerin geliş zamanını ve seviyelerini monitorize ederek sesi yer tespiti için sıralar. Akustik algı, daha yüksek ses veya daha erken gelen ses tarafına yerleşiktir. Bir bütün olarak superior olivar kompleks, binaural sürecin yer aldığı işitme sisteminde en düşük seviyeyi temsil eder. Trapezoid cisim üzerindeki işitsel uzanımın tüm seviyelerinde binaural seviye ve zaman farklılıklarına duyarlı üniteler vardır. Periolivar çekirdek birkaç parçadan oluşur ve diğer çekirdeklerin çevresini sarar.

Superior olivar kompleks, lateral lemnisküs ve inferior kollikulusa çıkan lifler gönderir. Bu liflerin yolağı lateral lemnisküs aracılığıyla gerçekleşir. Superior olivar kompleks'in inen lifleri ise korti organının titreşim tüylü hücrelerine gider. Olivokoklear demet, miyelinli liflerden oluşan iç ve miyelinsiz liflerden oluşan dış olmak üzere iki demetten meydana gelmiştir.

2.4.3. Lateral Lemnisküs

Lateral Lemnisküs en önemli çıkan yoldur. Beyin sapının lateralinde bulunur. Koklear çekirdekleri ve superior olivar kompleksi, inferior kollikulusa bağlar. Lateral lemniskusta üç çeşit hücrenin oluşturduğu ventral, intermediate ve dorsal olmak üzere üç çekirdek bulunur. Kokleden gelen pes (alçak) frekanslar lateral lemniskusun dorsal çekirdeğine, tiz (yüksek) frekanslar ise ventral çekirdeğine giderler. Binaural interaksiyon dorsal komponent boyunca aktarılırken temporal ve spektral frekans bilgisi ventral kısım yoluyla aktarılır. Lateral lemniskusun efferent projeksiyonu ise inferior kollikulusun santral kısmındadır.

2.4.4. Inferior Kollikulus

İki taraflıdır ve mezensefalonda bulunur. Beyin sapının tavanının bir kısmını oluşturur. Çıkan işitme lifleri için belli başlı konağı oluşturur ve akustik bilgileri hazırlar. Superior olivar kompleksin yer tespit yeteneği dorsal koklear nükleusun frekans analiz özelliğini birleştirir. Alt beyin sapından gelenleri üst kısımdaki medial genikülata cisme ve işitme korteksine gönderir.

İnferior kollikulus belli başlı üç hücre grubundan oluşmakta olup bunlar santral nukleus, eksternal nukleus ve dorsal kortektir. Bunlar içinde, düşük frekansın yüksek frekansı düzenli bir tonotropik organizasyon gösteren santral nukleus en belirgin olanıdır ve kendi içinde dorsomedial ve ventrolateral olmak üzere iki kısma bölünür. İnferior kollikulusun başlıca projeksiyonunu, medial genikulat cisimciğe doğru uzanır. Diğer projeksiyonu ise zayıf liflerden oluşur ve superior kollikulusun derin kısımlarına ulaşır, ayrıca posterior talamik grupta da bağlantısı vardır. Superior kollikulusta uzaydaki sesin pozisyon bilgisi görme alanı ile entegre edilir.

2.4.5. Medial Genikulat Cisim

Medial genikulat cisim talamusta bulunur ve lateral genikulat cismin iç tarafına yerleşmiştir. Burası inferior kollikulus ile işitme korteksi arasında, çıkan liflerin konak yaptığı bir ara istasyondur. Medial genikulat cisim; orta ebatta, sıkı dizilmiş hücrelerden oluşan dorsolateral (esas) kısım ve daha gevşek yerleşimli büyük hücrelerden oluşan medial kısım olmak üzere iki bölümden oluşur. Esas kısım, dorsal ve ventral olmak üzere ayrıca iki alt parçaya ayrılır. Bu üç parça da inferior kollikulustan çıkan lifler, işitme korteksinden ise inen lifler alır. Medial genikulat cisim işitsel korteks yanında görsel ve dokunsal duylardan da girdi alır.

2.4.6. İşitme Korteksi

İşitme korteksi, primer işitme korteksi ve asosiye sahalar olmak üzere iki kısma ayrılır. Brodmann'ın 41 ve 42 numaralı sahalarını kapsayan primer işitme korteksi (işitsel korteksin birincil akustik bölgesi-AI), anterior transvers temporal girusu (Heschl girusu) oluşturur ve lateral sulkus içinde uzanır. Spesifik ve nonspesifik asosiye sahalar ile çevrelenen bu alan, bir miktar superior temporal girusa da taşar. Hem akustik, hem de diğer duysal girdileri alan ikincil akustik bölge (AII) ise superior temporal girusta, AI'in altında uzanır. Burası Brodmann'ın 22 ve 52 numaralı sahalarına denk gelir. Asosiasyon sahaları primer korteksi; konuşma, kelime hazneleri ve görmeyle ilgili olan frontal ve temporoparietal bölgeye bağlar.

2.5. İşitme Kayıpları

2.5.1. İşitme Kaybının Tipleri

1. İletim tipi işitme kaybı: Dış kulak ve/veya orta kulaktaki patolojik durumlardan kaynaklanır. Enfeksiyöz sebepler, yabancı cisim, buşon, kulak zarının veya kemikçik sistemin sağlam olmaması bu tip işitme kaybına neden olur.

2. Sensörinöral tipi işitme kaybı: İç kulağın patolojisinden kaynaklanır. Konjenital iç kulak anomalileri, ani işitme kayıpları, yaşlılığa bağlı işitme kaybı (presbiakuzi), gürültüye bağlı işitme kaybı (akustik travma), ilaca bağlı işitme kayıpları (ototoksisite), iç kulağı etkileyen enfeksiyöz sebepler (menenjit, labirentit, kabakulak, kızamık vb), vestibular schwannom (akustik nörinom) bu tip işitme kaybına neden olur.

3. Mikst tip işitme kaybı: Genellikle orta kulak enfeksiyonları veya iç kulağın etkilenmesi sonucunda ortaya çıkan otosklerozun olması.

4. Santral işitme kaybı: İşitme siniri, beyin ve beyin sapındaki merkezlerin fonksiyon bozukluğundan kaynaklanmaktadır ²¹.

2.5.2. İşitme Kaybının Derecesi; (WHO)

Şiddetine göre işitme kayıpları ;

0-25 dB'e kadar : normal

26-40dB'e kadar : çok hafif derecede işitme kaybı

41-60 dB'e kadar : orta derecede işitme kaybı

61-80 dB'e kadar : ileri derecede işitme kaybı

81 dB ve daha fazla olan kayıplar : total işitme kaybı olarak tanımlanmaktadır ²².

2.5.3. İşitme Kaybına Yol Açan Nedenler

Konjenital işitme kayıpları:

- Ailesel-Genetik
- Gebelik ve doğumla ilgisi olanlar
- Enfeksiyonlar: Rubella,, sitomegalovirus, sfiliz, herpes, toksoplazma
- Teratojenik ajanlar

- Hipoksi
- Travma
- Prematürite
- Sarılık

Kazanılmış İşitme Kayıpları:

- Kafa travması
- Menenjit
- Ototoksik ilaçlar: Aminoglikozid grubu vb.
- Otitis media Labirentit: Viral, kabakulak , influenza, kızamık, bakteriyel menenjit
- Cerrahi girişimler
- Metabolik bozukluklar
- Endolenfatik hidrops
- Perilenfatik fistüller
- Otoimmün işitme kayıpları²³.

2.5.4. İşitme Kaybının Tedavisi:

Tedavi; işitme kaybına neden olan patoloji, işitme kaybının derecesi, tipi ve başlangıcı, hastanın yaşı, mesleği ve motivasyonu gibi faktörler göz önüne alınarak planlanmalıdır. Özellikle çocuklardaki işitme kaybının başarılı bir şekilde tedavi edilebilmesi, işitme kaybının mümkün olduğunca erken fark edilebilmesine bağlıdır. Amaç çocukta duyarak ve konuşarak (oral-aural) iletişimi sağlamak, iyi bir konuşma düzeyi oluşturmak ve eğitim boyunca bu yeteneği geliştirmek ve sonuçta topluma uyumu sağlamaktır. Bazı işitme kayıplarında (effüzyonlu otitis media, otitis media sekelleri, otoskleroz gibi) medikal veya cerrahi tedavi ile işitme kaybı tedavi edilebilmektedir. İşitme kayıplarının sınıflandırılması üstteki örnekler verilmiştir. Bu şekilde düzeltilemeyen işitme kayıplarında kulağa gelen sesi mikrofona aracılığıyla yükselterek duymaya yardımcı olan işitme cihazları kullanılır. İşitme cihazları genellikle hafif, orta ve ileri derecedeki işitme kayıplarında faydalı olur. İşitme cihazından fayda göremeyecek çok ileri derecedeki sensörinöral işitme kayıplarında ise iç kulağa ameliyatla koklear implantasyon uygulanması

gerekmektedir. Gelecekteki umut ise işitme kaybına neden olan genlerin tanınması ve gen tedavisidir.

2.6. Koklear İmplant:

Koklear implant (Kİ), ileri veya çok ileri SNİK olan hastalara işitmeyi geri kazandırmak için şu anda mevcut olan tek tıbbi tedavi yöntemidir. Kİ, işitme cihazı kullanımından temel olarak farklıdır. Bunun sebebi, implant cerrahi olarak kulağın arkasındaki cilt altına subperiost'a yerleştirilir ve burada normal sesin hava yoluyla iletim mekanizmasını bypass etmiş olur. Ses sinyallerini elektriksel stimülasyona dönüştürür ve rezidüel işitme sinirleri doğrudan uyarır. Son yıllarda Kİ, modern tıptaki en önemli gelişmelerden biri haline geldi ve 320.000'den fazla ileri / çok ileri SNİK hastalara işitmeyi sağladı. İşitme kaybı, başlangıç süreye göre prelingual ile postlingual olarak sınıflandırılır ve koklear implant endikasyonları biraz farklılık gösterir. Tıbbi öykü, objektif ve subjektif odyometrik değerlendirme ölçümleri, görüntüleme yöntemleri ve genetik tarama dahil olmak üzere tıbbi değerlendirmeler ameliyattan önce yapılması gerekir ²⁴.

2.6.1. Koklear İmplant Tarihçesi :

İşitme sisteminin elektriksel stimülasyon ile ilgili ilk açıklama Alessandro Volta tarafından yapılmıştır. Kendi kulaklarına iki metal çubuk yerleştirmiştir ve bir pilin her bir ucuna metal çubuklara bağlamıştır. Onun "hışırtı ve kaynama" hissi deneyimi, elektrik stimülasyonunun işitsel duyusu indükleyebileceğinin ilk kanıtı olmuştur ²⁵. 1957'de André Djourno ve Charles Eyriès, insan işitme sinirini doğrudan elektrikle uyaran ilk deneyi yapmıştır ²⁶.

Total SNİK olan ve ameliyat edilen iki hasta net bir işitsel algı bildirmiştir. 1961 yılında Dr. William House ve John Doyle, SNİK olan iki hastanın skala timpani'ye altın izoleli elektrotlar yerleştirmişlerdir ²⁷. Bu hastalar, pitch'teki değişiklikleri bir elektrik uyarıdan algılayabildiklerini bildirmişler.

1964'te Stanford Üniversitesi'nden Blair Simmons ve arkadaşları bir hastada vestibüle ve direkt olarak kokleanın modiolusuna bir elektrot yerleştirmişler²⁸. Hasta süre ve ses tondaki değişiklikleri saptayabilmiştir. İmplant teknolojisi, 1970'lerden 1990'lara kadar belirgin bir şekilde ilerlemiştir. 1972'den 1980'lerin ortalarına kadar implantasyon ameliyatlarının sayısı 1000'in

üzerine çıkmıştır. İlk tek kanallı Kİ 1972'de implante edilmiş ve 1980'lerin ortalarında kullanılan erken dönem tek kanallı bir cihaz konuşma algısını önemli ölçüde arttırmıştır ²⁹.

Bununla birlikte, sonraki cihaz, fonksiyonel bir kokleada iç tüylü hücrelerin akustik uyarımı ile üretilen normal nöral aktivite seviyesine ulaşamamıştır. 1975'te Bilger ve arkadaşları Pittsburgh Üniversitesi'nde Ulusal Sağlık Enstitüleri tarafından dünyanın ilk tek elektrotlu Kİ alıcıları grubundaki konuşma performansını değerlendirmek amaçlı görevlendirilmiştir ³⁰.

Araştırma raporu, tek elektrotlu Kİ'in ortak çevresel sesi tanımlama için yararlı bilgiler sağlayabildiğini göstermesine rağmen, açık konuşma tanıma sağlayamamıştır. 1984'te 3M/House tek elektrotlu Kİ, FDA dünya sağlık örgütü tarafından ticari kullanım için onaylanmıştır. İlk çok kanallı Kİ sistemi aynı yıl Cochlear şirketi tarafından geliştirilmiştir. Büyük klinik deneylerin, tek elektrotlu cihaz ile karşılaştırıldığında, çok elektrotlu cihazın üstün ses algısı sağladığı sonucuna varılmıştır³¹. Çok elektrotlu cihazın piyasaya sürülmesi, tek elektrotlu cihazın ticari olarak terk edilmesine neden olmuştur. O tarihten itibaren, birçok araştırmacı Kİ sisteminde kullanılan tasarım ve konuşma işleme stratejilerini geliştirmeye çalışmıştır. 1990'larda konuşmada önemli gelişmeler işleme teknolojisi, Kİ'li, hastaların yaşam kalitesini önemli ölçüde iyileştirdiğini kabul edilen tıpta majör gelişmelerden kullanım için bir dayanak kazanmasına izin vermiştir.

2.6.2. Koklear İmplantasyonda Hasta ve Cihaz Seçimi

Hastalar koklear implant için seçilirken; medikal, odyolojik, dil gelişimi, psikolojik ve radyolojik olarak değerlendirilmektedir.

2.6.2.1. Medikal Değerlendirme

Medikal değerlendirme, hastanın detaylı anamnezin alınması ve takip eden fizik muayene ile başlar.

Anamnez: Otolojik anamnez işitme kaybının kaç yaşından beri var olduğunu, işitme kaybının ilerleyişini, bilateral olup olmadığını, işitme kaybı için risk faktörlerini (yüksek sese maruziyet, ototoksisite, travma) gibi SNİK yapabilecek patolojik durumlar yönünden de sorgulanmalıdır. İşitme kaybının başlangıç yaşı, duyma kaybının ciddilik derecesi ve ilerleyiş oranını içeren detaylı

bir soygeçmiş önemlidir. Retrokoklear ve santral patolojiler ise koklear implantasyona kontraendikasyon oluşturur.

Fizik Muayene: Timpanik membranın rutin otoskopik muayenesi yapılır. İmplant öncesi kulak stabil durumda olmalıdır. Timpanik membran intakt olmalı, DKY ve orta kulakta herhangi bir enfeksiyon olmamalıdır. Enfeksiyon elektrot boyunca iç kulağa ilerleyerek menenjit veya santral işitsel sisteminin daha ileri dejenerasyonuna neden olabileceği gibi implantın çıkartılması gereken enfekte bir yabancı cisim haline getirebileceği de düşünülmelidir.

2.6.2.2. Odyolojik Değerlendirme

Hastaların odyolojik kriterlere göre seçiminde üç önemli soru cevaplanmalıdır:

1. Koklear implantla işitme sistemine, işitme cihazından daha fazla bilgi sağlanabilir mi?
2. Hasta bu uyaran ile sesleri ayırt etmeyi ve anlamayı öğrenebilecek mi?
3. Koklear implant alternatif bir iletişim yöntemi kullanmadan, sadece işiterek yeterli iletişim ve eğitimi sağlayabilecek mi?

Bu soruların cevaplanması zordur. Seçim için kesin bir kriter değildir fakat önemlidir. Bu soruların cevaplanması için sırasıyla yapılması gerekenler ^{32,33}:

1. İşitme cihazı olmaksızın işitme eşiğinin belirlenmesi (Tonal odiyometri)
2. İşitme cihazı ile işitme eşiğinin belirlenmesi
3. İşitme cihazı ile konuşma testlerinin yapılması
4. İmpedansmetrik değerlendirme
5. Otoakustik emisyon (özellikle 5 yaşın altındaki hastalarda)
6. İşitsel beyin sapı yanıtlarının (ABR) değerlendirilmesi (özellikle 5 yaşın altındaki hastalarda)
7. Özellikle çocuklarda 6 ay süreyle işitme cihazı veya taktil cihaz ile deneyim kazandırılması

8. Promontorium stimölasyon testi (özellikle 10 yaşın üzerindeki hastalarda)

Preoperatif promontorium stimölasyon testi uygulanmaya devam edilen bir yöntem olmasına karşın implantın uygulanmasının nasıl sonuçlanacağı hakkında bilgi vermemektedir. Ancak işitme sinirinin fonksiyonu hakkında şüpheli durumlarda gerekli olan bir testtir. Kokleanın kapalı görüldüğü, dar iç kulak kanalı, travmaya bağılı işitme kaybı ve pontoserebellar köşeden tümör çıkarılarak sinirin korunduğı düşünölen durumlarda elektrik uyarım testi gereklidir.

Çocuklarda işitme kaybının erken tanınması, rehabilitasyonun başarısı için önemli olduğından çocuklara yönelik odyolojik çalışmalar üzerinde durulan önemli bir konudur. Yaş küçüldükçe, işitmenin değeriendirilmesi daha zor olmaktadır. Türkiye’de her yenidoğan bebeğı işitme taraması yapılmaktadır. Tarama kapsamında doğan her bebeğı, doğumu takiben ilk 72 saat içerisinde ilk işitme taramasının yapılması esastır. Yenidoğan bebeklerin ilk 1 ayda tarama testlerinin tekrarlarla birlikte tümünün, ilk 3 ay içinde tanı testlerinin tamamlanması ve 6. aya kadar da tanı sonrası cihazlama ve rehabilitasyona başlanması gerekmektedir.

Bir yaşın üzerindeki çocuklar, anne-babalarını ve organlarını tanır, iki kelimelik konuşmalar yapabilirler. Bu yeteneklerin olmayışı, işitme kaybı açısından araştırılmayı gerektirir. Çocuk seslere bakarak veya gözlerini çevirerek yanıt verir. Çocuğun işitmesi bu dönemde konuşma seslerine verdiğı yanıtla da değeriendirilmektedir. Çocuğun ses duyduğunda oynadığı oyunu, konuşmayı ya da anlamayı durdurması önemlidir. Oyun odyometrisi 3 yaşından itibaren yapılır. Çocuğun iki tarafına koyulan hoparlörler aracılığıyla ses verilir. Çocuk seslere yanıt olarak değışik oyuncakları kullanmaya şartlandırılır. Buna göre hangi seviyede sese yanıt verdiğı işitme eşiğı hakkında bilgi verir. Beş yaşından itibaren çocuklarda konvansiyonel odyometri kullanılabilir.

Objektif odyometri testleri olarak stapes refleksi, otoakustik emisyon ve ABR kullanılır. ABR infantlarda yetişkinlerdekinden farklıdır. 'V' dalga olgunlaşmamış olup latansı uzundur, 6. haftada ve 6-12. aylar arasında iki kez kısalma izlenir.

Koklear İmplantasyon Kriterleri:

Koklear implant adayları için SUT (Sağık Uygulama Tebiliğı) yönetmeliğine göre aranan şartlar; Resmi Gazetenin (Değışik:RG-16/3/2023-32134 Mükerrer) ³⁴,

Bilateral ileri-çok ileri derecede sensörinöral işitme kaybı olan ve işitme cihazından yarar görmeyen kişilerde aşağıdaki kriterlere haiz olması halinde uygulanır;

(1) En az 3 (üç) aylık süre ile binaural işitme cihazı kullanımından fayda görmediği kişilerde yapılır.

(2) Aşağıdaki kriterlerden en az birisine haiz olduğu sağlık kurulu raporu ile belgelenen kişilerde yapılır.

a) Alıcı ve/veya ifade edici dil yaşı ile kronolojik yaş arasında 4 (dört) yıldan daha az fark olması veya alıcı ve/veya ifade edici dili 4 (dört) yaş ve üstü olması (4-18 yaş, kronolojik yaşa bakılmaksızın),

b) Post-lingual işitme kaybı olması.

(3) Kİ kurulu raporu, aynı sağlık hizmeti sunucusunda çalışan 3 (üç) KBB hastalıkları uzman hekimi tarafından düzenlenir. Rapor ekinde aynı sağlık hizmeti sunucusunda görevli 1 (bir) odyolog tarafından yapılan odyolojik değerlendirme sonuç belgesi ve 1 (bir) psikolog veya 1 (bir) dil konuşma terapisti tarafından yapılan değerlendirme sonuç belgesi bulunmalıdır.

(4) Elektrot yerleşimini sağlayacak kadar iç kulak gelişiminin olduğu ve koklear sinirin varlığı yüksek çözünürlükte BT ve/veya MR görüntüleme raporu ile gösterilmelidir.

(5) Menenjit sonrası oluşan işitme kayıplarında, koklear implantasyon kriterlerine uygun olması şartıyla, 3 (üç) aylık süre ile binaural işitme cihazı kullanımından fayda görmeme kuralı aranmaksızın, acil operasyon Kİ kurul raporu ile belgelendirilmesi halinde yapılır.

(6) İşitsel nöropati tanısı alan olgularda; en az 6 (altı) ay süreyle işitme rehabilitasyonu ve eğitiminden fayda görmediğinin odyolojik değerlendirme ve Kİ kurulu raporu ile belgelendirilmesi halinde yapılır.

(7) Eş zamanlı veya ardışık bilateral koklear implant uygulaması kriterleri Kİ kurulu raporunda belirtilmesi kaydıyla aşağıdaki gibidir.

a) Koklear implantasyon kriterlerini karşılayan 12-48 ay arası çocuklar

b) Yaş sınırı aranmaksızın postlingual dönemde gelişen menenjit sonrası odyolojik kriterlere haizleri ileri derecede sensörinöral işitme kayıpları

c) 48 ayın üzerindeki hastalarda (48 aylık olanlar hariç) ileri derecede sensörinöral işitme kaybına eşlik eden bilateral körlük

Odyolojik Kriterler :

Odyolojik değerlendirme; odyometrik inceleme, timpanometri, stapes refleks eşiği testi, klinik otoakustik emisyon testi, ABR testleri ile yapılır. Koklear implantın uygulanmasında aşağıdaki odyolojik kriterler dikkate alınır.

- a) İki yaş üstü çocuklarda ve erişkinlerde bilateral 500, 1000, 2000 ve 4000 Hz’lerdeki işitme eşikleri ortalamasının 80 dB’den daha kötü olması veya bir kulakta 70 dB ve daha kötü, karşı kulakta 90 dB ve daha kötü, konuşmayı ayırt etme testi yapılabilen hastalarda konuşmayı ayırt etme skorunun %30’un altında olması gereklidir.
- b) İki yaş ve altı çocuklarda, bilateral 90 dB HL’den daha fazla sensörinöral işitme kaybının olması gereklidir.

2.6.2.3. Dil Değerlendirmesi

Hem implant başarısının tahmini, hem de seçilecek rehabilitasyon yöntemi ve seviyesinin tespiti için bu hastalarda konuşma seviyesinin belirlenmesi gereklidir. İstekli çocuklarda Kİ, çocuğun işitsel geri bildirim (auditory feedback) mekanizmasını geliştirip, konuşmasının anlaşılabilirliğini arttıracaktır. Dil gelişim testleri de alıcı dil ve ifade edici dil olmak üzere iki boyutta incelemeye yönelik olarak oluşturulmuştur. Bunlar kendi içinde farklı gelişim alanları içerir ³⁵.

Dil gelişim testi ve içerdiği gelişim alanlarına bakıldığında ifade edici iletişim becerisinde; vokal gelişim, nicelik, nitelik, uzaysal, zaman sıralama, morfoloji, sosyal gelişim, kelime hazinesi, söz dizimi, nitelik, söz dizimi, bütünleyici düşünme becerileri yer alır. Alıcı dilde; dikkat, kelime hazinesi, nicelik, bütünleyici düşünme becerileri yer alır. Çocuğun kronolojik yaşı dil-konuşma

yaşına eşitse ve normal bir formal dil gelişimi yansıtıyorsa implantasyondan oldukça fayda görecektir bir aday olduğu düşünülebilir. Eğer kronolojik yaş ve dil-konuşma yaşı arasındaki fark 1-3 yıl arasında ise, formal dil sisteminde sorun vardır; ancak bu gelişim için iyi bir ipucudur. Böyle olgular, implantasyon sonrası alacakları rehabilitasyonla dil gelişimindeki açığı kısa sürede kapatırlar. Ancak kronolojik yaş ve dil-konuşma yaşı arasındaki fark 3 yıl veya daha fazla ise ve formal dil sistemi oluşmamışsa implantasyon kararı almak risklidir. Bunun nedeni kronolojik yaş ve dil-konuşma yaşı arasındaki farkın artmasıyla çocuğun implant aracılığıyla algıladığı konuşma seslerini yorumlama şansının azalmasıdır. Bu çocuklar, ortamdaki sesleri fark etme veya konuşma seslerinin yapılarını algılama becerisi kazanabilir, ancak daha üst seviyede işitsel algı ve formal dili kullanma becerisi kazanamazlar ³⁶.

Koklear implant için zeka mutlaka değerlendirilmesi gereken bir gelişim alanıdır. Genel ve sosyal zeka seçim kriterleri için önemli olup dil tek başına bir anlam ifade etmemektedir.

2.6.2.4. Psikolojik Değerlendirme

Koklear implant adayının ve ailesinin bu işlem için psikolojik anlamda değerlendirilmesi ve hazırlanması gereklidir. İmplant adayının psikolojik olarak stabil olması ve operasyona gönüllü olması gereklidir. Adayın ve ailesinin Kİ'den beklentilerinin gerçekçi bir şekilde ortaya konulması gerekmektedir ³⁷.

2.6.2.5. Radyolojik Değerlendirme

Esas inceleme yöntemi BT ve MRG'dir ³⁷.

Preoperatif kontrastsız yüksek çözünürlüklü temporal kemik BT tüm Kİ adaylarına yapılmalıdır. İntakt internal akustik kanalın, kokleanın normalliğinin ya da kokleayı etkileyen primer veya sekonder kemik hastalıklarının, geniş vestibüler akuaduktusun tespiti tamamlanması gereken önemli bir veri grubudur. Preoperatif BT tarama esnasında konjenital veya edinsel internal akustik kanal darlığı veya yokluğu tespit edildiğinde koklear implant aferent innervasyon yetersiz olacağından kontraendike olacaktır ³⁸.

Geniş vestibüler akuaduktus saptanması durumunda MRG yapılması endikasyonu gelişir. Bu anomalide serebrospinal sıvı ile koklea arasında anormal iletişim etki etmektedir. Klinik olarak

genellikle perilenf gusher ile ilişkilidir. Hipoplazik koklea'nın boyları kısa olup, kokleanın apikal bölgesindeki inkomplet partiyon ile ortak kavite arasında yer alan bir anomalidir. Fasiyal sinirin ve yuvarlak pencerenin seyri ve pozisyonu gibi anormalilerde koklear anormaliler ile beraber görülebilir. Koklear sinirin ve internal akustik kanal yokluğu dışında koklear implant takılması uygun görülmektedir.

MRG, iç kulak sıvıları ve internal akustik kanaldaki sinirlerle ilgili çok ayrıntılı bilgiler vermektedir. Fakat kemik yapılar açısından yeterli değildir. Menenjit sonrasında S.pneumoniae ile labirentitis ossifikans gelişebilir. İç kulak ile ilgili doğumsal malformasyonlar, otosklerozda otik kapsülde opasitede azalmanın gösterilmesi, travma sonrası kokleada ve internal akustik kanalda fraktür göstermektedir. MRG bu durumda BT'ye tamamlayıcı bilgiler verebilir. T2 ağırlıklı MRG özellikle fibrozis ya da parsiyel ossifikasyonlu bir skala timpanide perilenf bulunup bulunmadığına karar vermekte faydalıdır ³⁹.

BT, cihaz disfonksiyonu ile ilgili konuların tespitinde veya beklendiği gibi sonuç vermediğinde de faydalı olabilir. Özellikle elektrodun yeri hakkında fikir verecektir.

2.6.2.6. Operasyon Yaşı

Anatomik nedenlerle başlangıçta iki yaş sınırı kabul edilmiştir. Koklea, doğumda yetişkin boyutundadır. Mastoid antrum ve fasial reses, ancak iki yaşında yeterince gelişmektedir. Fakat ileri derecedeki işitme kaybının konuşmayı, algılamayı, konuşabilmeyi ve dil gelişimini olumsuz etkilenmesi nedeniyle yaş sınırı daha aşağıya çekilebilir. Hastanın genel sağlık durumu elektif bir cerrahi işleme izin verdiği sürece yaşın üst sınırı yoktur.

2.6.2.7. Kulak Seçimi

A) Fiziksel Özellikler: Koklea ve koklear sinirin varlığı, displazinin derecesi, ossifikasyonun derecesi, geçirilmiş cerrahi girişimler, fasial sinir anormalileri ve kronik otitis media bulunmaktadır.

B) Rezidüel İşitme Seviyesi: Elektrodun iç kulağa yerleştirilmesi esnasında rezidüel işitmenin kaybedilme riski (%50-%70) yeni tekniklerle %20 seviyelerine indirilmiştir ⁴⁰.

Bu nedenle işitme cihazı ile iyi kulakta fayda sağlanıyorsa sıklıkla ve öncelikle kötü kulak tercih edilir. Eğer hastada uzun süreli total işitme kaybı mevcutsa iyi kulak tercih edilir, çünkü işitme kaybının süresi performans sonuçlarını etkileyen birkaç kriterden biridir.

2.6.2.8. Ekip Çalışması

Kİ uygulaması geniş, deneyimli ve işbirliği içinde çalışan bir ekip gerektirir. Hastaya Kİ uygulamasına bu ekipte yer alanların birlikte karar vermesi gerekmektedir. Bu ekipte aşağıdaki alanlar yer almaktadır;

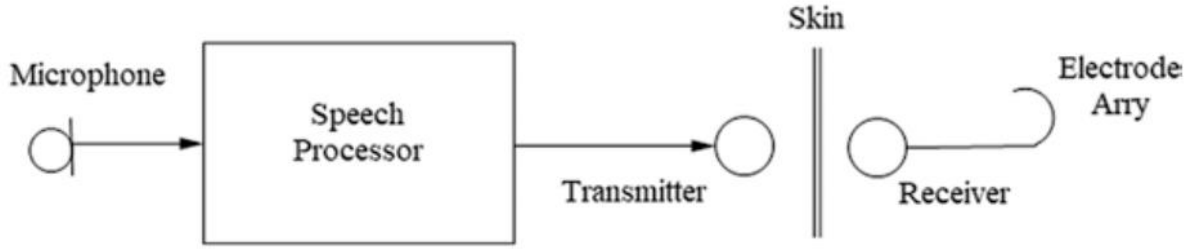
1. Kulak burun boğaz uzmanı; tıbbi değerlendirme, cerrahi
2. Uzman klinik odyolog; preoperatif odyolojik değerlendirme, peroperatif monitorizasyon, postop implantın programlanması ve izlenmesi
3. Eğitim odyoloğu; preoperatif adaya bireysel eğitim verilmesi, dil gelişiminin değerlendirilmesi, postoperatif rehabilitasyon
4. Psikolog; hastaların ve ailesinin psikolojik durumunun incelenmesi amacıyla yer almalıdır
5. Nöroloji uzmanı
6. Radyoloji uzmanı

2.6.3. Koklear İmplantın Genel Özellikleri

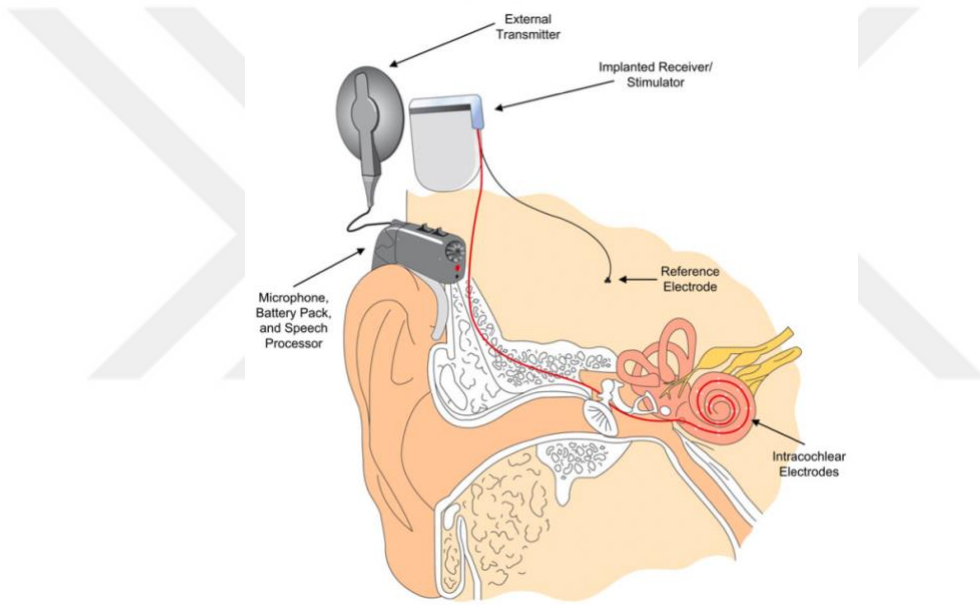
Son yıllarda birkaç mevcut olan Kİ sistemi geliştirilmiştir. Hemen hepsi aşağıdakilerden oluşur^{41,42,43};

Ortak temel bileşenler:

- (1) Ortamdaki sesleri algılayan bir veya birden fazla **mikrofon**,
- (2) Özellikleri dönüştüren bir sinyal işlemcisi, mikrofon çıkışının sesinde bir dizi elektrik sinyaline dönüştüren, **Sinyal İşlemcisi (Speech processor)**
- (3) Enerji gönderen ve elektrik sinyallerini cilt üzerinden implante elektrot dizisine ileten bir iletim sistemi, **(Transmitter)**
- (4) Alıcı-uyarıcı bir kontrol kulesi gibi çalışır. Sinyalleri alır, kodlarını çözer ve elektrotlara aktarır. **Alıcı-Uyarıcı (Receiver)**
- (5) Bir elektrot veya bir elektrot dizisi kokleaya iletirilir **(Elektrot dizisi)**



Şekil 6. Koklear implantın şematize edilmesi



Şekil 7. Koklear implantın dış ve iç parçaları

2.6.4. Koklear İmplantasyonda Preoperatif değerlendirme

Gelişmiş bir koklea ve ona bağlantılı fonksiyonel bir işitme sinirine sahip olması, işitme rehabilitasyonunun olması için doğrulanmalıdır. Bu sırada, özellikle yaşlı hastalar ve çocuklar için, operasyonu tolere edildiklerinden emin olmak için sağlık durumları değerlendirilmelidir. Hasta geçmişi (medikal durumu), odyolojik değerlendirme (aurikula, DKY, TM), odyolojik testler, dil gelişimi, genetik tarama, psikolojik ve radyolojik görüntüleme dahil olmak üzere tıbbi değerlendirmeler ameliyattan önce yapılmalıdır.

2.6.5. Koklear İmplant Cerrahisi:

1984'te ilk tek kanallı Kİ, ileri derecede SNİK postlingual olan erişkin hastalarda implantasyon için FDA tarafından onaylanmıştır ⁴⁴.

2.6.5.1. İnsizyonlar ve Flep

- Normal retroaurikular insizyonu
- Geniş C şeklinde retroauriküler insizyonu
- Lazy S insizyonu
- Minimal geçişli insizyonu ⁴⁵.

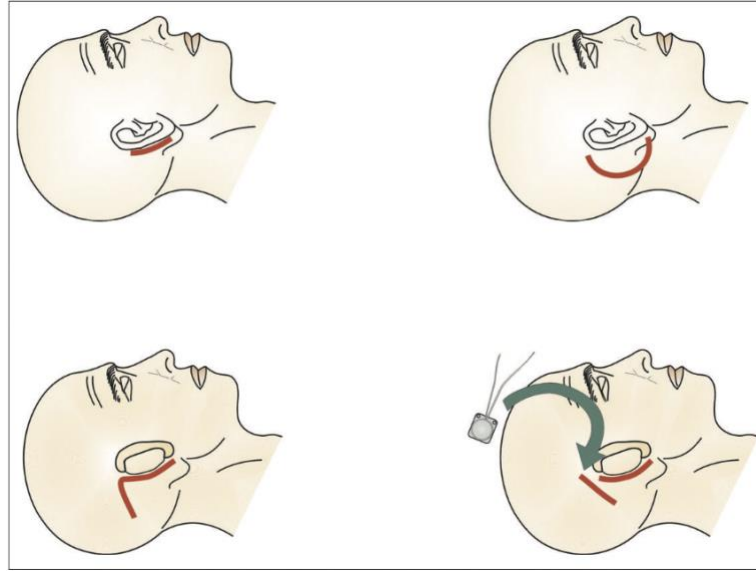


Fig. 5.1 Four types of skin incisions.

Şekil 8. En çok kullanılan dört farklı insizyonlar

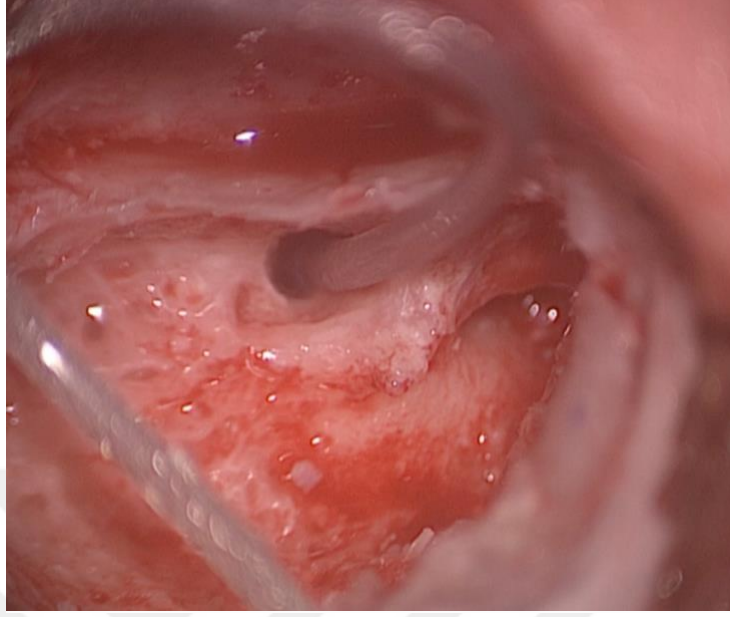
Son yıllarda, Kİ tasarımı ve cerrahi teknikler önemli ölçüde gelişmiştir. Fasiyal reses yaklaşımı olarak da adlandırılan posterior timpanotomi yaklaşımı ile mastoidektomidir. Dr. House tarafından tanımlanmış olan ve koklear implantasyon cerrahisinde en yaygın kullanılan yaklaşım olmuştur. Bu yaklaşımda mastoidektomi yapılır, antrum bulunur, LSS ve incus kısa kolu identifiye edildikten sonra posterior timpanotomi yoluyla fasiyal reses açılır ve yuvarlak pencere nişi ile promontorium görünür hale gelir ⁴⁶.

Elektrot dizisinin yerleştirilmesi, bir kokleostomi veya yuvarlak pencere nişi yoluyla gerçekleştirilir. Bu yaklaşım, elektrot dizisinin yerleştirilmesi için yararlı olan yol, yuvarlak pencere nişinin daha iyi görüntülenmesini sağlar (Şekil 9) ⁴⁷. Ancak posterior timpanotomi yaklaşımında fasiyal sinir paralizi ve korda timpani yaralanma riski mevcuttur. İç kulak malformasyonu olan hastalarda kokleanın anatomisi fasiyal reses yaklaşımı yoluyla yapılması olumsuz bir durumdur. Bu yaklaşımda dış kulak yolu posterior duvarının zedelenmesi ile orta kulağa açılması postoperatif enfeksiyon ve kolesteatom oluşum riskini artırmaktadır.

Elektrodun kokleostomi veya yuvarlak pencere yoluyla insersiyonu; Kİ ameliyatlarında elektrot yerleştirmenin, intrakoklear travma ile kalan işitmeyi geri dönüşümsüz distrikte edilmesine yol açtığını düşünülmüştür. Kalan düşük frekanslı işitmeyi korumak için birçok araştırmacı, elektrot dizisini yerleştirmek ve hassas olan kokleanın iç yapıları korumak için en az travmatik yolu aramışlardır.

Kokleostomi tekniği, 1993 yılında Lenhardt tarafından tanımlanmış olup bu teknik, yuvarlak pencere membranının anteroinferior kısmından delinmesiyle gerçekleştirilmiştir. Kokleostominin açılması elektrotlara bakarak belirlenir. Elektrodu yerleştirmek için kokleostomi mümkün olduğunca küçük yapılmalıdır. Bu geleneksel kokleostomi yaklaşımı birçok cerrah tarafından kullanılmıştır. Ancak bu yaklaşımda delme işlemi sırasında iç kulak akustik travmaya maruz kalabilir ve endosteum açığa çıktığında kokleostomiye kemik tozu ve kan girebilmektedir ^{48,49}.

Yuvarlak pencere yaklaşımı, potansiyel akustik travmayı ve postoperatif vertigoyu önleyen yuvarlak pencere membranının minimal bir insizyonunu içerir. Standart bir elektrotla yuvarlak pencere yaklaşımı, rezidüel düşük frekanslı işitmenin korunması ve çocuklarda elektrot ile akustik stimülasyonun yararıyla sonuçlanmıştır ^{50,51}. Birkaç çalışma, iki yaklaşımı kullanan hastalarda kalan rezidüel işitmeyi koruma oranlarında anlamlı bir fark olmadığını göstermiştir ^{52,53}.



Şekil 9. Fasiyal reses posterior timpanotomi yaklaşımıla elektrot dizisinin yuvarlak pencereye insersiyon sonrası

2.6.5.2. Koklear İmplantasyonda Cerrahi Basamaklar

Koklear implantasyonda cerrahi basamaklar:

- Retroaurikuler insizyonu
- Muskuloperiostal flep elevasyonu
- Mastoidektomi
- Posterior timpanotomi
- Yuvarlak pencerenin ortaya konması
- Tur ile temproal kemiğe receiver'a yuva açılması
- İmplantın subperiostal planda sabitlenmesi
- Yuvarlak pencere nişinin açılması (turlanması)
- Kokleaya elektrot dizisinin insersiyonu
- Elektrofizyolojik testlerin yapılması

- Elektrodun sabitlenmesi
- Periost- ciltaltı-cildin sırasıyla kapatılmasıdır.

2.6.5.3. Koklear İmplant Cerrahisinde Komplikasyonlar

Koklear implantasyon, düşük komplikasyon oranıyla ilişkili güvenilir bir işitme rehabilitasyonu cerrahi tekniğidir. Bu ameliyatın uygulanmasından beri, majör ve minör komplikasyonlar olarak sınıflandırılan birçok komplikasyon bildirilmiştir. Cerrahi revizyon veya hastanede yatış tedavisini gerektiren majör komplikasyonlar arasında elektrot hasarı, mastoidit, kalıcı fasiyal paralizi ve BOS otoresisi içerir. Minör komplikasyonlardan ise, dengesizlik, geçici fasiyal paralizi ve tat alım bozukluğu gibi yalnızca konservatif tedavi veya minimal cerrahi gerektiren komplikasyonlardır. Bu komplikasyonlar cerrahi teknik veya yabancı cisim implantasyonu ile ilişkilidir. Fasiyal paralizi gibi birçok majör komplikasyon vakası, dikkatli cerrahi ve postoperatif prosedürlerle önlenebilirken, flep enfeksiyonu gibi bazı vakalar tamamen önlenemeyebilir. Global olarak komplikasyon oranları majör komplikasyonlar %5 ve minör komplikasyonlar %14.9 olduğu bildirilmektedir ⁵⁴.

2.6.6. Koklear İmplantın Ayarlanması ve Rehabilitasyon

Fitting: Yara yerinde yeterli iyileşme sağlandıktan sonra, koklear implant ilk olarak çalıştırılmaya başlanır. Bu süre genellikle operasyondan sonraki 3. haftaya denk gelir. Telemetrik işlem yapılarak fonksiyon gören elektrotlar belirlenir. Bu işlem sırasında ayrıca elektrotlar arasında kısa devre olup olmadığı ve elektrot dirençleri saptanmaktadır. Konuşma işlemcisi bilgisayara bağlanarak, değişik elektrotlardan kokleaya sinyaller gönderilir. Bu sinyaller farklı perdede ve şiddette sesler oluşturur. Hastadan bu sesleri, en az (Threshold/T-level) ve en rahat (Comfort/C-level) duyduğu sesler şeklinde sıralaması istenir. Fitting sonunda değişik sinyaller ile bunların meydana getirdiği seslerin şiddeti arasındaki korelasyon konuşma işlemcisine yüklenir. Bu bilgi ileride işlemci ve implant tarafından günlük seslerin, rahat ve yararlı işitmeyi sağlayacak sinyallere dönüştürülebilmesi için kullanılacaktır. Böylece dinamik işitme ayarı yapılarak her elektrotun diğer elektrotlar ile olan tizlik ve şiddet ilişkileri de belirlenebilmektedir. Bilgisayar yazılımları ile yapılan bu işlem, uyum sağlayan yetişkinlerde gerçeğe son derece yakın derecelerde ve kolaylıkla mümkün olabilmekte, eşik ve rahat dinleme seviyesine ait değerlerde değişiklikler (mapping) kolaylıkla yapılabilmektedir.

2.6.6.1. Rehabilitasyon Basamakları

Tonları ve Sesleri Dinleme: Başlangıçta öncelikle hastanın dikkati sese çekilmektedir.

Çevre ve İnsan Seslerini Dinleme: Bu aşamayı geçtikten sonra, çevre ve insan seslerine yönelik çalışmalar yapılmakta ve hastanın bu sesleri tanınması istenmektedir.

Suprasegmental Özellikler–Tanıma: Daha sonra kelime ve uzunluğunun algılanması egzersizlerine geçilmektedir.

Suprasegmental Özellikler-Ayırt Etme: Eğitimin ilerleyen dönemlerinde, kelime setleri okunarak hastadan önceden verilen kelimeyi bulması istenmektedir.

İşitsel Anlama: İşitsel olarak ayırt etme için öncelikle sayılar, daha sonra "merhaba, günaydın" gibi çok kullanılan sesleri tanınması istenmektedir. Sonra kelime listeleri ile önce kapalı listeler, daha sonra da açık listeler kullanılarak anlama yeteneği ölçülmektedir.

2.7. Ses

Ses, hava ve diğer ortamlarda sıkışma - seyrilme dalgaları şeklinde ilerlemektedir. Seyrilme basınçta azalmayı, sıkışma ise basınçtaki artışı gösterir. İnsan sesi ve doğadaki bazı sesler tek frekanslı olmayıp farklı şiddet ve frekanstaki birçok sesin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır.

2.7.1. Sesin Fizyolojik Özellikleri:

Sesin perde, kalite, şiddet ve rezonans olmak üzere dört özelliği bulunmaktadır;

2.7.1.1. Frekans (perde)

Frekans, sesin inceliği veya kalınlığı belirten algısal bir terimdir. Sesinin frekansı denince, ses kıvrımlarının saniyedeki titreşim sayısına eşit olan temel frekans demektir. Şarkı söylerken büyük değişiklik gösterir. Konuşma sırasında ise değişiklik miktarı çok daha azdır. Konuşma sesi ortalama temel frekansı kadınlarda 225 Hz erkeklerde ise 125 Hz civarındadır.

2.7.1.2. Şiddet

Ses şiddetinin birimi dB'dir. İnsan sesinin şiddeti, geniş bir aralığa sahip olup, 130 dB ye kadar yükseltilebilmektedir. Sesin şiddeti, glottik direnç ve aynı zamanda subglottik basıncın artmasıyla birlikte artar.

2.7.1.3. Kalite

Solunum organları ile ses kıvrımlarının uyum içinde çalışması ve bunun sonucu olarak, ses kıvrımlarının supraglottik bölgede hava türbülansına meydan vermeyecek şekilde, eşit aralıklarla düzgün bir şekilde titreşmesidir.

2.7.1.4. Rezonans

Glottis düzeyinde oluşan ses, farinks, ağız, burun gibi boşluklarda, bu boşlukların hacmine ve duvarlarının gerginliğine göre değişime uğrar. Bu değişimin iki boyutu vardır. Birinci boyutta, rezonatör organların şekline göre bazı frekans bölgelerinde ses şiddeti artarak, vokalların akustik karakteristiği olan formantlar oluşur. Bu boyut konuşma ile ilgilidir. İkinci boyutta ise sesin kişiliği, kime ait olduğu belirlenir.

2.8. Türkçe'de Ünlü Harflerin Akustik Özellikleri

İnsanlar arası iletişimde kullanılan yöntemlerden en önemlisi olan dil, bir kodlar sistemidir. Kelimeler, bunları oluşturan parçasal sesbirimler, gramer kuralları, prozodemler (parçasal olmayan sesbirimler) şeklinde örneklendirilebilir. Parçasal sesbirimler veya kısaca sesbirimler, fiziksel olarak var olmayan soyut kodlar olup ünlüler ve ünsüzler şeklinde iki ana gruba ayrılır. Türkçedeki /a/ ünlüsü dendiğinde fiziksel bir varlık değil, yazıda <a> işaretiyle, konuşma sırasında [a] sesiyle gösterilen kod anlaşılır. Sesbirim olan /a/ fonolojinin, fonetik alt sesbirim olan [a] ise fonetiğin konusudur ⁵⁵.

Ünlüler, fonolojik açıdan bir hecede çekirdek görevi gören, fonetik açıdan ise ses yolunda önemli bir darlık olmadan çıkarılan konuşma sesleridir. Akustik açıdan enerjileri yüksek olmasına rağmen anlam taşıma kapasiteleri ünsüzlerden daha düşüktür. Ünlü akustiğinin temelinde ötüm enerjisi vardır.

Türkçe’de sekiz ünlünün tamamı saf ünlü şeklindedir. Bu ünlüler artikülatuar özelliklerine göre ince-kalın, geniş-dar ve düz-yuvarlak şeklinde sınıflandırılır. Türkçe’deki ünlüleri yazıda ve Uluslararası Fonetik Alfabe’de (UFA, IPA) göstermek için kullanılan kodlar Tablo 1’de görünmektedir ⁵⁶.

TABLO 1: Türkçe’deki ünlüleri yazıda ve Uluslararası Fonetik Alfabe’de (UFA, IPA) göstermek için kullanılan kodlar.						
	Düz			Yuvarlak		
	Yazı	Sesbirim	Alt Sesbirim	Yazı	Sesbirim	Alt Sesbirim
Dar	⟨i⟩	/i/	[i], [i:]	ü	/y/	[y]
	⟨ı⟩	/u/	[u]	u	/u/	[u], [u:]
Geniş	⟨e⟩	/e/	[ɛ], [e]	ö	/œ/	[œ]
	⟨a⟩	/a/	[ɑ], [ɑ:], [a], [a:]	o	/o/	[ɔ]

Şekil 10. Türkçe’deki ünlüleri yazıda ve Uluslararası Fonetik Alfabe’de göstermek için kullanılan kodlar

Düz-Geniş Ünlüler ⟨a⟩ : Kalın, geniş ve düz ünlü. Kalın ve kısa ([ɑ]), kalın ve uzun ([ɑ:]), ince ve kısa ([a]), ince ve uzun ([a:]) olmak üzere dört alt sesbirimi vardır. Kalın ve kısa alt sesbiriminin F1 ve F2 değerleri sırasıyla 664 ve 1081 Hz’tir.

Yuvarlak-Dar Ünlüler ⟨u⟩ : Kalın, dar ve yuvarlak ünlü. Kısa ([u]), ve uzun ([u:]), olmak üzere iki alt sesbirimi vardır. Kısa alt sesbiriminin F1 ve F2 değerleri sırasıyla 295 ve 786 Hz’tir.

Düz-Dar Ünlüler ⟨i⟩ : İnce, dar ve düz ünlü. Kısa ve uzun iki alt sesbirimi vardır. Kısa alt sesbiriminin ([i]) F1 ve F2 değerleri sırasıyla 278 ve 2275 Hz’tir ⁵⁷.

2.9. Sesin Klinik İncelemesi

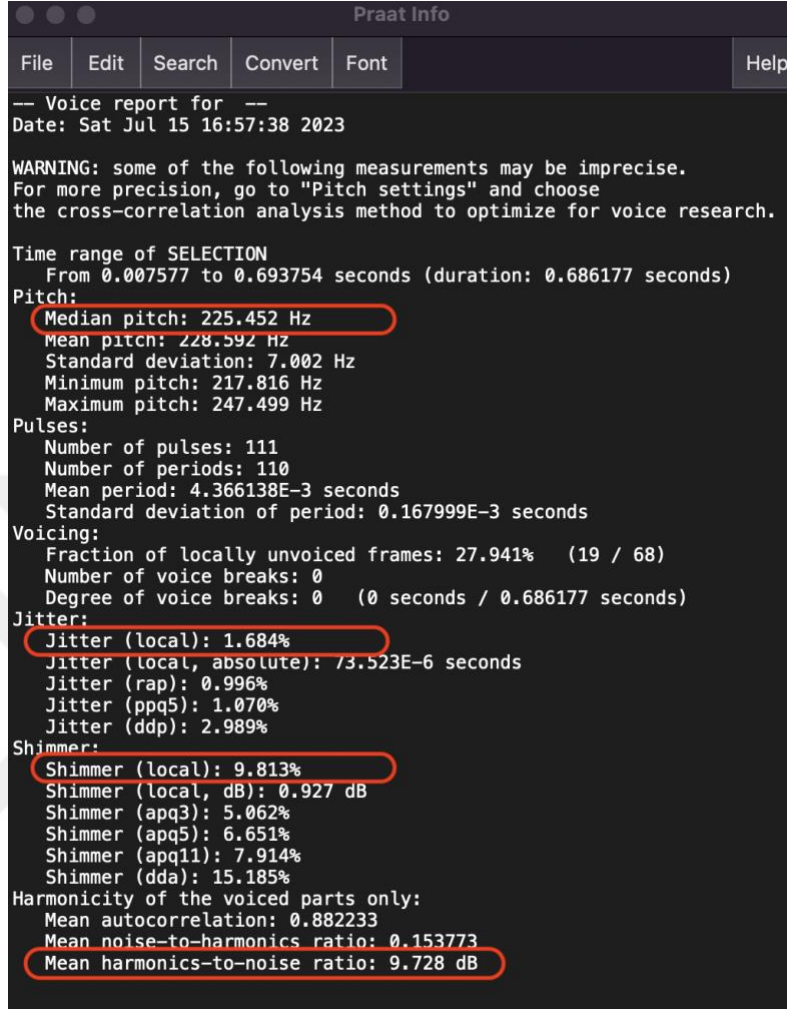
Sesin klinik incelemesinde anamnez, fizik muayene, vokal kord vibrasyon değerlendirmesi önemli rol oynar. Bu yöntemlerin yanı sıra sesin normal olup olmadığını belirlemek, patoloji derecesi ve sınıflandırılması için sesin akustik analizi son yıllarda giderek artan bir önemde kullanılmaktadır. Sesin akustik analizi aynı zamanda terapi süreci ve sonrasında da tedavi yanıtını değerlendirmek için de klinisyene yardımcı olan yöntemler arasındadır. Sesin tanımlanmasında;

- Hastanın kendi sesini değerlendirmesi,
- Vokal performans değerlendirilmesi,
- Vokal kord vibrasyon değerlendirilmesi,
- Sesin aerodinamik analizi,
- Sesin akustik analizinde kullanılan yöntemlerdir.

2.9.1. Sesin Objektif Akustik Analizi

Ses hastalarının değerlendirilmesi sırasında uygun inceleme yöntemlerinin kullanılması hekimin doğru tanı koymasına yardımcı olduğu gibi problem düzeyini belirleme ve takip süreci içinde değişiklikleri izleme açısından da önemlidir ⁵⁸. Bu tür hastaları değerlendirmek için kullanılan yöntemler; vibrasyon inceleme yöntemleri, larengeal EMG, objektif ses analizi ve sübjektif değerlendirme yöntemleri şeklinde dört ana gruba ayrılır. Objektif analiz yöntemleri ise iki grupta incelenir:

- **Sesin Akustik Analizi:** Sesin akustik analizinde temel frekans (f_0), jitter, shimmer, harmonik/gürültü oranı (HNR) gibi parametreler incelenir. Vokal kordlardaki organik ve non-organik patolojiler, vokal kord vibrasyon paternindeki bozulmalar gibi nedenler sesin akustik parametrelerinde değişime neden olur.
- **Aerodinamik analiz:** Hava akım hızı, volüm ve basınç lmleri.



```
Praat Info
File Edit Search Convert Font Help
-- Voice report for --
Date: Sat Jul 15 16:57:38 2023

WARNING: some of the following measurements may be imprecise.
For more precision, go to "Pitch settings" and choose
the cross-correlation analysis method to optimize for voice research.

Time range of SELECTION
From 0.007577 to 0.693754 seconds (duration: 0.686177 seconds)
Pitch:
Median pitch: 225.452 Hz
Mean pitch: 228.592 Hz
Standard deviation: 7.002 Hz
Minimum pitch: 217.816 Hz
Maximum pitch: 247.499 Hz
Pulses:
Number of pulses: 111
Number of periods: 110
Mean period: 4.366138E-3 seconds
Standard deviation of period: 0.167999E-3 seconds
Voicing:
Fraction of locally unvoiced frames: 27.941% (19 / 68)
Number of voice breaks: 0
Degree of voice breaks: 0 (0 seconds / 0.686177 seconds)
Jitter:
Jitter (local): 1.684%
Jitter (local, absolute): 73.523E-6 seconds
Jitter (rap): 0.996%
Jitter (ppq5): 1.070%
Jitter (ddp): 2.989%
Shimmer:
Shimmer (local): 9.813%
Shimmer (local, dB): 0.927 dB
Shimmer (apq3): 5.062%
Shimmer (apq5): 6.651%
Shimmer (apq11): 7.914%
Shimmer (dda): 15.185%
Harmonicity of the voiced parts only:
Mean autocorrelation: 0.882233
Mean noise-to-harmonics ratio: 0.153773
Mean harmonics-to-noise ratio: 9.728 dB
```

Şekil 11. Ses Raporu (Voice Report) ⁵⁹

Bu başlık altında çok sayıda parametrenin yer alması kafa karışıklığına neden olabilmektedir. Önemli olan parametreler kırmızı ile işaretlenmiştir. Voice report sonuç dosyasında analysis settings grubunda çoğunluğu kullanıcı tarafından değiştirilebilen ayarlarla ilgili bilgiler yer almaktadır.

2.9.1.1. Temel frekans (f₀): Vokal kordların saniyedeki glottik siklus sayısıdır, birimi Hertz (Hz)'dir. Glottik siklus hızının değişmesi ile temel frekans değişmektedir. Vokal kordların uzunluğu da temel frekans değeri için önemlidir; uzunluk arttıkça subglottik basınç alanı artar ve temel frekans azalır.

Median F0: Ortanca temel frekans değeridir. Bu ve bunun gibi F0'la ilgili parametrelerin normal değerleri yaşa ve cinsiyete göre farklılık gösterir. Bu nedenle erkeklerde temel frekans 100-150 Hz, kadınlarda 200-300 Hz aralığındayken, çocuklarda 300 Hz üzerindedir ⁶⁰.

2.9.1.2. Frekans Pertürbasyonu Parametreleri

2.9.1.2.1. Jitter Grubu:

Peş peşe gelen döngüler arasında istem dışı olarak ortaya çıkan frekans değişikliklerini gösterir. Saniyenin binde birinde oluşan glottik siklus sayısının yüzde (%) ile ifade edilmesidir⁶¹. Her bir glottik siklus süresi (period) arasındaki değişkenliği ifade eden bir parametredir, vokal kordlardaki pertürbasyonu gösterir;

Jitter (local): Yüzde jitter. Mutlak jitterin ortalama döngü süresine bölünmesiyle elde edilir. Bu şekilde jitter parametresinin frekansa bağımlılığı ortadan kaldırılmış veya azaltılmış olur. Normal değeri %0.5'in (%1'in) altındadır.

2.9.1.2.2. Shimmer Grubu:

Peş peşe gelen döngüler arasında istem dışı olarak ortaya çıkan genlik farklılıklarını gösterir. Her bir glottik siklustaki amplitüdün yüzde olarak değişimidir. Bu değer desibel (dB) olarak gösterilir; Genlik (amplitüd) pertürbasyonu parametreleridir.

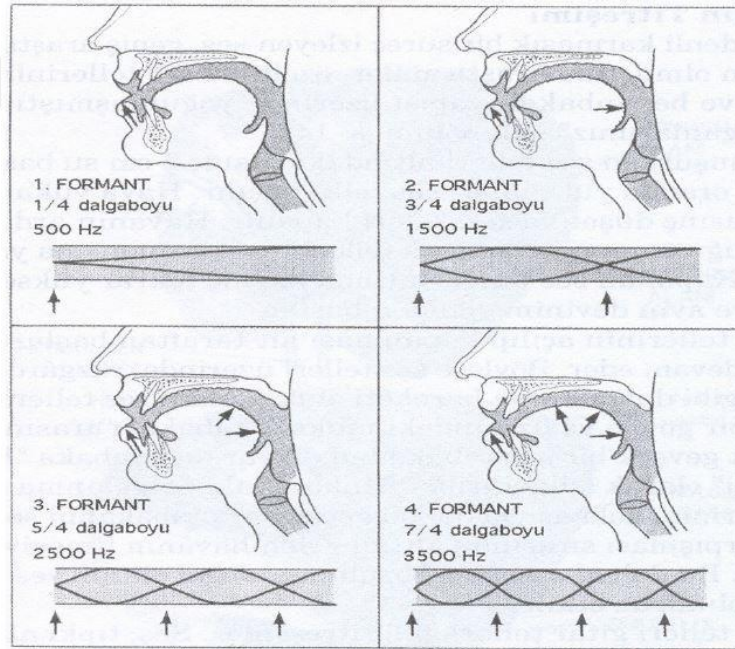
Shimmer (local): Yüzde shimmer. Her döngünün kendinden sonraki döngüyle arasındaki şiddet farkının mutlak değerinin ortalaması, ortalama döngü şiddetine bölünerek elde edilir. Normal değeri %2'nin (%3'ün) altındadır.

2.9.1.3. HNR (Harmonic to Noise Ratio - Harmonik Gürültü Oranı):

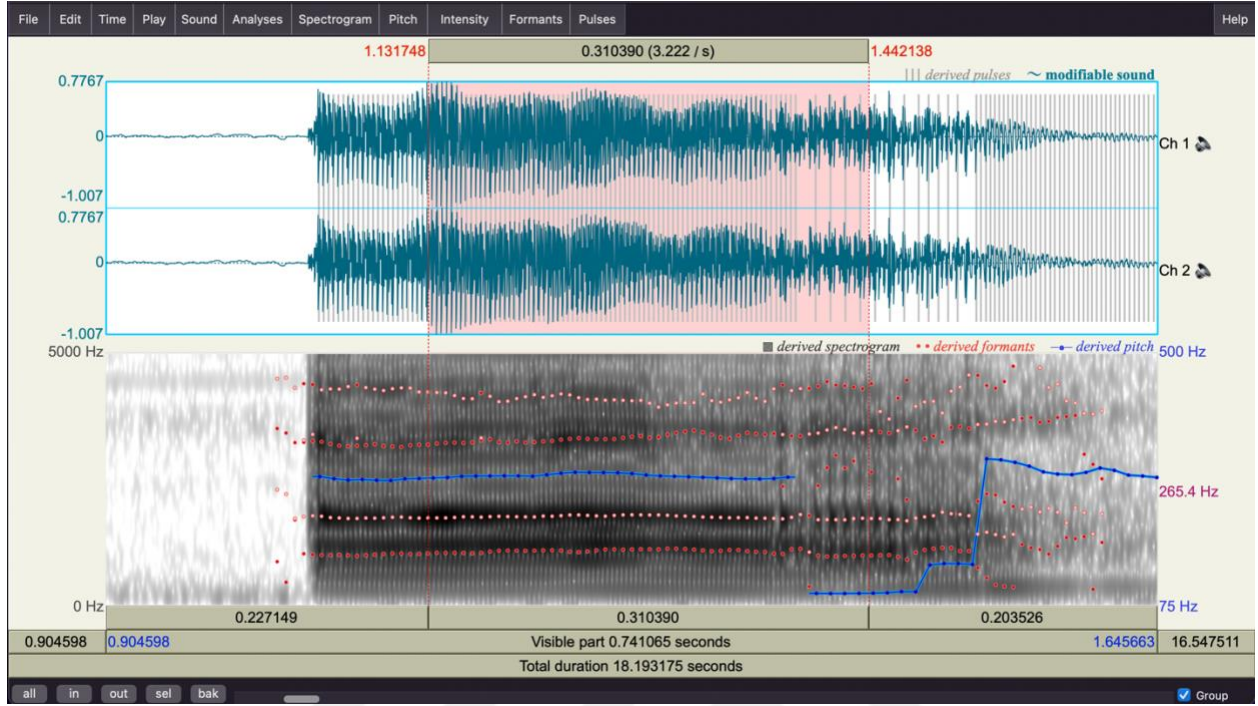
Harmonik enerjinin, gürültü enerjisine oranıdır. Vokal kordların düzensiz vibrasyonu sonucu, gürültü bileşeninde glottik siklus esnasında vokal kordların tam olarak kapanmamasına bağlı olarak değişen hava akımıyla meydana gelir. Harmoniklerin ses enerjisinin, gürültü frekansı ses enerjisine oranına HNR denilmektedir. Bu oran disfoni ile bağıntılıdır ⁶². Gürültü komponenti arttıkça, HNR değeri düşer. Ortam gürültüsünden ve kayıt kalitesinden kolayca etkilenir. Normal değeri 20 dB'nin üzerindedir.

2.9.1.4. Formantlar

Formant kelimesi orijinalde Almanca olup fizikçi Hermann tarafından on dokuzuncu yüzyılın ikinci yarısında kullanılmıştır ⁶¹. Glottis'te ortaya çıkan ötüm enerjisi ses yolunda şekillenirken bazı frekans bölgelerinde formant adı verilen enerji yoğunlaşmaları görülür. Geniş bant spektrogramda yatay olarak uzanan siyah bantlar şeklinde görülen formantlar ünlülerin temel akustik özelliğidir (Şekil 9). Erkekler için 0-5000 Hz, kadınlar için 0-5500 Hz arasında düşük frekanstan yükseğe doğru birinci (F1), ikinci (F2), üçüncü (F3), dördüncü (F4) ve beşinci (F5) formant şeklinde beş formant olduğu kabul edilir. Ünlülerin birbirinden ayırt edilmesinde önemli olan ilk ikisidir. Formantların merkez frekansı yanında bant genişliği ve şiddet gibi özellikleri de vardır.



Şekil 12. Formantların şematik görünütüsü ⁶³



Şekil 13. Formantların spektrogramda yatay siyah bantlar şeklindeki görüntüsü ⁵⁹

Ünlü seslerin tanınmasında önemli bir kriterdir. F1 ve F2 değerleri ve aynı zamanda bu iki formantın birbirine olan uzaklıkları aynı içerikte kullanılan sesli harfler için hemen hemen sabittir. Vokal traktusa ait olan rezonansları isimlendirmek amacıyla kullanılır. Glottal düzeyde fonasyon sırasında vokal kıvrımların açılıp kapandığı sırada çarpışmalarıyla üretilen kaynak sinyali ham haliyle duyamayız. Bahsedilen bu kaynak sinyal vokal traktustan geçerek dudaklardan dışarı yayılıp spektral enerji dağılım şekli ve bu traktusun akustik enerji transfer özelliklerince etkilenir.

Vokal traktusa ait olan bu özellik farklı dillerin varlığının da nedenidir. Dilleri birbirinden ayıran en önemli unsurlardan biri, dillerin her birinde kullanılan sesli fonemlerin sahip olduğu formant frekans değerlerinin diğer insanlardan farklılık göstermesidir. Bu farklılığı oluşturan ise artikülasyondur. Sesli fonemlerin her birinin duyumu belli bir artikülatör profiliyle bağlantılı olup, artikülasyonda yer alan farinks, çene açıklığı, dil, yumuşak damak unsurlarının nasıl dengelendiğini vokal traktusun akustik yapısı belirler. Böylece formant, frekans değer ortalamalarının her sesli fonem için farklı olmasına sebep olur. Bu durum, konuşma ya da şarkı söyleme sırasında, üretilen sesli fonemin ne olduğuna bağlı olarak vokal traktusca üretilen

rezonansların frekans değerleri farklılaşmaktadır ⁶⁴. Sesli fonemin kimliğini belirleyen F1 ve F2'nin frekanslarıdır. Bu şekilde formant frekans değerleri sesli fonemin anlaşılabilirliği yönünden büyük bir önem taşımaktadır. Ayrıca bu söz edilen frekans değerleriyle oluşan modeller çoğu sesli fonem arasında farklılığın ayırt edilmesinde temel özelliktir ^{61,65}.

2.10. Dil Gelişimi ve İşitme Kaybı Olan Bireylerde Ses Özellikleri

İşitme kayıplı bireylerde dil ve konuşma bozukluğunu incelemek için normal dil ve gelişim evrelerini bilmek gereklidir;

1. Sesleme (fonasyon) evresi
2. Gıgıldama (coo stage) evresi
3. Ses oyunları evresi
4. Düzenli cıvıldama evresi
5. Kontrollü-çeşitlendirilmiş cıvıldama evresi
6. Sözcük öğrenme
7. Kural öğrenme evrelerinden oluşmaktadır.

1-2 Ay	Annenin ve insan seslerine tepki verir. Herhangi bir istek ya da problemi olduğunda bunu ağlayarak belirtir ve değişik sesleri ayırt etmeye başlar.
İlk dört ay	Farklı sesleri ayırt edebilir.
4-8 Ay	Seslere karşı tepki verir. Başkalarının konuşmalarına hırıltı ile cevap verir. Farklı ses tonlarını algılar ve bununla birlikte duyduğu sesleri taklit etmeye başlar.
Dokuz Aya kadar	Ağlar, gülümser, vowel sesleri çıkarır. Elini uzatır; verme, işaret etme, gösterme hareketleri yapar.
9-12 Ay	Yetişkinlere benzer ses tonu çıkarmaya başlar, kelime hazinesi duyduklarına paralel olarak gelişir.
3-5 Yaş	Soru sorulduğunda gerekli cevabı verir. Konuşurken konuları değiştirebilir. Kendi kendine soru-cevap diyalogları oluşturur. Sorunları çözebilmek ya da istediği cevaplara ulaşabilmek için kendi kendine konuşabilir. Bir fikri bir cümleye indirebilir ve "Neden" ve "Niçin" soruları sorabilir.
5-6 Yaş	Dili kullanmada pek fazla sorunu kalmamıştır. Edilgen yapı cümleler kurabilir. "Çünkü", "Bu nedenle", "Sonra", "Ama", "Sadece", "Hala", "Henüz", "Çoktan" gibi sözcükler kullanarak duygu ve düşüncelerini ifade edilebilir.

Şekil 14. Çocuklarda dil gelişim evreleri

2. GEREÇ VE YÖNTEM

2.1. Araştırmanın Yeri, Zamanı ve Örneklem Seçimi

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Kulak Burun Boğaz Hastalıkları Anabilim Dalı Halil Avcı İşitme Engelliler Merkezi'nde gerçekleşti. Mayıs 2023 – Ağustos 2023 tarihleri arasında 6-13 yaş arası 25'i kontrol grubu, prelingual dönemde koklear implant uygulanan 50'si hasta grubu olan toplam 75 katılımcıya ses analizi yapıldı. Koklear implant kullanan 50 bireyin 25'i Grup I (5 yıllık kullanıcı), 25'i Grup II (10 yıllık kullanıcı) olarak incelendi. Her iki grupta hastaların yaş grupları standardize edildi. Kayıtlar Rode mikrofon ile yapıldı. Analizler, Audacity ses düzenleme ve ses kaydetme yazılım programı ile kaydedildi. PRAAT programı⁵⁹ aracılığıyla ses analizi yapıldı. Çalışmaya katılan tüm çocuk katılımcıların ebeveynlerine, “Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi İlaç Dışı Çalışmalar için Aydınlatılmış Gönüllü Onay Formu” imzalatıldı.

Tüm koklear implant cerrahisi aynı cerrahi ekip tarafından gerçekleştirildi. Çalışma grubundaki prelingual ileri derecede SNİK olan hastalar dahil edildi ve 6-13 yaş arasındaydı. Çalışmaya dahil edilen hastaların demografik özellikleri (yaş, cinsiyet, eğitim durumu, ek hastalığı, implant takılma yaşı ve kullanım süresi) retrospektif olarak incelendi. Seröz otitis media, artikülasyon bozukluğu, yarı damak veya maksillofasiyal anormali olan hastalar çalışma dışı bırakıldı. Normal işiten kontrol grubundaki çocukların saf ses odyometri testi ile objektif olarak normal işitme aralığında tespit ettikten sonra çalışmaya dahil edildi. Postlingual ve perilingual implantasyon hariç tutulmuştur.

2.2. Örneklem Büyüklüğü

Bu çalışma 6-13 yaş arasında 75 birey ile gerçekleştirildi. Prelingual ileri derecede SNİK olan Kİ kullanıcısı 50 çocuk hasta çalışmaya dahil edildi. Çalışmada yer alan Kİ kullanıcısı 50 çocuk; ses analizi sırasında gerekli fonemlerin telaffuzu, analiz esnasında harfleri sırası, harfler arasındaki bekleme gibi temel davranış kuralları oluşturarak yapıldı. Koklear implant kullanan 50 hasta cihaz kullanım sürelerine göre iki gruba ayrıldı. İmplant kullanım süresi 5 yıl olan hastalar grup I (48 – 72 ay implant kullanım süresi) , 10 yıl olan hastalar grup II (108 – 132 ay), normal

işiten bireyler ise kontrol grubu (yaş aralığı 72 – 140 ay) olarak değerlendirildi. Grup I; 4 – 6 yaş, grup II; 9 – 11 yaş arasındaydı.

2.3. Bireyler

Çalışma gruplarına dahil etme kriterleri:

1. 4 yaşından önce implantın takılmış olması
2. İmplantın kullanım süresi, 48 – 72 ay ile 108 – 132 ay aralığında olması
3. Artikülasyon bozukluğu, laringeal patoloji, yarık damak veya maksillofasiyal anormalisinin olmaması
4. Kİ kullanıcısı olması
5. Verilen emirleri yerine getirebiliyor olması
6. Konjenital çok ileri SNİK olması

Kontrol grubu dahil etme kriterleri:

1. 72 ay-156 ay (6 yaş – 13 yaş) aralığında olması
2. Artikülasyon bozukluğu, laringeal patoloji, yarık damak veya maksillofasiyal anormalisinin olmaması
3. Normal işitmeye sahip olması, (objektif saf ses odyometrisi ile kanıtlanmış olması)
4. Verilen komutları yerine getirebiliyor olması

2.4. Verilerin Toplanması ve Değerlendirilmesi

Ünlü Harflerin Akustik Analizler ve Formant Analizleri:

Objektif değerlendirme öncesi tüm katılımcıların ailelerinden ayrıntılı anamnez alındı. Grup I, II ve kontrol gruplarından alınan anamnezde; tıbbi anamnez, yaş, cinsiyet, işitme kaybı tipi ve derecesi, koklear implantasyon yaşı, rehabilitasyon eğitim süresi ve öncesinde ses bozukluğu nedeniyle eğitim alıp almadığı sorgulandı. Çalışmaya katılan tüm bireylere vokal değerlendirme öncesi KBB muayenesi yapıldı. Çalışmaya katılan çocuklardan /a/, /u/ ve /i/ seslerini, 3 saniye süreyle söylemeleri istenildi ve aynı anda Rode mikrofon ile ses kayıtları yapıldı. Ses kaydı yapılırken, mikrofon 10 cm'lik mesafede tutuldu ve mikrofondan 10 cm'lik uzaklıktan telaffuz

etmeleri istenildi. Veriler, Audacity®⁶⁶ programı kullanılarak PRAAT ses analizi programı ile analiz edildi. Tüm veriler sessiz, ses geçirmez bir odada kaydedildi. Analiz için her ses örneğinin “orta kısmı” kullanıldı. Çalışmaya katılan tüm bireylerin, her ses örneği için ses akustik parametrelerinden üç ünlünün temel frekans (F0), jitter, shimmer, HNR ve formant frekans verileri karşılaştırıldı. Grup I ve Grup II hastalarında, implantasyon sonrası akustik analiz parametrelerinin verileri ve F1 - F2 formant frekansların verileri ölçülerek kontrol grubu ile karşılaştırıldı.

2.5. İstatistiksel analiz:

Çalışmanın istatistiksel değerlendirmesi SPSS 20.0 (Statistical Package for Social Sciences), Veriler özetlenirken sürekli değişkenler ile ilgili tanımlayıcı istatistikler ortalama $\pm$ standart sapma (SS), medyan, minimum ve maksimum değer şeklinde, kategorik değişkenler ise n(%) olarak özetlendi. Kategorik değişkenlerin analizinde ki-kare testi kullanıldı. Sürekli değişkenlerin analizinde normal dağılıma uygunluk Kolmogorov-Smirnov testi ile kontrol edildi. Normal dağılıma sahip olan değişkenler için 3 grupta farklılıklar ANOVA ile test edildi, bu test sonucunda anlamlı çıkan durumlarda ikili karşılaştırmalar gerçekleştirilirken varyans homojenliğine bağlı olarak Bonferroni veya Games-Howell post hoc testleri kullanıldı. Normallik varsayımını sağlamayan değişkenler ise Kruskal Wallis test, sonrasında post hoc test olarak Dunn's test ile analiz edildi. Değerlendirmelerde $p < 0.05$ olan durumlar istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi. Verilerin analizinde IBM SPSS 20 (Armonk, NY: IBM Corp.) paket programı kullanıldı ⁶⁷.

4. BULGULAR

Çalışmaya dahil edilen tüm katılımcılara, rutin kulak burun boğaz muayenesi sonrası ses akustik analizi yapılmıştır.

4.1 Bireylerin Sosyodemografik Özellikleri

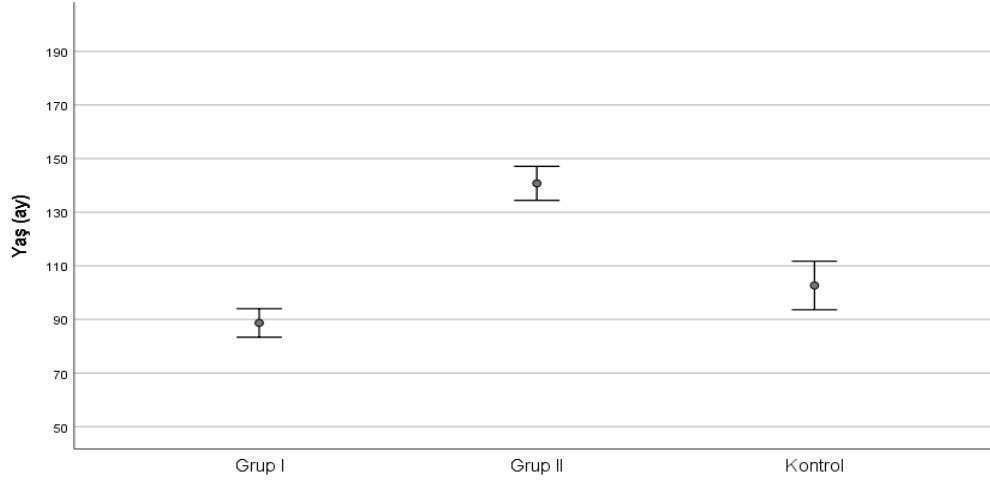
Çalışmaya dahil edilen 75 bireyden oluşan tüm katılımcıların yaş aralığı 72 -156 aydı. Bireylerin gruplara göre yaş ve cinsiyet dağılımları Tablo 1’de verilmiştir. Çalışmaya katılanların 34’ü kadın (%45,3), 41’i ise erkek (%54,7) bireyden oluşmaktadır. Grup I’in yaş ortalamasının ($88,7\pm12,9$), Grup II’nin ($140,8\pm15,4$) yaş ortalamasına göre daha düşük olduğu ve bu farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulunmuştur ($p<0,05$). Grup I’in yaş ortalaması, kontrol grubunun ($102,7\pm21,9$) yaş ortalamasına göre istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p=0,024$). Grup II’nin yaş ortalamasının kontrol gruba göre istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulunmuştur ($p<0,001$).

Grup I’de kadın sayısı 9 (%36,0) erkek sayısı 16 (%64,0), Grup II’de ise kadın sayısı 14 (%56,0) erkek sayısı 11 (%44,0), kontrol grubunda kadın sayısı 11 (%44,0) erkek sayısı ise 14 (%56,0)’tür. Gruplardaki cinsiyet dağılımlarının homojen ve benzer olduğu bulunmuştur ve bu benzerlik istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p=0,360$). Gruplar arasındaki yaş ortalaması farklı bulunmuştur ve istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0,001$) (Tablo 1).

Tablo 1. Gruplara göre yaş ve cinsiyet dağılımları

	Yaş (ay)	Cinsiyet				Toplam	
		Kadın		Erkek			
		Ortalama±SS	n	(%)	n	(%)	n
Grup I	88,7±12,9	9	36,0	16	64,0	25	33,3
Grup II	140,8±15,4	14	56,0	11	44,0	25	33,3
Kontrol	102,7±21,9	11	44,0	14	56,0	25	33,3
Toplam		34	45,3	41	54,7	75	100

Yaş için grup karşılaştırmasında tek yönlü ANOVA kullanıldı, ANOVA sonrasında Games-Howell testi uygulandı. Cinsiyet için Ki-kare testi kullanıldı. $p<0,05$ olan durumlar istatistiksel olarak anlamlıdır.



Grafik 1. Çalışmaya katılan bireylerin yaşa göre dağılımı.

Grup I'in 1 hastası (%4) unilateral, 24 hastası (%96) ise bilateral iken Grup II'nin 20 hastası (%80) ise unilateral, 5 hastası (%20) bilateral Kİ kullanıcısı olduğu tespit edilmiştir. İki grup arasında unilateral veya bilateral olma durumları istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,001$) (Tablo 2).

Tablo 2. Gruplarda unilateral ve bilateral hasta oranları

	Unilateral (Tek taraflı)		Bilateral (İki taraflı)		p*
	n	%	n	%	
Grup I (n=25)	1	4,0	24	96,0	<0,001
Grup II (n=25)	20	80,0	5	20,0	

* Kikare testi kullanıldı.

4.2 Ses Analiz Bulguları

Bireylerden sırasıyla /a/, /u/ ve /i/ fonemlerini seslendirmeleri istenerek akustik analizleri yapılmıştır. Tüm bireylerin ses analiz parametrelerinin ortalama, standart sapma, medyan, minimum ve maksimum değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Grup ayrımı olmadan tüm bireylere ait /a/, /u/ ve /i/ fonemlerinin ses akustik analiz verileri

		Ortalama±SS (ay)	Medyan	Minimum	Maksimum
/a/ fonemi	F0	260,84±45,94	261,93	107,76	339,38
	Jitter	0,46±0,24	0,38	0,17	1,33
	Shimmer	5,86±4,23	4,43	1,21	23,04
	HNR	16,53±3,90	17,25	2,56	25,08
	F1	913,00±152,23	912,90	502,00	1313,39
	F2	1467,14±156,55	1459,29	1109,72	1798,18
/u/ fonemi	F0	280,51±51,35	274,74	119,29	403,49
	Jitter	0,49±0,41	0,35	0,13	2,76
	Shimmer	6,03±4,23	4,95	0,22	20,76
	HNR	21,07±4,37	21,68	8,28	31,97
	F1	525,94±109,97	506,84	347,67	882,19
	F2	1185,79±281,43	1123,15	698,05	2330,32
/i/ fonemi	F0	277,89±46,62	274,58	120,50	405,02
	Jitter	0,45±0,25	0,37	0,15	1,43
	Shimmer	6,67±4,47	5,28	0,67	19,20
	HNR	17,26±3,31	17,00	10,03	24,10
	F1	456,39±89,93	442,80	290,66	694,44
	F2	2244,55±431,79	2301,37	1458,87	3016,40

Tüm bireylerin gruplara göre /a/ fonemine ait ölçüm değerleri Tablo 4'te gösterilmiştir. /a/ F0 ortalamaları gruplar arası karşılaştırıldığında; Grup I'in F0 değerinin 263,00±46,09'dur, Grup II'nin F0 değeri ise 242,76±51,83'tür. Grup I ile Grup II F0 değerine göre benzer olduğu bulunmuştur (p=0,333). Grup I ile kontrol grubunun F0 (276,74±32,98) değerine göre yine benzer olduğu bulunmuştur (p=0,830). Grup II ile kontrol grubunun F0 değerine göre farklı ve anlamlı olduğu bulunmuştur (p=0,025). Gruplar arası /a/ fonemde F0 istatistiksel olarak anlamlıdır (p=0,029).

/a/ Jitter ortalamaları gruplar arası karşılaştırıldığında, Grup I 0,52±0,28, grup II 0,46±0,22 ve kontrol grup 0,40±0,22 olduğu tespit edilmiştir. Kontrol grubunun diğer gruplara göre daha düşük olduğu görülmüştür fakat istatistiksel olarak benzer ve anlamsız olduğu görülmüştür (p=0,193).

/a/ Shimmer ortalamaları gruplar arası karşılaştırıldığında, Grup I $6,59 \pm 5,52$, grup II $6,02 \pm 3,80$ ve kontrol grup $4,97 \pm 2,99$ olduğu tespit edilmiştir. Kontrol grubunun diğer gruplara göre daha düşük olduğu görülmüştür fakat istatistiksel olarak benzer ve anlamsız olduğu görülmüştür ($p=0,547$).

/a/ HNR ortalamaları gruplar arası karşılaştırıldığında, grup I $15,65 \pm 4,77$, grup II $16,44 \pm 3,28$ ve kontrol grup $17,51 \pm 3,42$ 'dir. Kontrol grubunun diğer gruplara göre daha yüksek olduğu görülmüştür fakat istatistiksel olarak benzer ve anlamsız olduğu görülmüştür ($p=0,241$).

Tablo 4. /a/ foneminin gruplara göre F0, jitter, shimmer, HNR değerleri

			Ortalama $\pm$ SS	Medyan	Minimum	Maksimum	p
/a/	F0	Grup I	263,00 $\pm$ 46,09	261,93	112,66	330,94	0,029*
		Grup II	242,76 $\pm$ 51,83	253,10	107,76	339,38	
		Kontrol	276,74 $\pm$ 32,98	276,69	222,54	330,90	
	Jitter	Grup I	0,52 $\pm$ 0,28	0,42	0,21	1,33	0,193+
		Grup II	0,46 $\pm$ 0,22	0,42	0,19	1,14	
		Kontrol	0,40 $\pm$ 0,22	0,32	0,17	1,03	
	Shimmer	Grup I	6,59 $\pm$ 5,52	4,39	1,25	23,04	0,547+
		Grup II	6,02 $\pm$ 3,80	4,66	1,45	15,28	
		Kontrol	4,97 $\pm$ 2,99	4,04	1,21	11,88	
	HNR	Grup I	15,65 $\pm$ 4,77	16,35	2,56	22,42	0,241*
		Grup II	16,44 $\pm$ 3,28	16,94	10,17	22,53	
		Kontrol	17,51 $\pm$ 3,42	18,47	10,11	25,08	

*Üç grup karşılaştırmasında tek yönlü ANOVA kullanıldı, ANOVA sonrasında istatistiksel olarak anlamlı olan durumlarda ikili grup karşılaştırmaları için varyans homojenliği sağlanan durumlarda Bonferroni testi, sağlanmayan durumlarda ise Games-Howell testi kullanıldı.+ Üç grup karşılaştırmasında Kruskal Wallis testi kullanıldı. İstatistiksel olarak anlamlı olan durumlarda KW testi sonrasında ikili grup karşılaştırmaları için Dunn test kullanıldı. $p < 0,05$ olan durumlar istatistiksel olarak anlamlıdır. SS: Standart Sapma.

Tüm bireylerin gruplara göre /u/ fonemine ait ölçüm değerleri Tablo 5'te sunulmuştur. /u/ F0 ortalamaları gruplar arası karşılaştırıldığında; Grup I'in F0 değerinin $288,67 \pm 44,30$, Grup II'nin F0 ise $258,48 \pm 61,10$ değerine göre benzer olduğu bulunmuştur ($p=0,103$).

Grup I ile kontrol grubu F0 ($294,38 \pm 40,75$) değerine göre ($p=0,999$) benzer olduğu bulunmuştur. Grup II ile kontrol grubu F0 değerine göre ($p=0,037$) farklı ve anlamlı olduğu bulunmuştur. Gruplar arası karşılaştırıldığında /u/ F0 istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür ($p=0,027$).

/u/ Jitter gruplarda ortalamalarının, Grup I ($0,46 \pm 0,25$), Grup II ($0,61 \pm 0,56$), Kontrol grubu ise ($0,41 \pm 0,34$) olup gruplar arası karşılaştırıldığında /u/ Jitter benzer ve anlamsız olduğu görülmüştür ($p=0,175$).

/u/ Shimmer gruplarda ortalamalarının, Grup I ($5,22 \pm 3,21$), Grup II ($8,20 \pm 5,32$), Kontrol grubu ise ($4,68 \pm 3,02$) olup gruplar arası karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür ($p=0,005$).

/u/ Shimmer Grup I ile Grup II arasında karşılaştırıldığında benzer ve anlamsız olduğu görülmüştür ($p=0,054$). Grup I ile kontrol grubu arasında karşılaştırıldığında benzer ve anlamsız olduğu görülmüştür ($p=0,815$). Grup II ile kontrol grubu arasında karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür ($p=0,017$).

/u/ HNR gruplarda ortalamalarının, Grup I ($21,50 \pm 3,63$), Grup II ($19,23 \pm 4,82$), Kontrol grubu ise ($22,47 \pm 4,07$) olup gruplar arası karşılaştırıldığında /u/ HNR istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür ($p=0,024$).

/u/ HNR Grup I ile Grup II arasında karşılaştırıldığında benzer ve anlamsız olduğu görülmüştür ($p=0,180$). Grup I ile kontrol grubu arasında karşılaştırıldığında benzer ve anlamsız olduğu görülmüştür ($p=0,999$). Grup II ile kontrol grubu arasında karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür ($p=0,024$).

Tablo 5. /u/ foneminin gruplara göre F0, jitter, shimmer, HNR değerleri

			Ortalama±SS	Medyan	Minimum	Maksimum	p
/u/	F0	Grup I	288,67±44,30	274,74	214,67	403,49	0,027*
		Grup II	258,48±61,10	268,53	119,29	343,22	
		Kontrol	294,38±40,75	286,71	237,13	396,78	
	Jitter	Grup I	0,46±0,25	0,38	0,16	1,24	0,175+
		Grup II	0,61±0,56	0,45	0,14	2,76	
		Kontrol	0,41±0,34	0,31	0,13	1,74	
	Shimmer	Grup I	5,22±3,21	4,81	0,47	12,59	0,005*
		Grup II	8,20±5,32	7,69	2,35	20,76	
		Kontrol	4,68±3,02	4,03	0,22	15,32	
	HNR	Grup I	21,50±3,63	21,80	13,25	28,34	0,024*
		Grup II	19,23±4,82	19,44	8,28	27,84	
		Kontrol	22,47±4,07	22,75	12,90	31,97	

Üç grup karşılaştırmasında tek yönlü ANOVA kullanıldı, ANOVA sonrasında istatistiksel olarak anlamlı olan durumlarda ikili grup karşılaştırmaları için varyans homojenliği sağlanan durumlarda Bonferroni testi, sağlanmayan durumlarda ise Games-Howell testi kullanıldı. Üç grup karşılaştırmasında Kruskal Wallis testi kullanıldı. $p < 0,05$ olan durumlar istatistiksel olarak anlamlıdır. SS: Standart Sapma

Tüm bireylerin gruplara göre /i/ fonemine ait ölçüm değerleri Tablo 6’te sunulmuştur.

/i/ F0 gruplarda ortalamalarının; Grup I (281,30±42,40), Grup II (256,33±49,99). Kontrol grubu ise (296,04±39,57) olup gruplar arası karşılaştırmasında /i/ F0 istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür ($p=0,018$).

/i/ F0 Grup I ile Grup II arasında karşılaştırıldığında benzer ve anlamsız olduğu görülmüştür ($p=0,397$). Grup I ile kontrol grubu arasında karşılaştırıldığında benzer ve anlamsız olduğu görülmüştür ($p=0,550$). Grup II ile kontrol grubu arasında karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür ($p=0,014$).

/i/ Jitter gruplarda ortalamalarının; Grup I (0,47±0,28), Grup II (0,46±0,24), Kontrol grubu ise (0,41±0,23) olup gruplar arası karşılaştırmasında /i/ Jitter istatistiksel olarak benzerdir ($p=0,619$).

/i/ Shimmer gruplarda ortalamalarının; Grup I (5,62±3,06), Grup II (8,38±5,64), Kontrol grubu ise (06,00±3,99) olup gruplar arası karşılaştırmasında /i/ Shimmer istatistiksel olarak benzerdir ($p=0,059$).

/i/ HNR gruplarda ortalamalarının; Grup I (17,82±2,67), Grup II (16,46±3,92), Kontrol grubu ise (17,51±3,21) olup gruplar arası karşılaştırmasında /i/ HNR istatistiksel olarak benzerdir (p=0,319).

Tablo 6. /i/ foneminin gruplara göre F0, jitter, shimmer, HNR değerleri

			Ortalama±SS	Medyan	Minimum	Maksimum	p
/i/	F0	Grup I	281,30±42,40	274,58	218,78	405,02	0,018 ⁺
		Grup II	256,33±49,99	261,69	120,50	353,72	
		Kontrol	296,04±39,57	301,00	240,28	368,96	
	Jitter	Grup I	0,47±0,28	,40	,18	1,43	0,619 ⁺
		Grup II	0,46±0,24	,36	,20	1,00	
		Kontrol	0,41±0,23	,33	,15	1,06	
	Shimmer	Grup I	5,62±3,06	5,12	2,01	13,66	0,059 [*]
		Grup II	8,38±5,64	7,26	1,63	19,20	
		Kontrol	6,00±3,99	5,44	,67	16,80	
	HNR	Grup I	17,82±2,67	17,00	12,87	24,10	0,319 [*]
		Grup II	16,46±3,92	15,67	10,03	23,28	
		Kontrol	17,51±3,21	17,37	11,90	23,37	

*Üç grup karşılaştırmasında tek yönlü ANOVA kullanıldı, ANOVA sonrasında istatistiksel olarak anlamlı olan durumlarda ikili grup karşılaştırmaları için varyans homojenliği sağlanan durumlarda Bonferroni testi, sağlanmayan durumlarda ise Games-Howell testi kullanıldı. ⁺ Üç grup karşılaştırmasında Kruskal Wallis testi kullanıldı. İstatistiksel olarak anlamlı olan durumlarda KW testi sonrasında ikili grup karşılaştırmaları için Dunn test kullanıldı. p<0,05 olan durumlar istatistiksel olarak anlamlıdır. SS: Standart Sapma.

Tüm bireylerin gruplara göre formant frekansları olan F1 ve F2 değerleri Tablo 7’de

/a/ F1 gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlıdır (p=0,048). Grup I ile Grup II arasında anlamıdır p=0,049), Grup I ile kontrol arasında benzerdir (p=0,948), Grup II ile kontrol grubu arasında ise istatistiksel olarak benzerdir (p=0,125).

/u/ F1 gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlıdır (p=0,004). Grup I ile Grup II arasında anlamıdır (p=0,004), Grup I ile kontrol arasında benzerdir (p=0,999), Grup II ile kontrol grubu arasında ise istatistiksel olarak benzerdir (p=0,056).

/u/ F2 gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlıdır (p=0,001), Grup I ile Grup II arasında istatistiksel olarak anlamıdır (p=0,001), Grup I ile kontrol arasında istatistiksel olarak benzerdir (p=0,959), Grup II ile kontrol grubu arasında ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür (p=0,001).

Onun dışındakiler /a/ F2, /i/ F1 ve /i/ F2 ise istatistiksel olarak benzerdir, sırasıyla (p=0,451), (p=0,596), (p=0,071)'dir

Tablo 7. Gruplara göre formantlar F1 ve F2 için ölçüm değerleri

			Ortalama±SS	Medyan	Minimum	Maksimum	P
/a/	F1	Grup I	949,78±146,86	958,44	717,40	1313,39	0,048*
		Grup II	852,74±141,51	871,06	502,00	1088,52	
		Kontrol	936,49±155,23	923,55	618,97	1268,47	
	F2	Grup I	1479,55±174,75	1499,93	1109,72	1776,80	0,451*
		Grup II	1434,90±136,91	1416,98	1207,23	1761,88	
		Kontrol	1486,96±156,95	1468,79	1202,83	1798,18	
/u/	F1	Grup I	562,24±123,28	524,55	357,61	882,19	0,004+
		Grup II	470,36±82,33	456,21	347,67	634,21	
		Kontrol	545,23±101,66	500,52	417,95	832,01	
	F2	Grup I	1286,35±329,63	1175,41	934,62	2330,32	0,001+
		Grup II	1026,08±208,92	992,99	698,05	1478,43	
		Kontrol	1244,94±226,16	1203,21	877,89	1763,12	
/i/	F1	Grup I	471,15±89,47	462,41	290,66	684,59	0,596*
		Grup II	446,29±87,97	425,34	334,11	694,44	
		Kontrol	451,72±94,00	424,90	301,71	648,36	
	F2	Grup I	2164,73±474,16	1954,10	1458,87	2913,61	0,071+
		Grup II	2403,65±369,74	2475,03	1465,36	2970,69	
		Kontrol	2165,27±416,86	2154,46	1527,50	3016,40	

Üç grup karşılaştırmasında tek yönlü ANOVA kullanıldı, ANOVA sonrasında istatistiksel olarak anlamlı olan durumlarda ikili grup karşılaştırmaları için varyans homojenliği sağlanan durumlarda Bonferroni testi, sağlanmayan durumlarda ise Games-Howell testi kullanıldı.* Üç grup karşılaştırmasında Kruskal Wallis testi kullanıldı. İstatistiksel olarak anlamlı olan durumlarda KW testi sonrasında ikili grup karşılaştırmaları için Dunn test kullanıldı. $p < 0,05$ olan durumlar istatistiksel olarak anlamlıdır. SS: Standart Sapma.

Bilateral, unilateral kullanıcılar ve kontrol grubu ile karşılaştırıldığında gruplarda /a/, /u/ ve /i/ fonemlerde F0, jitter, shimmer, HNR istatistiksel anlamda Tablo 8’de;

/a/ F0 gruplarda istatistiksel olarak anlamlı çıkmıştır ($p=0,039$). /a/ F0 Unilateral ile bilateral arasında benzer ve istatistiksel olarak anlamlı çıkmamıştır ($p=0,482$). Unilateral ile kontrol grubu istatistiksel olarak anlamlıdır ($p=0,033$). Kontrol grubu ile bilateral ise benzer ve istatistiksel olarak anlamlı çıkmamıştır ($p=0,554$).

/i/ F0 gruplarda istatistiksel olarak anlamlı çıkmıştır ($p=0,043$). /a/ F0 Unilateral ile bilateral arasında benzer ve anlamsız çıkmıştır ($p=0,999$). Unilateral ile kontrol grubu istatistiksel olarak anlamlıdır ($p=0,049$). Kontrol grubu ile bilateral ise benzer ve istatistiksel olarak anlamlı çıkmamıştır ($p=0,192$).

Onun dışındaki tüm fonemlerde /a/, /u/ ve /i/ unilateral, bilateral ve kontrol gruplar karşılaştırıldığında Jitter, Shimmer HNR ve /u/ F0 istatistiksel olarak anlamlı çıkmamıştır ($p > 0,05$).

Tablo 8. Bilateral, unilateral kullanıcılar ve kontrol grubuna göre F0, jitter, shimmer, HNR değerleri

			Ortalama±SS	Medyan	Minimum	Maksimum	p
/a/	F0	Bilateral	260,48±52,62	260,69	107,76	339,38	0,039*
		Kontrol	276,74±32,98	276,69	222,54	330,9	
		Unilateral	242,4±44,2	244,64	112,66	307,34	
	Jitter	Bilateral	0,51±0,28	0,42	0,21	1,33	0,200+
		Kontrol	0,4±0,22	0,32	0,17	1,03	
		Unilateral	0,46±0,21	0,42	0,19	0,95	
	Shimmer	Bilateral	5,98±4,06	4,66	1,31	19,37	0,561+
		Kontrol	4,97±2,99	4,04	1,21	11,88	
		Unilateral	6,76±5,53	4,45	1,25	23,04	
	HNR	Bilateral	16,41±3,82	17,03	8,03	22,42	0,230*
		Kontrol	17,51±3,42	18,47	10,11	25,08	
		Unilateral	15,54±4,44	15,72	2,56	22,53	
u/	F0	Bilateral	282,72±56,51	276,67	121,65	403,49	0,084*
		Kontrol	294,38±40,75	286,71	237,13	396,78	
		Unilateral	260,95±51,42	256,45	119,29	343,22	
	Jitter	Bilateral	0,48±0,26	0,37	0,16	1,24	0,194+
		Kontrol	0,41±0,34	0,31	0,13	1,74	
		Unilateral	0,61±0,6	0,46	0,14	2,76	
	Shimmer	Bilateral	5,74±3,79	4,95	0,47	16,34	0,063+
		Kontrol	4,68±3,02	4,03	0,22	15,32	
		Unilateral	8,05±5,34	6,84	0,62	20,76	
	HNR	Bilateral	20,9±3,9	21,27	12,42	28,34	0,083*
		Kontrol	22,47±4,07	22,75	12,9	31,97	
		Unilateral	19,62±4,97	19,44	8,28	27,84	
/i/	F0	Bilateral	272,81±55,09	274,68	120,5	405,02	0,043*
		Kontrol	296,04±39,57	301	240,28	368,96	
		Unilateral	263,31±35,24	256,52	208,1	353,72	
	Jitter	Bilateral	0,47±0,27	0,4	0,18	1,43	0,608+
		Kontrol	0,41±0,23	0,33	0,15	1,06	
		Unilateral	0,47±0,26	0,36	0,2	1	
	Shimmer	Bilateral	6,46±4,14	5,14	1,66	16,25	0,655+
		Kontrol	6±3,99	5,44	0,67	16,8	
		Unilateral	7,74±5,41	6,29	1,63	19,2	
	HNR	Bilateral	17,36±2,96	16,76	12,87	24,1	0,784*
		Kontrol	17,51±3,21	17,37	11,9	23,37	
		Unilateral	16,84±3,96	17	10,03	23,28	

Üç grup karşılaştırmasında tek yönlü ANOVA kullanıldı, ANOVA sonrasında istatistiksel olarak anlamlı olan durumlarda ikili grup karşılaştırmaları için varyans homojenliği sağlanan durumlarda Bonferroni testi, sağlanmayan durumlarda ise Games-Howell testi kullanıldı. Üç grup karşılaştırmasında Kruskal Wallis testi kullanıldı. İstatistiksel olarak anlamlı olan durumlarda KW testi sonrasında ikili grup karşılaştırmaları için Dunn test kullanıldı. $p < 0,05$ olan durumlar istatistiksel olarak anlamlıdır. SS: Standart Sapma.

Bilateral, unilateral kullanıcılar ve kontrol grubu ile karşılaştırıldığında gruplarda /a/, /u/ ve /i/ fonemlerde formantlar F1 ve F2 istatistiksel anlamda Tablo 9'da;

/u/ F1 gruplarda istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p=0,007$). /u/ F1 Unilateral ile bilateral arasında istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p=0,003$). Unilateral ile kontrol grubu istatistiksel olarak anlamlıdır ($p=0,016$). Kontrol grubu ile bilateral ise benzer ve istatistiksel olarak anlamlı olmadığı bulunmuştur ($p=0,583$).

/u/ F2 gruplarda istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulunmuştur ($p=0,030$). /u/ F2 Unilateral ile bilateral arasında istatistiksel olarak benzer ve anlamsız çıkmıştır ($p=0,077$). Unilateral ile kontrol grubu istatistiksel olarak anlamlıdır ($p=0,009$). Kontrol grubu ile bilateral ise benzer ve istatistiksel olarak anlamlı olmadığı bulunmuştur ($p=0,324$).

Onun dışındaki /a/ ve /i/ fonemlerde unilateral, bilateral ve kontrol gruplar karşılaştırıldığında formant F1 ve F2 istatistiksel olarak istatistiksel olarak anlamlı olmadığı bulunmuştur ($p > 0,05$)

Tablo 9. Bilateral, unilateral kullanıcılar ve kontrol grubuna göre formantlar F1 ve F2 için ölçüm değerleri

			Ortalama±SS	Median	Minimum	Maximum	p
/a/	F1	Bilateral	900,11±142,31	893,74	637,44	1187,11	0,645*
		Kontrol	936,49±155,23	923,55	618,97	1268,47	
		Unilateral	902,84±165,65	897,66	502	1313,39	
	F2	Bilateral	1452,97±167,97	1431,28	1109,72	1776,8	0,727*
		Kontrol	1486,96±156,95	1468,79	1202,83	1798,18	
		Unilateral	1463,09±144,29	1428,25	1220,69	1761,88	
/u/	F1	Bilateral	554,26±121,83	514,01	357,61	882,19	0,007+
		Kontrol	545,23±101,66	500,52	417,95	832,01	
		Unilateral	463,87±76,75	468,87	347,67	617,88	
	F2	Bilateral	1218,42±340,53	1115,92	711,54	2330,32	0,030+
		Kontrol	1244,94±226,16	1203,21	877,89	1763,12	
		Unilateral	1070,3±222,26	1009,23	698,05	1526,81	
/i/	F1	Bilateral	469,18±101,41	475,02	290,66	694,44	0,602*
		Kontrol	451,72±94	424,9	301,71	648,36	
		Unilateral	444,27±67,11	431,47	334,11	621,89	
	F2	Bilateral	2203,77±479,4	2301,37	1458,87	2913,61	0,136+
		Kontrol	2165,27±416,86	2154,46	1527,5	3016,4	
		Unilateral	2395,24±354,17	2451,3	1465,36	2970,69	

Üç grup karşılaştırmasında tek yönlü ANOVA kullanıldı, ANOVA sonrasında istatistiksel olarak anlamlı olan durumlarda ikili grup karşılaştırmaları için varyans homojenliği sağlanan durumlarda Bonferroni testi, sağlanmayan durumlarda ise Games-Howell testi kullanıldı. Üç grup karşılaştırmasında Kruskal Wallis testi kullanıldı. İstatistiksel olarak anlamlı olan durumlarda KW testi sonrasında ikili grup karşılaştırmaları için Dunn test kullanıldı. $p<0,05$ olan durumlar istatistiksel olarak anlamlıdır. SS: Standart Sapma.

5. TARTIŞMA

İşitme sistemi, ses kalitesinin ve konuşma prosodisinin geliştirilmesi ve sürdürülmesi için gereklidir. Normal işiten insanlar belirgin konuşma ve ses kontrolüne sahiptir ⁶⁸. Aksine işitme kaybı, öncelikle işitsel geri bildirimin değişmesi nedeniyle, konuşma ve ses üretiminde yer alan organların uyumunu ve uygun kullanımını etkiler ⁶⁹. 19. yüzyılın sonundan beri elektriksel bir uyarının işitsel bir stimulus verebileceği bilinmektedir ⁷⁰. Dr. William House, 1970'lerde tek elektrotlu implantı ilk tanıtan kişiydi. O zamandan beri, teknolojik gelişmelerin ardından modern çok kanallı implantlar kullanıma sunuldu ^{71,72}. Bilateral koklear implantasyon, bu dönemde doğuştan ileri veya çok ileri işitme kaybı olan hastalar için altın standart rehabilitasyon tekniğidir ²⁴. Bu cerrahi müdahale konuşma algısına önemli faydalar sağlar ve çoğu durumda iletişim işlevselliğini geri kazandıran uygun dilin geliştirilmesine izin verir. Uygun bir tanı konulduktan sonra, 12 aylıktan önce gerçekleştirilen bir koklear implantasyon, geç bebeklik ve erken çocukluk döneminde daha tipik işitsel performanslar geliştirmek için en iyi seçeneklerdendir ve işitme kaybı olan çocukların işlevsel sonuçları, ilkokula başlamadan önce akranlarına ulaşmaktadırlar ⁷³.

İşitsel geri bildirim ipuçlarının, doğru rehabilitasyon yoluyla bile ince değişiklikler devam etse de Kİ kullanıcılarının konuşma artikülasyonlarını izlemeleri ve seslendirmelerinde ayarlamalar yapmaları için çok önemli bir role sahip olduğu gösterilmiştir ⁷⁰. Konuşma değişiklikleri, bilgisayarlı akustik konuşma programları ile ölçülebilmektedir ⁷⁴. Coelho ile Medved ve arkadaşları çalışmalarındaki ses analizi ile ilgili bildirilen ana parametreler, ortalama temel frekans (F0), jitter, shimmer ve harmonik/gürültü oranıdır (HNR). Birçok çalışma, Kİ'li çocuklarda akustik ses parametreleri incelenmiş, ancak bildiğimiz kadarıyla, popülasyon için bilinen herhangi bir normatif veri veya objektif tanı yöntemi mevcut değildir ⁷⁵.

Knight ve ark. koklear implantlı çocukların karakteristik vokal davranışlarını incelediğinde, cinsiyete bağlı olarak ses özelliklerinde bir farklılık görmemişlerdir ⁷⁶. Çalışmamızı oluşturan örneklem grubumuzun yaş aralığı puberte öncesine aittir, puberte öncesi kız ve erkek çocukların ses özellikleri cinsiyete göre farklılık göstermediğinden çalışmamızda grupların kız ve erkek çocukların ses özellikleri, cinsiyete göre farklılık göstermediğinden çalışmamızda cinsiyet farkı gözlenmemiştir ve istatistiksel olarak benzer ve anlamlı bulunmamaktadır (p=0,360). Gruplarda

yaş ortalaması ise kullanım süresi ile ilişkili olarak farklı ve istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,001$).

Valero ve arkadaşları, tarafından farklı derecelerde ileri derecede SNİK olan 62 çocuğun ses kalitesi incelenmiş ve işitme kaybı olan çocukların normal işiten çocuklarla karşılaştırıldığında hem F0 hem de Shimmer'de önemli farklılıklar gösterdiğini bulmuşlardır. Ek olarak, daha yüksek derecede işitme kaybı, daha fazla patolojik ses kalitesi parametreleri ile ilişkilendirilmiştir ⁷⁷.

Bizim çalışmamızda Kİ kullanıcı Grup I ve Grup II ile normal işiten kontrol grubu karşılaştırıldığında /i/ Shimmer istatistiksel olarak benzer bulunmuştur ($p=0,059$). /a/ Shimmer ortalamaları gruplar arası karşılaştırıldığında, kontrol grubunun diğer gruplara göre daha düşük olduğu görülmüştür fakat istatistiksel olarak benzer ve anlamsız bulunmuştur ($p=0,547$). /u/ Shimmer en düşük kontrol grubunda olduğu, gruplar arası karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür ($p=0,005$).

Bazı çalışmalarda, Kİ'li çocukların ses parametreleri normal işiten çocuklarınkinden oldukça farklı bulunmuştur ^{78,79}. Ancak, de Souza ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, Kİ uygulanan çocuklar ile normal işiten çocuklar arasında F0, Jitter, Shimmer veya NHR'de anlamlı bir fark saptamamışlar ⁸⁰. Diğer çalışmalar ise, normal işiten çocuklardakine benzer değerler bildirmiştir ⁸¹. Valero Garcia ve arkadaşları, işitsel protez tiplerinin işitme kaybı olan çocukların ses kalitesi üzerindeki etkisini incelemişler ve Kİ'li çocukların, normal işiten çocuklara kıyasla ses parametrelerinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar olduğunu bulmuşlar ⁷⁷.

Irena Hocevar-Boltezar ve arkadaşları, koklear implantasyondan sonra SNİK çocuklarda bazı akustik parametrelerdeki değişiklikleri incelemişler ve F0'ın implantasyondan sonra önemli ölçüde azalmadığını ve implantasyondan 24 ay sonra daha da yükseldiğini bulmuşlardır ⁶⁵. Bununla birlikte, diğer farklı çalışmalarda koklear implantasyondan sonra F0 azaldığı göstermektedir ^{82,83}. Oysa, Jafari ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada normal işiten ve Kİ'li çocuklar ile en az 8 aylık deneyime sahip çocuklardaki akustik parametreleri karşılaştırdıklarında, Kİ'li çocuklarda F0 'ın önemli ölçüde daha yüksek olduğu bulunmuştur ⁸⁴. Yaptığımız çalışmada ise kontrol grubundaki F0 değerinin tüm fonemlerde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Tüm fonemlerde /a/, /u/ ve /i/ F0, Grup I ve Grup II kıyaslandığında benzer ve

istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur ($p>0,05$). Yine tüm fonemlerde F0 Grup I ve kontrol grubu karşılaştırıldığında benzer ve istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur ($p>0,05$). Ancak Grup II ve kontrol grubu ile tüm fonemlerde F0'da farklı ve istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). Çalışmamızda tüm fonemlerde F0 değeri Grup I, Grup II ve kontrol grubu karşılaştırıldığında gruplar arasındaki benzerlik istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$).

Irena Hocevar-Boltezar ayrıca, 4 yaşında veya daha önce Kİ yapılan işitme kaybı olan çocukların, daha büyük yaşlarda implant edilen çocuklara göre ses kontrolünü daha hızlı geliştirdiği sonucuna varmışlardır ⁶⁵. Bu sonuç, 4 yaşından önce implante edilen prelingual SNİK çocukların daha iyi akustik kontrol elde ettiğini belirten Seifert ve arkadaşlarının bulgularına benzer olarak gelmiştir ⁶⁴. Bazı çalışmalarda, erken Kİ kullanımının sürekli fonasyonun olması, daha iyi nöromüsküler kontrolün desteklediği bildirilmiştir ⁸⁵.

SNİK olan çocukların, özellikle implante edilmiş çocukların sesleri ile ilgili olarak çok sayıda araştırma yapılmış olup esas olarak akustik parametrelerin analizine odaklanmıştır. Literatürü gözden geçirdikten sonra, sonuçların her zaman aynı fikirde olmadığını belirlemişlerdir. Yayınlanan çalışmalarda farklı değerlendirme tekniği ve değerlendirme materyalleri kullanılmıştır. Daha önemlisi, bireysel farklılıklar dikkate alınmamıştır. Kİ yaşı, kullanım süresi, implant sonrası işitme kazancı ve koklear implant stratejilerin tipleri ses kalitesini etkileyen önemli faktörlerdir. Çok az yazarın, araştırmalarında bu söylenenlerin tüm yönlerinden bahsetmiştir ⁸⁶.

Çalışmamızda Grup I'in çoğunun (%96) bilateral olması, ailenin eğitim seviyesi, tedaviye verilen önem ve son yıllarda rehabilitasyonun etkin rol alması sonuçlarda farklılık yaratabileceğini düşündürmektedir. Grup II'de, 10 yıllık uzun Kİ kullanıcılarında rehabilitasyonun pek iyi olmaması, %80'inin unilateral Kİ'li ve %20'sinin bilateral Kİ olmasının sonuçları etkileyebileceğini aynı zamanda iki grubun verilerinin benzer olmasında etkili olabileceğini düşündürmektedir.

Campisi ve arkadaşları tarafından, prelingual SNİK çocukların üzerinde 6 ay süreyle yaptığı longitudinal bir çalışmada, Kİ kullanımından önce ve sonra F0, Jitter ve Shimmer karşılaştırmalarının önemli ölçüde farklı olmadığı bulunmuştur ⁸⁷. Hamzavi ve arkadaşları yaptığı çalışmada koklear implantasyondan önce ve implantasyondan 3 ay sonra 13 hastayı incelemişlerdir

ve hastaların %38'inin implantasyondan sonra F0'da önemli bir düşüş olduğunu tespit etmişlerdir. İşitsel geri bildirim oluşturuldukça, prelingual SNİK olan çocukların fonasyonu daha iyi kontrol eder ve buna bağlı olarak Jitter ve Shimmer düşmektedir ⁸².

Hocevar-Boltezar tarafından yapılan çalışmada, Jitter ve Shimmer implantasyondan 6 ay sonra bile önemli değişiklikler göstermiş ve bu parametreler implantasyondan sonra hızlı bir şekilde normal değerlere ulaştığı tespit edilmiştir ⁸⁵.

Çalışmamızda gruplar arasında /a/ ve /i/ Jitter, Shimmer, HNR ve /u/ Jitter hepsinde istatistiksel olarak benzer ve istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur. Bu parametrelerdeki benzerliğin, Grup II'de çoğu hastanın unilateral olması (%20 bilateral sapmalar olmasına rağmen) fakat kullanım süresinin uzun olması sebebiyle ses parametrelerinin normal aralığa yaklaşması, Grup I'de ise bilateral Kİ olması fakat kullanım süresinin daha kısa olması kontrol grubu ile benzer sonuçların çıkmasına neden olabileceğini düşündürmüştür.

Ünlü harflerin artikülasyon kalitesi, özellikle birinci (F1) ve ikinci (F2) formant frekansları için, artikülasyon traktın şekli ve boyutu tarafından belirlenen ünlü harf formant frekanslarıyla kolaylıkla ayırt edilebilir ^{61,88}. İşitme kayıplı bireylerin normal ses yapısına sahip olmalarına rağmen artikülasyonda zorluk yaşayabilirler. Çalışmalarda formant frekansların F1 ve F2 değerlerinin araştırıldığında farklılıklar olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte, üç çalışmada, Kİ'nin ünlü harf üretimi üzerinde olumlu bir etkisi göstermiştir ^{89,90,91}. Seifert ve arkadaşları, sonuçlarında 4 yaşından önce Kİ'li prelingual SNİK olan çocukların konuşmaları üzerinde daha iyi bir akustik kontrol elde ettiklerini, temel frekansları ile formant analizi sonrası kontrol grubu ile benzer sonuçların gelmesi ve artikülasyon becerilerini geliştirdiğini göstermişlerdir ⁶⁴.

Benzer şekilde çalışmamızda hastalarımızın 4 yaşından önce koklear implante olması çoğu formant frekans sonucunda /a/ F2, /i/ F1, /u/ F2'de gruplar arasında istatistiksel olarak benzer ve anlamsız olarak bulunmuştur ($p>0,05$). Bu sonuçlar normale yaklaştığını ve sonucunda artikülasyon becerilerini geliştirdiğini göstermektedir. Formant frekans analizinde /a/ F1, /u/ F1 ve /u/ F2'de ise gruplar arasında istatistiksel olarak farklı ve anlamlı çıkmıştır ($p<0,05$). Grup I ile Grup II arasında istatistiksel olarak farklı ve anlamlı çıkmıştır ($p<0,05$). Grup I ile kontrol grubu ise istatistiksel olarak benzer ve anlamsız olduğu görülmüştür ($p>0,05$). Bunun da Grup I'in oral

kavitedeki rezonansın ve artikülasyon becerilerinin gelişmesi, sonuçların kontrol grubuna benzer sonuçların olmasını ve Grup II'den istatistiksel olarak daha anlamlı olmasını açıklamaktadır ($p<0,05$).

Çalışmamızda bilateral, unilateral kullanıcılar ve kontrol grubu ile karşılaştırıldığında gruplarda; Unilateral ile kontrol grubu arasında /a/ ve /i/ F0, /u/ F1 ve /u/ F2 istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür ($p<0,05$). Bu sonuç unilateral Kİ'li hastaların daha az normale yaklaştığını göstermektedir. Onun dışındaki unilateral, bilateral ve kontrol gruplar karşılaştırıldığında tüm fonemlerde /a/, /u/ ve /i/ Jitter, Shimmer HNR, /u/ F0, /a/ ve /i/ formant F1 ve F2 istatistiksel olarak benzer ve anlamsız ($p>0,05$) çıkmasının sebebi de, unilateral Kİ'li hastaların uzun süreli koklear implante olması, bilateral Kİ'li çocukların ise iki taraflı koklear implante olmasına rağmen unilaterallere kıyasla daha az süreli implante olmasına bağlı olduğu düşünülmüştür.

Bu konu ile ilgili çalışmaların çoğunun işitme cihazı kullanıcıları ile yapıldığı ancak koklear implantın ses üzerine olan etkisi konusunda yeterli çalışmanın Türkiye'de bulunmadığı görülmüştür⁹⁰. Çalışmamızda Jitter, Shimmer ve HNR değerlerinin Kİ kullanan gruplarda kontrol grubuyla kıyaslayınca normal aralıkta bulunması, Kİ kullanımıyla ses parametrelerinin değişmediğini ve normal aralığa ulaşması için bu sürenin yeterli olduğunu düşündürmüştür ayrıca farklı sonuçları olan diğer çalışmalardan farklı olarak çalışmamıza katılan Kİ kullanıcı hastaların kullanım sürelerinin daha uzun olmasıyla ilgili olabileceğini düşündürmüştür. Türkiye'de koklear implant sonrası formant analizini değerlendiren tek bir çalışma olması formant analizinin de artikülasyon kalitesini değerlendirmede diğer akustik parametreleriyle implantasyon sonrası objektif değerlendirmede fayda sağlayabileceğini desteklemektedir.

Çalışmamızdaki prelingual SNİK olan pediyatrik hastalara 4 yaştan önce Kİ takılmış olması, bilateral olması, kullanım süresinin uzun süreli olması, Kİ kullanım sonrası formant frekans analizi ile değerlendirilmiş olması yönüyle Türkiye'de yapılan ilk çalışma olma özelliğini taşımaktadır. Literatürde, bilateral ve unilateral Kİ kullanım sonrası ses akustik analizini değerlendiren ve ses üzerindeki etkisini araştıran bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Özet olarak çalışmamızda, koklear implant sonrası prelingual işitme kaybı olan çocukların akustik analizi, ünlü harflerin artikülasyonu ve gelişimsel özellikleri tartışılmıştır. Koklear implantın özellikle ilk yıllarda takılması, bilateral olması, ailenin eğitim seviyesi, rehabilitasyonun devamlılığı ve düzenli yapılması ses kalitesinin iyileştirilmesinde ve artikülasyonun düzeltilmesinde önemli olabileceğini düşündürmüştür. Bu araştırma, koklear implantasyondan sonra prelingual işitme kaybı olan çocukların rehabilitasyona yönlendirmek için bir rehber olabilir. Ayrıca pediatrik grupta erken yaşta bilateral koklear implant kullanımının akustik analizden elde edilen bilginin eğitim ve terapi süreçlerinin yönetilmesinde olumlu katkılar sağlayabileceğini düşündürmüştür.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

1. Bu çalışma koklear implant takılma yaşının 4 yaşın altında olması ve özellikle 1 yaş altında olmasının ses akustik analizini iyileştirebileceği ve normal akranlarına yaklaştırabileceğini düşündürmektedir
2. İşitme kaybı olan pediatrik hastaların rehabilitasyonunu ve fonksiyonel sonuçlarını iyileştirmek amacıyla Kİ hastalarının klinik değerlendirmesi ve takip sürecinde objektif olarak ses akustik analizinin dahil edilmesinin faydası olabileceğini göstermiştir.
3. Koklear implanttan sonra prelingual işitme kaybı olan çocuklarda zaman içinde harflerin ses kontrolünü ve sabit olarak harf üretimini geliştirmiştir; koklear implant ile sürekli işitsel deneyim, çoğu ses parametresini normale yaklaştırdığı tespit edilmiştir.
4. Koklear implant kullanım süresi 10 yıl gibi uzun süre olan hastaların, 5 yıl koklear implant kullanan hastalar ile ses parametrelerinin aynı veya daha kötü olmasının sebebi ebeveynlerin hastaya verdiği ilgi, eğitim ve rehabilitasyonun eksikliği ile ilgili olabileceğini düşündürmektedir.
5. Kısa süreli bilateral koklear implant kullanımının uzun süreli kullanım ve normal işiten kontrol grubu ile akustik parametrelerde benzer sonuçların olması iyileşmeyi hızlı bir şekilde arttırdığını göstermektedir.
6. Çalışmamızın sonuçlarını etkileyen faktörlerden birisi bir grupta uzun süreli kullanım olmasına rağmen tek taraflı koklear implantlı olmalarının sapmalara neden olması, diğer grubun ise iki taraflı koklear implantlı olmasına rağmen daha kısa süreli kullanım olmasının benzerliğe neden olduğunu düşündürmektedir. Sürelerin eşit olduğu, grupların daha homojen planlandığı, koklear implantın etkisinin daha net ortaya konulduğu çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

7. KAYNAKLAR

1. **Albernaz, P. L. M.** History of cochlear implants. *Braz J Otorhinolaryngol* **2015**; 81: 124–125.
2. **Han, J. J. et al.** A Predictive Model for Cochlear Implant Outcome in Children with Cochlear Nerve Deficiency. *Sci Rep* **2019**; 9:1154.
3. **Davidson, L. S. et al.** Effects of early auditory deprivation on working memory and reasoning abilities in verbal and visuospatial domains for pediatric cochlear implant recipients. *Ear Hear* **2019**; 40:517–528.
4. **Lass, N. J.** *Speech and language : advances in basic research and practice*. 1th Ed., New York: by Acad Press **1980**.
5. **Joy, J. V., Deshpande, S. & Vaid, D. N.** Period for normalization of voice acoustic parameters in indian pediatric cochlear implantees. *J Voice* **2017**; 31:19-391.
6. **Jafari, N., Yadegari, F. & Jalaie, S.** Acoustic analysis of persian vowels in cochlear implant users: a comparison with hearing-impaired children using hearing aid and normal-hearing children. *J Voice* **2016**; 30:763.
7. **Paço, J., Branco, C., Estibeiro, H. & Oliveira e Carmo, D.** The posterosuperior quadrant of the tympanic membrane. *Otolaryngol* **2009**; 140:884–888.
8. **Aslan, A., Guclu, G., Tekdemir, I. & Elhan, A.** Anatomic limitations of posterior exposure of the sinus tympani. *Otolaryngol Head Neck Surg* **2004**; 131:457–460.
9. **Savić, D. & Djerić, D.** Anatomical variations and relations in the medial wall of the bony portion of the eustachian tube. *Acta Otolaryngol* **1985**; 99:551–556.
10. **Flint, P. W.** *Cummings otolaryngology head and neck surgery*. 3152 **2020**.
11. **Takagi, A., Sando, I. & Takahashi, H.** Computer-aided three-dimensional reconstruction and measurement of semicircular canals and their cristae in man. *Acta Otolaryngol* **1989**; 107, 362–365
12. **Spiegel, J. L. et al.** Variation of the cochlear anatomy and cochlea duct length: analysis with a new tablet-based software. *Eur Arch Otorhinolaryngol* **2022**; 279, 1851–1861
13. **Augustyn A.** Inner ear | Definition, Anatomy, Balance, & Facts | Britannica.
Erişim: ([İç kulak | Tanım, Anatomi, Denge ve Gerçekler | Britannica](#)) 2024.
Erişim tarihi: 08.01.2024
14. **Forge, A. & Wright, T.** The molecular architecture of the inner ear. *Br Med Bull* **2002**; 63, 5–24
15. **Joseph H.** Human ear structure, function, & parts.
Erişim: ([İnsan kulağı | Yapı, İşlev ve Parçalar | Britannica](#)) 2024.
Erişim tarihi: 02.01.2024

16. **Forge, A. & Wright, T.** The molecular architecture of the inner ear. *Br Med Bull* **2002**; 63, 5–24
17. **Esmer N., Akiner M., Karasalihoğlu A.** *Klinik Odyoloji*. 1. Baskı, Ankara: Bilim yayınevi, 1995.
18. **Esmer N., Akiner M., Karasalihoğlu A., Saatçi M.** *Klinik Odyoloji*. 1. Baskı, Ankara: Tercih kitapevi, 1995.
19. **Joseph H.** The-physiology of hearing.
Erişim: ([İnsan kulağı - İşitme, Anatomi, Fizyoloji | Britannica](#)) 2024.
Erişim tarihi: 02.01.2024
20. **Joseph H.** Auditory and Vestibular Systems.
Erişim: ([İşitsel ve Vestibüler Sistemler \(duyusal Sistem\) Bölüm 2 \(what-when-how.com\)](#))
21. **Laurent C., Swanepoel D.** Classification of hearing loss.
Erişim: ([\(PDF\) İşitme kaybının sınıflandırılması \(researchgate.net\)](#)) 2019.
22. **Olusanya, B. O., Davis, A. C. & Hoffman, H. J.** Hearing loss grades and the International classification of functioning, disability and health. *Bull World Health Organ* **2019**; 97, 725–728
23. **De Leenheer, E. M. R. et al.** Etiological diagnosis in the hearing impaired newborn: proposal of a flow chart. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* **2011**; 75, 27–32
24. **Chen, F., Ni, W., Li, W. & Li, H.** Cochlear Implantation and Rehabilitation. *Adv Exp Med Biol* **2019**; 1130, 129–144
25. **Volta, A. & Banks, J.** On the Electricity excited by the mere Contact of conducting Substances of different Kinds. *Philos Mag* **1800**; 7, 289–311
26. **Djourno, A. & Eyriés, C.** Auditory prosthesis by means of a distant electrical stimulation of the sensory nerve with the use of an indwelt coiling. *Presse Med* **1957**; 65(63):1417
27. **House, W. F. & Urban, J.** Long term results of electrode implantation and electronic stimulation of the cochlea in man. *Ann Otol Rhinol Laryngol* **1973**; 82, 504–517.
28. **Blair Simmons, F. et al.** Auditory nerve: electrical stimulation in man. *Science* **1965**; 148:104–106.
29. **Fretz RJ, Fravel RP.** Design and function: a physical and electrical description of the 3M House cochlear implant system. **1985**; 6:14-19.
30. **Hopkinson, N. T., Bilger, R. C. & Black, F. O.** Present audiologic status of subjects implanted with auditory prostheses. *Ann Otol Rhinol Laryngol* **1977**; 86:40–48.
31. **Gantz, B. J. et al.** Evaluation of five different cochlear implant designs: audiologic assessment and predictors of performance. *Laryngoscope* **1988**; 98:1100-1106.
32. **Clark, G., Cowan, R. S. C. & Dowell, R. C.** Cochlear implantation for infants and children : *advances* **1977**; 263.
33. **Colletti, V. et al.** Hearing restoration with auditory brainstem implant in three children with

- cochlear nerve aplasia. *Otol Neurotol* **2002**; 23:682–693.
34. Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü.
Erişim: ([Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü \(resmigazete.gov.tr\)](http://resmigazete.gov.tr)) 2016.
35. **Zimmerman, I. L., Steiner, V. G. ve Pond, R. E.** Preschool Language Scale-3.
Erişim: ([CLAS: PLS-3: Preschool Language Scale-3 \(illinois.edu\)](http://illinois.edu)) 2003.
36. **Nevins, M. E. & Chute, P. M.** *Children with cochlear implants in educational settings.* **1996**; 261.
37. **Lo, W. W.** Imaging of cochlear and auditory brain stem implantation. *Am J Neuroradiol* **1998**; 19.
38. **Rothschild, M. A., Wackym, P. A., Silvers, A. R. & Som, P. M.** Isolated primary unilateral stenosis of the internal auditory canal. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* **1999**; 50: 219–224.
39. **Kempf, H. G., Stover, T. & Lenarz, T.** Mastoiditis and acute otitis media in children with cochlear implants: recommendations for medical management. *Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl* **2000**; 185:25–27.
40. **Gstöttner, W., Pok, S. M., Peters, S., Kiefer, J. & Adunka, O.** Cochlear implantation with preservation of residual deep frequency hearing. *HNO* **2005**; 53:784–791.
41. **Loizou, P. C.** Introduction to cochlear implants. *IEEE Eng Med Biol Mag* **1999**; 18:32–42.
42. **Loizou, P. C.** Signal-processing techniques for cochlear implants. *IEEE Eng Med Biol Mag* **1999**; 18:34–46.
43. **Wilson, B. S., Dorman, M. F., Gifford, R. H. & McAlpine, D.** Cochlear implant design considerations. *Pediatr Cochlear Implant Learn Brain* **2016**; 3–23.
44. **House, W. F. & Berliner, K. I.** Safety and efficacy of the house/3M cochlear implant in profoundly deaf adults. *Otolaryngol Clin North Am* **1986**; 19:275–286.
45. **Jayakody D.** Hearing loss and cognition. 2018.
Erişim: ([Brain & Hearing Group - Ear Science Institute Australia](http://brainandhearinggroup.com)) 2022.
46. **Mangus, B., Rivas, A., Tsai, B. S., Haynes, D. S. & Roland, J. T.** Surgical techniques in cochlear implants. *Otolaryngol Clin North Am* **2012**; 45:69–80.
47. **Iseli, C., Adunka, O. F. & Buchman, C. A.** Scala tympani cochleostomy survey: a follow-up study. *Laryngoscope* **2014**; 124:1928–1931.
48. **Pau, H. W., Just, T., Bornitz, M., Lasurashvili, N. & Zahnert, T.** Noise exposure of the inner ear during drilling a cochleostomy for cochlear implantation. *Laryngoscope* **2007**; 117:535–540.
49. **James, C. et al.** Preservation of residual hearing with cochlear implantation: how and why. *Acta Otolaryngol* **2005**; 125:481–491.
50. **Skarzynski, H., Lorens, A., Piotrowska, A. & Anderson, I.** Partial deafness cochlear implantation in children. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* **2007**; 71:1407–1413.
51. **Sürmelioglu, Ö. et al.** Alternative Techniques in Cochlear Implantation. *J Int Adv Otol* **2016**; 12:109–112.

52. **Sun, C. H., Hsu, C. J., Chen, P. R. & Wu, H. P.** Residual hearing preservation after cochlear implantation via round window or cochleostomy approach. *Laryngoscope* **2015**; 125:1715–1719.
53. **Havenith, S. et al.** Hearing preservation surgery: cochleostomy or round window approach? A systematic review. *Otol Neurotol* **2013**; 34:667–674.
54. **Farinetti, A. et al.** Cochlear implant complications in 403 patients: comparative study of adults and children and review of the literature. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis* **2014**; 131:177–182.
55. **Akif K.,** Türkiye Türkçesindeki Sesbirimlerin Dışsal ve İçsel Alt Sesbirimleri: Katmanlı Ç. *J Turkish Stud* **2017**; 12:195–214.
56. **Kılıç, M. A.** Türkçenin Ünlü ve Ünsüzlerinin Akustik Özellikleri. *Türkiye Klin. Kulak Burun Boğaz - Özel Konular* **2022**; 15:50–55.
57. **Kılıç M. A,** Türkiye Türkçesi’ndeki ünlülerin sesbilgisel özellikleri, Özsoy S. et al. Studies in Turkish Linguistics. **2007**.
58. **Kılıç, M. A.** Ses Bozukluklarına Güncel Yaklaşım. **2003**: 3-18.
59. **Praat:** Doing Phonetics by Computer. Weenink D. Version 6.4.04, **2020**.
60. **Maturo, S. et al.** Establishment of a normative pediatric acoustic database. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* **2012**; 138:956–961.
61. **Hocevar-Boltezar, I., Boltezar, M. & Zargi, M.** The influence of cochlear implantation on vowel articulation. *Wien Klin Wochenschr* **2008**; 120:228–233.
62. **Sarica, S. et al.** Farklı Analiz Programları Kullanarak Sesin Frekans ve Perturbation Parametrelerinin Karşılaştırılması Comparing Voice Frequency and Perturbation Parameters Using Different Analysis Programs. *KBB ve BBC Derg* **2017**; 25:13–20.
63. **Johnson K.** *Acoustic and Auditory Phonetics*. 3th Ed., Wiley-Blackwell: **2011**.
64. **Seifert, E. et al.** Changes of voice and articulation in children with cochlear implants. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* **2002**; 66:115–123.
65. **Hocevar-Boltezar, I., Vatovec, J., Gros, A. & Zargi, M.** The influence of cochlear implantation on some voice parameters. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* **2005**; 69:1635–1640.
66. **Audacity** ® | Free, open source, cross-platform audio software for multi-track recording and editing. Versiyon 3.4.2
67. **SPSS Inc.** SPSS for Windows. Version 6.0, Chicago: SPSS Inc. **1993**.
68. **Medved, D. M. de S. et al.** Systematic Review of Auditory Perceptual and Acoustic Characteristics of the Voice of Cochlear Implant Adult Users. *J Voice* **2021**; 35:934.
69. **Guenther, F. H.** Cortical interactions underlying the production of speech sounds. *J Commun Disord* **2006**; 39:350–365.
70. **Hassan, S. M. et al.** The effect of cochlear implantation and post-operative rehabilitation on acoustic voice analysis in post-lingual hearing impaired adults. *Eur Arch Otorhinolaryngol* **2011**; 268:1437–1442.
71. **Møller, A. R.** History of cochlear implants and auditory brainstem implants. *Adv*

- Otorhinolaryngol* **2006**; 64:1–10.
72. **Frosolini, A. et al.** The music-related quality of life: Italian validation of musquav questionnaire and preliminary data from a cohort of postlingually deafened cochlear implant users. *Eur Arch Otorhinolaryngol* **2022**; 279: 4769–4778.
 73. **Purcell, P. L. et al.** Cochlear Implantation in Infants: Why and How. *Trends Hear* **2021**;5.
 74. **Olszewski, A. E., Shen, L. & Jiang, J. J.** Objective methods of sample selection in acoustic analysis of voice. *Ann Otol Rhinol Laryngol* **2011**; 120:155–161.
 75. **Coelho, A. C., Brasolotto, A. G. & Bevilacqua, M. C.** Systematic analysis of the benefits of cochlear implants on voice production. *J Soc Bras Fonoaudiol* **2012**; 24:395–402.
 76. **Knight, K., Ducasse, S., Coetzee, A., van der Linde, J. & Louw, A.** The effect of age of cochlear implantation on vocal characteristics in children. *South African J Commun Disord* **2016**; 63:1–6.
 77. **Valero Garcia, J., Rovira, J. M. V. & Sanvicens, L. G.** The influence of the auditory prosthesis type on deaf children's voice quality. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* **2010**; 74:843–848.
 78. **Szyfter W, Pruszeicz A, Woznica B, Swidzinski P, Szymiec E, Karlik M.** Çok kanallı koklear implantlı hastalarda sesin akustik analizi. *Rev Laryngol Otol Rhinol* **1996**; 117(3):225-7.
 79. **Perrin, E., Berger-Vachon, C., Topouzkhanian, A., Truy, E. & Morgon, A.** Evaluation of cochlear implanted children's voices. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* **1999**; 47:181–186.
 80. **Souza, L. B. R. de, Bevilacqua, M. C., Brasolotto, A. G. & Coelho, A. C.** Cochlear implanted children present vocal parameters within normal standards. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* **2012**; 76:1180–1183.
 81. **Monini S, Banci G, Barbara M, Argiro MT, Filippo R.** Clarion cochlear implant: short-term effects on voice parameters. *Am J Otol* **1997**; 18(6):719-25.
 82. **Hamzavi J, Deutsch W, Baumgartner WD, Denk DM, Adunka O, Gstöttner W.** Cochlear-implantation und auditive rückkopplung. *Wien Klin Wochenschr* **2000**; 2: 112(11):515-8.
 83. **Kirchner, J. C., Spitzer, J. B., Milner, P., Flevaris-Phillips, C. & Richardson, F.** Reacquisition of contrastive stress in an adventitiously deaf speaker using a single-channel cochlear implant. *J Acoust Soc Am* **1986**; 79:1967–1974.
 84. **Jafari, N. et al.** Objective Voice Analysis of Pediatric Cochlear Implant Recipients and Comparison With Hearing Aids Users and Hearing Controls. *J Voice* **2017**; 31:505.
 85. **Hocevar-Boltezar, I. et al.** Change of phonation control after cochlear implantation. *Otol Neurotol* **2006**; 27:499–503.
 86. **Higgins, M. B., McCleary, E. A. & Schulte, L.** Articulatory changes with short-term deactivation of the cochlear implants of two prelingually deafened children. *Ear Hear* **2001**; 22:29–45.
 87. **Campisi, P. et al.** Acoustic analysis of the voice in pediatric cochlear implant recipients: a longitudinal study. *Laryngoscope* **2005**; 115:1046–1050.

88. **Schenk, B. S., Baumgartner, W. D. & Hamzavi, J. S.** Changes in vowel quality after cochlear implantation. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec* **2003**; 65:184–188.
89. **Campisi, P., Low, A. J., Papsin, B. C., Mount, R. J. & Harrison, R. V.** Multidimensional voice program analysis in profoundly deaf children: quantifying frequency and amplitude control. *Percept Mot Skills* **2006**; 103:40–50.
90. **Evans, M. K. & Deliyski, D. D.** Acoustic voice analysis of prelingually deaf adults before and after cochlear implantation. *J Voice* **2007**; 21:669–682.

