

DERLEME REVIEW

DOI: 10.24179/kbbbbc.2021-81939

# Koklear İmplant Sistemlerinde Sinyal İşleme Stratejileri: Literatür Derlemesi

## Signal Processing Strategies in Cochlear Implant Systems: A Review of Literature

<sup>a</sup>Merve ÖZBAL BATUK<sup>a</sup>, <sup>b</sup>Erva DEĞİRMENCİ UZUN<sup>b</sup>, <sup>c</sup>Betül KOSKA<sup>c</sup>, <sup>d</sup>Merve ÖZSES<sup>d</sup>,  
<sup>e</sup>Öykü ÖZBAŞ<sup>e</sup>

<sup>a</sup>Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi, Odyoloji Bölümü, Ankara, TÜRKİYE

<sup>b</sup>İzmir Bakırçay Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi, Odyoloji Bölümü, İzmir, TÜRKİYE

<sup>c</sup>Hacettepe Üniversitesi Erişkin Hastanesi, Kulak Burun Boğaz Hastalıkları ABD, Odyoloji BD, Ankara, TÜRKİYE

<sup>d</sup>Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Odyoloji Bölümü, Ankara, TÜRKİYE

<sup>e</sup>Sağlık Bilimleri Üniversitesi Gülhane Sağlık Bilimleri Fakültesi, Odyoloji Bölümü, Ankara, TÜRKİYE

**ÖZET** Koklear implantlar, işitme kaybı olması durumunda ve konvansiyonel işitme cihazlarının yetersiz kaldığı durumlarda işitmenin rehabilitasyonu için kullanılmaktadır. Koklear implant teknolojileri hızlı bir şekilde gelişmektedir. Sinyal işleme ve konuşma kodlama stratejileri ise bu teknolojilerin gelişiminde başlıca ilgi duyulan konular arasında yer almaktadır. Koklear implant elektrotlarının sınırlı uyarımı göz önünde bulundurularak, kullanıcılarına mümkün olan en net ve en doğal sesi sunmayı amaçlayan çeşitli sinyal işleme stratejileri geliştirilmiştir. Bu derlemenin amacı, farklı firmalara ait konuşma işleme stratejileri detaylı bir şekilde incelemektir. Literatürde bu konuda yer alan bilgiler ışığında, farklı stratejilerinin konuşma algısı sonuçları üzerindeki etkilerinin değişkenlik göstermektedir. Koklear implant kullanıcılarında en iyi performansı elde etmek için ortak bir strateji belirlemek yerine, işitsel gelişim ve bireysel ihtiyaçlar göz önünde bulundurularak kişiye uygun bir strateji belirlemek, uygun programlama parametreleriyle kullanıcının gelişimini desteklemek ve konuşma algısı çıktılarını objektif test yöntemleriyle takip etmek büyük önem arz etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Koklear implant; işitme kaybı; strateji; sinyal işleme

**ABSTRACT** Cochlear implant systems are used for hearing re/habilitation in case of hearing loss and in cases where conventional hearing aids are insufficient. Cochlear implant technologies are developing rapidly. Signal processing and speech coding strategies are among the main topics of interest in the development of these technologies. Considering the limited stimulation of the cochlear implant electrodes; various signal processing strategies have been developed to provide users with the clearest and most natural sound possible. The aim of this literature review was to examine the speech processing strategies in cochlear implant systems. In light of the findings in the literature, the effects of different strategies on speech perception outcomes show great variability. Instead of establishing a common best-performing strategy for all users, selecting an individual strategy seems to be preferable for the best benefit.

**Keywords:** Cochlear implant; hearing loss; strategy; signal processing

Koklear implant (Kİ) teknolojileri hızlı bir şekilde gelişmektedir. Sinyal işleme ve konuşma kodlama stratejileri ise bu teknolojilerin gelişiminde başlıca ilgi duyulan konular arasında yer almaktadır. Gelişmeler yalnızca Kİ kullanıcılarının sessiz ve gürültülü ortamlarda konuşma algısını geliştirmeye çalışmakla kalmayıp, aynı zamanda müzik algısı ve tonal dillerde konuşma algısını geliştirmek için de ta-

sarlanmaktadır.<sup>1</sup> Kİ elektrotlarının sınırlı uyarımı göz önünde bulundurularak, Kİ kullanıcılarına mümkün olan en net ve en doğal sesi sunmayı amaçlayan çeşitli sinyal işleme stratejileri geliştirilmiştir.<sup>2</sup> Konuşma işleme stratejileri 3 farklı firmaya ait stratejiler üzerinde incelenmiştir. Farklı firmalara ait sinyal işleme stratejileri ve bu stratejilerin genel özellikleri **Tablo 1**'de sunulmuştur.

**Correspondence:** Merve ÖZBAL BATUK

Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi, Odyoloji Bölümü, Ankara, TÜRKİYE/TURKEY

**E-mail:** merveozbal@hotmail.com



Peer review under responsibility of Journal of Ear Nose Throat and Head Neck Surgery.

**Received:** 01 Feb 2021

**Received in revised form:** 11 Mar 2021

**Accepted:** 11 Mar 2021

**Available online:** 24 Mar 2021

1307-7384 / Copyright © 2021 Turkey Association of Society of Ear Nose Throat and Head Neck Surgery. Production and hosting by Türkiye Klinikleri.

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

**TABLO 1:** Koklear implant sistemlerinde yer alan sinyal işleme stratejileri.

	Cochlear	Med-El	Advanced bionics	Temel Özellikler
SPEAK	●			Sinyalin spektral analizine dayanır. Maksimum enerjiye sahip olan bantlar seçilir. Düşük uyarım hızına sahiptir.
CIS	●		●	Zarf temsili modeline dayanır. Ses sinyalinin temporal ince yapı bilgisi temsil edilmez. Sıralı veya kısmen eş zamanlı uyarım sağlanır.
CIS+		●		CIS'nin varyasyonudur. TFS ipuçlarını yakalamak için girdi sinyalinin daha doğru bir şekilde tahmin eder. Yüksek uyarım hızına sahiptir. Sıralı veya kısmen eş zamanlı uyarım sağlanır.
HDCIS		●		CIS+ ile benzerlik gösterir. Zarf temsili modeline dayanır. Sıralı veya kısmen eş zamanlı uyarım sağlanır.
ACE	●			Zarf temsili modeline dayanır. En yüksek enerjiye sahip olan bantlar uyarılır. Yüksek uyarım hızına sahiptir.
MP3000	●			ACE stratejisinin varyasyonudur. Bant seçimi yapılırken psikoakustik maskeleye modelini kullanır.
N-M		●		Gürültü olma olasılığı daha yüksek olan sinyalleri eleme amacıyla tasarlanmıştır.
FSP		●		Temporal ince yapı bilgisine dayanır. Bir ile 3 ince yapı kanalını kullanır.
FS4		●		Dört apikal kanalda temporal ince yapı bilgilerini iletir. Sıralı uyarım sağlar.
FS4-p		●		Temporal ince yapı bilgisini taşıyan 4 kanalının eş zamanlı uyarımına izin verir. Sinyalin ince yapısını daha hassas bir şekilde iletir.
MPS			●	CIS varyasyonudur. Kısmen eş zamanlı uyarım sağlar.
HiRes			●	Zarf temsili modeline dayanır. Temporal ince yapı ipuçları ve yüksek uyarım hızları ile akustik sinyali yüksek çözünürlükle sunar.
HiRes 120			●	Akım yönlendirmeyi kullanarak spektral çözünürlüğü artırmayı amaçlar.
HiRes Fidelity 120			●	Giriş sinyalini ve temporal-spektral bilgileri daha ayrıntılı analiz eder. Aktif akım yönlendirme ile akım oranını hassas bir şekilde değiştirir.
HiRes Optima			●	HiRes Fidelity 120 kullanıcılarında dinleme avantajından ödün vermeden pil ömrünü uzatmak için tasarlanmıştır.

ACE: Advanced combination encoders; CIS: Continuous interleaved sampling; FSP: Fine structure processing; HD-CIS: High definition-continued leave sampling; HiRes: High resolution; SPEAK: Spektral PEAK.

## COCHLEAR™ NUCLEUS KOKLEAR İMPLANT SİSTEMLERİ: SİNYAL İŞLEME STRATEJİLERİ

İlk çok kanallı Kİ cihazının piyasaya sürülmesinden bu yana 35 yıldan fazla zaman geçmiştir. Cochlear™ (Cochlear Limited, Sydney, Avustralya) Nucleus Kİ sistemleri; 1985 yılında çok ileri derecede işitme kaybı erişkin bireylerde, 1990 yılında ise çocuklarda

uygulanmak üzere Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi [Food and Drug Administration (FDA)] onayı alan ilk çok kanallı Kİ sistemidir.<sup>3</sup>

İlk zamanlarda Kİ'ler çoğunlukla analog olarak çalışmaktaydı ve ses işlemcileri sinyal amplitüdü, temel frekans, 1. ve 2. Formant gibi basit akustik parametreleri kodlayabilmekteydi.<sup>4</sup> Günümüzdeki Kİ işlemcileri, dijital sinyal işleme yapabildiği için Spektral PEAK

(SPEAK), Sürekli Aralıklı Örnekleme [Continuous Interleaved Sampling (CIS)], Gelişmiş Kombinasyon Kodlayıcı [Advanced Combination Encoders (ACE)] ve MP3000/Psikoakustik ACE (PACE) gibi gelişmiş işleme stratejileri uygulayabilmektedir.

### SPEKTRAL PEAK (SPEAK)

Cochlear™ firması, 1994 yılında vücuda takılan işlemcisi *Spectra* ile birlikte SPEAK stratejisini piyasaya çıkarmıştır.<sup>5</sup> SPEAK işleme stratejisi, sinyalin spektral analizine dayanmaktadır. Çok sayıda işleme bandı içermesine rağmen yavaş bir uyarım hızına sahiptir (250 *pulse per second*; pps). Gelen sinyal, öncelikle parçalara ayrılarak spektrumu hesaplanır. Sinyal daha sonra 20 bant geçiren filtreden oluşan filtre bankasından geçirilir. Her filtre bir intrakoklear elektroda, apikal elektrot ise 1. banda karşılık gelmektedir. Enerji hesaplama bloğu tarafından her bir bantta işlenen enerji sürekli olarak hesaplanır. Bant seçim bloğu tarafından maksimum enerjiye sahip olan bantlar (maksima) seçilir. Maksima 6-10 bant arasında değişebilmektedir. Seçilmeyen bantlardaki enerji uyarımda kullanılmamaktadır. Logaritmik kazanç fonksiyonu; akım amplitüdü ile işitsel algının gürlüğü arasındaki logaritmik ilişkiyi gerçekleştirir. Daha sonra bu bilgiler akım vuruşlarına çevrilerek, uyarım hızını tanımlar.<sup>4,6-8</sup> Böylece kokleanın tonotopik organizasyonuna uygun olarak frekansa karşılık gelen elektrotlar uyarılır.

### SÜREKLİ ARALIKLI ÖRNEKLEME (CONTINUOUS INTERLEAVED SAMPLING (CIS))

1997 yılında, CI24M ile birlikte SPrint adlı ses işlemcisinin piyasaya çıkarılmasıyla CIS ve ACE stratejileri de kullanılmaya başlanmıştır. İlk olarak, Wilson ve ark. tarafından 1991 yılında geliştirilen CIS stratejisi, yüksek uyarım hızı ile ses iletim bilgisinin daha iyi taşınacağı düşüncesine dayanmaktadır.<sup>9</sup> CIS stratejisi, SPEAK stratejisine benzer olmakla birlikte bazı farklılıklara sahiptir. CIS stratejisinde işleme bantlarının sayısı Nucleus Kİ sistemlerindeki elektrot sayısından daha az olup, kullanıcıya özel olarak belirlenebilmektedir. Nucleusta ortalama 800 pps veya daha üzeri uyarım hızı ile 4, 6, 8 veya 12 kanalda CIS uygulanabilmektedir.<sup>10</sup> Filtre bankasından sinyaller geçirildik-

ten sonra alçak frekans geçiren filtre (200-400 Hz *cut-off* frekansı ile) uygulanır. SPEAK ve ACE stratejilerinden farklı olarak tüm bantlar sıralı şekilde uyarılır. Uyarım hızı 600-1.800 pps arasındadır. Ayrıca giriş frekans spektrumunu bölmek için daha az kanal kullanması nedeniyle CIS stratejisinde filtre bankasının genişliği genelde daha büyüktür.<sup>4</sup> CIS stratejisi ile konuşmayı anlama skorlarının, SPEAK stratejisine daha yüksek olduğu bildirilmektedir.<sup>11</sup>

### GELİŞMİŞ KOMBİNASYON KODLAYICI (ADVANCED COMBINATION ENCODERS (ACE))

Vandali tarafından 2000 yılında tanımlanan ACE stratejisi, Nucleus 24 ve Freedom implantlar ile birlikte Cochlear™ marka Kİ sistemlerinde kullanılmaya başlanmıştır.<sup>12</sup> ACE, yüksek sayıda işleme bandı ile yüksek uyarım hızını birleştirir. Yüksek uyarım, analiz filtrelerinin amplitüd çıkışlarındaki geçici değişiklikleri daha iyi temsil edebilmektedir. ACE stratejisinin filtre bankasında 22 bant-geçiren filtre kullanılır. Her bant için sinyalin zarf bilgisi çıkarılır ve SPEAK stratejisine benzer olarak en yüksek enerjiye sahip olan 8-10 frekans bandı uyarılır. ACE stratejisinde 3.500 pps'e varan yüksek uyarım hızı seçilebilmektedir.<sup>13</sup>

### MP3000/PSİKOAKUSTİK GELİŞMİŞ KOMBİNASYON KODLAYICI (PSYCHOACOUSTIC ADVANCED COMBINATION ENCODER (PACE))

Nogueria ve ark., 2005 yılında ACE stratejisinin varyasyonu olan PACE diğer bir adıyla MP3000 stratejisini geliştirmiştir.<sup>14</sup> Bu stratejide bant seçimi yapılırken, psikoakustik maskeleme modeli kullanılmaktadır. Filtre bankasına 16 kHz'de örneklenen dijital bir sinyal gönderilir. Filtre bankasında hızlı Fourier dönüşümü kullanılır. Diğer stratejilerde maksimum enerjiye sahip bantlar seçilirken, MP3000 stratejisinde psikoakustik maskeleme modeline dayanarak, her bir spektral banttaki ses sinyalinin zarfı tahmin edilmektedir. Psikoakustik maskelemede amplitüdlere tahmini maskeleme eşliğinden en fazla sapan sinyaller seçilir. Tahmini maskeleme eşliğinden daha düşük amplitüde sahip sinyallerin işitilebilir olmadığından işlemde çıkartılabileceği temeline dayanır. Bu şekilde işleme

algısı açısından en çok öneme sahip olan bantlar tercih edilir.<sup>13</sup>

## COCHLEAR™ NUCLEUS İMLANT SİSTEMLERİNDE KULLANILAN STRATEJİLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Manrique ve ark., prelinguistik dönemde çok ileri derecede işitme kaybı gelişen ve tek taraflı Nucleus implant ile uzun dönem ACE ve SPEAK stratejilerini kullanan çocuklarda konuşma anlama becerilerinin karşılaştırmışlardır.<sup>8</sup> Bu çalışmada, ACE stratejisini kullanan çocukların konuşmayı anlama skorlarında başlangıçta daha hızlı bir iyileşme gözlenirken, postoperatif 2. yıldan sonra yapılan açık uçlu konuşmayı anlama testlerinde 2 stratejiyi kullanan katılımcıların skorları birbirine benzer bulunmuştur. Pasanisi ve ark., SPEAK stratejisini kullanan 9 Kİ kullanıcısında işleme stratejisini ACE olarak değiştirdikleri çalışmalarında strateji değişimi öncesi ve sonrasında yapılan açık uçlu kelime ve cümle tanıma testlerinin sonuçlarını karşılaştırmışlardır.<sup>15</sup> ACE stratejisiyle özellikle gürültülü ortamda daha iyi sonuçlar elde ettiklerini vurgulamışlardır. Beynon ve ark., erişkin Kİ kullanıcılarıyla yaptıkları bir çalışmada, ACE stratejisiyle konuşmayı tanıma skorlarının, SPEAK stratejisiyle elde edilen skarlardan daha iyi olduğunu bildirmişlerdir.<sup>16</sup>

Kİ kullanıcılarında SPEAK, ACE ve CIS stratejileriyle cümle tanıma becerilerinin değerlendirildiği başka bir çalışmada, en az 3 aydır SPEAK stratejisini kullanan bireyler daha sonra ACE ve CIS stratejilerine geçiş yapmıştır. Altı haftalık deneme sürecinin ardından cümle tanıma becerileri tekrar değerlendirilmiştir. Tüm bireyler, ACE stratejisiyle daha yüksek cümle tanıma becerisi ortaya koymuştur (SPEAK ile %65, CIS ile %75,5 ve ACE ile %82,8).<sup>17</sup> Kiefer ve ark. SPEAK, CIS ve ACE stratejileri arasında Kİ kullanıcılarının, ACE stratejisiyle daha iyi konuşmayı tanıma skorlarına sahip olduğunu ve 10 kullanıcının ACE stratejisini kullanmaya devam etmek istediğini göstermiştir.<sup>18</sup>

Postlingual işitme kayıplı yetişkin implant kullanıcılarına (n=10) sessiz ve gürültülü ortamda konuşmayı anlama testleri uygulanarak kullanılan

konuşma işleme stratejilerinin (8 maksima ACE, 8 kanal MP3000 ve 4 kanal MP3000) karşılaştırdığı bir çalışmada, MP3000 ile sessiz ve gürültülü ortamda konuşmayı anlama skorları ACE stratejisine göre daha yüksek elde edilmiştir. MP3000 kullanıcıları arasında 4 kanal ve 8 kanal kullanımına göre konuşmayı anlama skorlarında anlamlı bir değişiklik görülmemiştir.<sup>19</sup>

## COCHLEAR™ NUCLEUS İMLANT SİSTEMLERİNDE KULLANILAN UYARIM HIZLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Çalışmalarda uyarım hızı ile konuşmayı anlama becerisi arasındaki ilişki araştırılmıştır. Loizou ve ark., 6 kanalda CIS stratejisini kullanarak 2.100 pps uyarım hızı ile 800 pps'den daha düşük uyarım hızlarını karşılaştırdıklarında, kelime ayırt etme skorlarının yüksek uyarım hızında anlamlı olarak yüksek olduğunu bildirmişlerdir.<sup>20</sup> Friesen ve ark., CIS stratejisi ile 4-16 kanalda 200-5.000 pps ve daha yüksek uyarım hızlarında kelime ve cümle ayırt etme becerilerini değerlendirmişlerdir.<sup>21</sup> Dört yüz pps'e kadar olan hızlarda kelime ve cümle ayırt etme becerilerinde artış gözlenirken, 400 pps'in üzerindeki hızlarda değişiklik olmadığını belirtmişlerdir. Büchner ve ark., 8 kanalda 883 pps uyarım hızı ile 16 kanalda 2.900 pps uyarım hızını karşılaştırdıkları retrospektif çalışmalarında, özellikle gürültülü ortamda konuşmayı anlama performansının yüksek uyarım hızlarında daha iyi olduğunu bulmuştur.<sup>22</sup>

Plant ve ark. ACE stratejisi kullanan bireylerde 1.200, 2.400 ve 3.500 pps uyarım hızlarını kullanarak yaptıkları bir çalışmada, bazı kullanıcıların 1.200 pps ile daha iyi performans gösterdiğini, bazılarının ise 3.500 pps ile daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmiştir.<sup>10</sup> Çalışma sonunda ise 1.200 pps ve 3.500 pps uyarım hızları arasında anlamlı bir farklılık bulunamamıştır. Weber ve ark. 500, 1.200 ve 3.500 pps uyarım hızlarında ACE stratejisini kullanarak, uyarım hızının sessiz ortamda kelimeyi anlama ve gürültülü ortamda cümle tanıma testlerine etkisi olmadığını göstermiştir.<sup>23</sup>

Sonuç olarak, CIS stratejisinde uyarım hızı belirli bir seviyeye kadar artırıldığında konuşmayı anlama becerilerinde artış gözlenirken, ACE

stratejisinde uyarım hızının artırılmasının konuşmayı anlama becerilerinde iyileşme sağlamadığı söylenebilir.

## MED-EL KOKLEAR İMPLANT SİSTEMLERİ: SİNYAL İŞLEMLEME STRATEJİLERİ

“Medical Electronics Corporation (Med-EL, Innsbruck, Avusturya)”, işitme kaybı alanında araştırma yapan ve implante edilebilir işitme sistemleri geliştiren ve üreten küresel bir teknoloji şirkettir.<sup>24</sup> Ağustos 2001 yılında FDA tarafından onaylanarak, FDA onaylı 3. Kİ sistemi olan Combi 40+ Kİ Med-EL tarafından geliştirilmiştir.<sup>25</sup> Med-EL Kİ sistemleri 12 kanallı cihazlar olup, monopolar stimülasyon kullanan farklı uyarım hızlarında çalışabilen sistemlerdir.<sup>26</sup> Med-EL Kİ sistemlerinde farklı birçok sinyal işleme stratejileri (CIS, CIS+, *High Defination-Contiued Leave Sampling* (HD-CIS), n-m) kullanılmıştır. Günümüzde temporal ince yapı bilgisini [Temporal Fine Structure (TFS)] kullanan İnce Yapı İşleme [Fine Structure Processing (FSP)], FS4, FS4-p gibi stratejiler tercih edilmektedir.

### CONTINUOUS INTERLEAVED SAMPLING, CONTINUOUS INTERLEAVED SAMPLING PLUS, HIGH DEFINATION-CONTINUOUS INTERLEAVED SAMPLING

CIS+ stratejisi CIS'nin yakın bir varyasyonudur. TEMPO+ kulak arkası konuşma işlemcisinde ve COMBI 40+ elektrot dizisinde bulunan bir kodlama stratejisidir.<sup>9</sup> CIS+, bant geçişli her kanalda zarf sinyalleri üretmek için doğrultucu ve alçak geçişli filtre yerine Hilbert dönüşümü kullanmaktadır.<sup>27</sup> Hilbert dönüşümünün kullanılması, TFS ipuçlarını yakalamak için girdi sinyalinin daha doğru bir şekilde tahmin edilmesine izin vermeyi amaçlamaktadır.<sup>28</sup> TEMPO+ işlemcide uygulandığı şekliyle CIS+ stratejisi, maksimum 18,180 pps uyarım hızını kullanmaktadır. CIS+'ın, konuşma ve müzik algısı açısından CIS'den daha yararlı olduğu düşünülmüştür.<sup>29</sup> CIS+ stratejisi eşik (*threshold*; T seviyesi), hiçbir işitsel uyarının algılanmadığı en yüksek uyarım seviyesi olarak tanımlar ve bu durum hastanın sessiz ortam içinde bile olsa T seviyesindeki uyarıyı duymamasına sebep olmaktadır.<sup>30</sup> T seviyesi değerlendirilmesi, normal şartlarda her aktif kanalda yapılmalıdır. Bipolar uyarım modlarını kullanan cihazlarda, T seviyeleri bir kanaldan diğerine önemli ölçüde fark-

lılık gösterebilmektedir. Günümüzde cihazlarda monopolar uyarım kullanılmaktadır. Monopolar uyarım modunda uyarın seviyeleri elektrot dizisi içerisinde oldukça tutarlı elde edilmektedir.<sup>31,32</sup>

HD-CIS stratejisi yaklaşım olarak CIS+ stratejisiyle benzerlik göstermektedir. OPUS 1 ve OPUS 2 (Med-EL, Innsbruck, Austria) ses işlemcilerinde kullanılan bir stratejidir.<sup>33</sup> Tıpkı CIS+ gibi HD-CIS'de belirli bir frekans aralığındaki ses sinyali zarfının sabit hız kullanılarak örneklendiği zarf tabanlı bir stratejidir. Böylece frekans sadece yer ipucu kullanılarak, diğer bir deyişle sadece kokleadaki uyarılmış elektrot temasının yeri aracılığıyla sunulmaktadır. Esas olarak temel frekansı ileten CIS benzeri stratejilerde, normal zarf modülasyonlarının ötesinde, ses sinyalinin temporal ince yapı bilgisi temsil edilmez.<sup>34</sup>

PULSAR CI100 veya SONATATI100 implantlarda HD-CIS ve CIS+ arasındaki temel fark, HD-CIS'nin 50.000'e kadar uyarım hızlarına izin vermesidir.<sup>33</sup> HD-CIS, TEMPO konuşma işlemcisinde CIS stratejisine eş değer çalışmaktadır.<sup>34</sup> COMBI 40+'da kullanıldığında, bu implant ile maksimum oranın tasarım gereği 18,180 pps olması nedeniyle 2 strateji temelde aynıdır. HD-CIS'de, CIS stratejisinin uygulanacağı daha geniş bir frekans aralığı sunulmuştur. Bununla birlikte, filtre tasarımında HD-CIS ve CIS+ arasında küçük farklar vardır.<sup>33</sup>

İlginç bir şekilde, CIS+ ve HD-CIS'de kullanılan analiz bantlarını (kanalları) oluşturmak için kullanılan Hilbert dönüşümü, kanallar arasında çakışan filtre bantları oluşturur. Sonuç olarak, 2 komşu kanal sırayla uyarıldığında (elektrik uyarımlar birbirlerine çok yakında olduğunda), uyarım 2 kanalın merkez frekansı arasında bir yerde meydana gelir ve ara perde algılarını oluşturur. Uyarımın yeri, girdi sinyalinin frekansına ve komşu analiz bantlarını oluşturan frekanslarla olan ilişkisine bağlıdır. Ara perde algısı oluşturmadaki bu yaklaşım, daha iyi spektral çözünürlük sağlamak amacıyla kullanılır ve tüm elektrotları aktif olan bir hastada, elektrot dizisi boyunca 250 farklı spektrum bandı oluşturmaktadır.<sup>28</sup> Algılayan kişinin, elektriksel uyarıya yanıt verirken çevresel işitme sisteminin spektral çözünürlüğünün azalması nedeniyle 250 farklı aralık duyması mümkün olmamaktadır. Alıcı tarafından algılanan farklı perde sa-



yısı, koklear sinirin durumu, kokleadaki elektrik akımının yayılması ve benzeri gibi birçok çeşitli faktöre bağlıdır.<sup>28</sup>

## N-M STRATEJİSİ

“N of m” ya da “n-m” olarak adlandırılan strateji, gürültü olma olasılığı daha yüksek olan genlikteki nispeten düşük dalgalanmaları eleyerek, konuşma sinyalinde bulunan önemli bileşenleri yakalamak için tasarlanmıştır.<sup>28</sup> Bu stratejide, sinyal m frekans bandına filtrelenir ve işlemci m zarf çıkışından en büyük enerjiye sahip olan n zarf çıkışlarını seçer ( $m > n$ ).<sup>35</sup>

CIS tipi stratejilerin tümündeki ortak payda tüm aktif elektrot kontaklarının, her bir uyarım döngüsü için (sıralı veya kısmen eş zamanlı olarak) uyarılmasıdır. N-of-m sinyal kodlama stratejisi ise farklı bir yaklaşım kullanmaktadır. Belirli bir girdi için “m” kanallarının her birinde bulunan akustik enerji belirlenir ve uyarım sadece en yüksek genliğe sahip “n” sayıdaki kanala uygulanır.<sup>28</sup> Her döngüde yalnızca seçilen “n” çıktılarına karşılık gelen intrakoklear elektrotlar uyarılır.<sup>16</sup> Örneğin 8’den 4’e kadar olan bir stratejide uyarım için her döngüde maksimum 8 kanal çıkışından, sadece en büyük genliğe sahip 4 kanal çıkışı seçilir.<sup>35</sup> Her döngü sırasında aktif elektrot sayısındaki azalma; daha fazla uyarım hızına, kanal etkileşimine, maskelemenin azalmasına ve pil ömründe artışa izin verir.<sup>28</sup>

## FİNE STRUCTURE PROCESSING (FSP), FS4 VE FS4-P

Kİ teknolojilerindeki gelişmelere rağmen arka plan gürültüsünde konuşma algısı ve müzik dinleme, bazı Kİ kullanıcılarında rahatsız edici olabilmektedir. Bu durumdan, sinyalin ince yapısının yetersiz algısının sorumlu olabileceği düşünülmektedir.<sup>2</sup> Gelen ses sinyallerinin zarf temsili CIS, High Resolution (HiRes) ve ACE gibi birçok stratejide ortak olarak bulunmaktadır.<sup>9,18,36</sup> Akustik sinyal, yüksek frekanslı bir taşıyıcıyı modüle eden bir zarf fonksiyonuna ayrılabilir.<sup>37</sup> Bu taşıyıcı fonksiyonun frekansındaki değişikliklere, sinyalin temporal ince yapısı adı verilir. Smith ve ark., perde algısı ve ses lokalizasyonunda ince yapının önemini göstermişlerdir.<sup>38</sup> Bunun yanı sıra ince yapı tonal dilde konuşma algısı ve müzikal tını algısı için de önem taşımaktadır.<sup>2,39</sup> Tüm bunlar göz önünde tutulduğunda, araştırmacılar ve implant üreticileri temporal ince yapı

bilgisini Kİ kullanıcılarına entegre etmek için çaba göstermeye başlamışlardır. Med-EL (Innsbruck, Avusturya) 2006 yılında temporal ince yapı bilgisini temel alan piyasadaki ilk kodlama stratejisi olan FSP’yi piyasaya sürmüştür.<sup>40</sup> Bu kodlama stratejisi, alçak frekanslardaki ince perde ayırt edilmesini, temporal ipuçlarını iyileştirmek için zarf gösterimini (HD-CIS) ve alçak frekans temporal bilgilerini kullanır.<sup>34</sup> Bu stratejide uyarım pulselerinin zamanı apikaldeki alçak frekans kanallarında yer alan bant geçiren filtre çıktılarına göre sıralanır. Böylece, temporal ince yapı bilgisi alçak frekanslarda iletilmektedir.<sup>40</sup>

Uyarım hızına bağlı olarak, FSP’deki temporal ince yapının sunumu genellikle 1 veya 2 apikal elektrot ile sınırlıdır. Med-EL Kİ sistemlerinde bu sınırlamanın üstesinden gelmek için temporal ince yapı bilgisi aralığı yaklaşık 950 Hz’ye kadar apikal 4 kanala genişleten FS4 ve FS4-p adlı 2 yeni kodlama stratejisi geliştirilmiştir. FS4 sıralı uyarım sağlarken, FS4-p temporal ince yapı bilgisini taşıyan 4 kanalının eş zamanlı uyarımına izin vermektedir. FSP, FS4 ve FS4-p olarak adlandırılan bu 3 kodlama stratejisi, temporal ince yapı bilgisi taşıyan kanallarının sayısı ve dolayısıyla temporal ince yapı uyarımıyla sağlanan frekans aralığında farklılık göstermektedir.<sup>40</sup>

FSP işleme stratejisinde, Kİ kullanıcılarının bireysel uyarım hızına bağlı olarak 1 ile 3 ince yapı kanalının kullanılması mümkündür. Böylece, tek bir kanal için 70-198 Hz ve 3 kanal için ise 70-492 Hz frekans aralığı kapsamaktadır.<sup>39</sup> FS4 işleme stratejisinde ise üst frekans sınırının 950 Hz’den daha düşük bir değere ayarlandığı ilk kanallar, ince yapı kanalları olarak kullanılır. Bu durum, varsayılan filtre bankası yapılandırması ile 4 ince yapı kanalıyla sonuçlanır. Kanalların devre dışı bırakılması, genellikle aktif kanalların spektral olarak genişlemesine yol açtığından, varsayılan filtre bankası yapılandırmasında eğer aktif kanal sayısı 10’dan az ise ince yapı kanallarının sayısı 3’e düşürülür. FSP’ye benzer şekilde, ancak daha yüksek bir örnekleme hızında, ince yapı kanalları bant geçişli sinyallere karşılık gelen sıfır geçişler için analiz edilir. Böylece temporal çözünürlük, 950 Hz’ye kadar olan frekansların ince yapı bilgilerinin doğru bir temsili için 6.000 pps’lik bir zaman çizelgesine geliştirilebilir. Birden fazla ince yapı kanalında eş zamanlı olarak sıfır geçiş

meydana geldiğinde, uyarım için yalnızca daha yüksek amplitüde sahip olan kanal seçilir. Bu nedenle ince yapı kanallarında önceden tanımlanmış bir uyarım hızı sağlanamamaktadır. Gerçek uyarım hızı, bant geçişli sinyale karşılık gelen sıfır geçişine bağlıdır. Özetle CIS stratejisinde zarf fonksiyonuna göre sabit bir uyarım hızı mevcutken, FSP stratejisinde uyarım hızı bant geçişlerindeki sıfır geçişine bağlı olarak değişmektedir.<sup>40</sup>

FS4-p’de ince yapı kanallarının sayısı ve ince yapı uyarımıyla sağlanan frekans aralığı FS4’e eşittir. FS4-p’deki “p”, “paralel” anlamına gelmektedir. Bu nedenle uyarım pulse paternlerinin geçici olarak çıkışması durumunda 2 taneye kadar ince yapı kanalı aynı anda uyarılır. Böylece sinyalin ince yapısı daha hassas bir şekilde iletilebilmektedir. Yani ince yapı kanallarındaki neredeyse tüm sıfır geçişler, ilgili elektrodun senkronize uyarımına sebep olmaktadır. Skala timpanide yer alan yüksek iletkenlikteki sıvılara bağlı olarak eş zamanlı uyarımda elektriksel sumasyon potansiyeli, uzaysal potansiyel dağılımların üssel bir modeli baz alınarak telafi edilir. Böylece; eş zamanlı uyarıma rağmen uyarın amplitüdü ardışık uyarım ile ortaya çıkacak tepe noktalarıyla eşleşecek şekilde azaltılır.<sup>41</sup>

İnce yapı kodlama stratejisi FS4, 4 apikal kanalda ince yapı bilgilerini iletmek için tasarlanmıştır. 2010 yılında piyasaya sürülen FS4’ün ilk versiyonunda, kalan kanallardaki uyarım hızları 4 apikal kanaldaki temporal bilgilerin maskelenmesini azaltmak için her bir kanalda saniye başına atım sayısı 750 pps’ye düşürülmüştür. Geri kalan kanallarda daha yüksek uyarım (1.600 pps/kanal) hızlarına sahip FS4, daha sonra programlama yazılımı güncellendiğinde kullanılabilir hâle gelerek *default* programlama parametresi olarak kabul edilmiştir.<sup>41</sup>

## MED-EL KOKLEAR İMPLANT SİSTEMLERİNDE KULLANILAN İŞLEMLEME STRATEJİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Riss ve ark.nın yaptıkları bir çalışmada, 4 aylık deneyimin ardından her bir kodlama stratejisi ile FSP, FS4 ve FS4-p karşılaştırılmıştır.<sup>40</sup> Stratejilere göre gürültüde cümle testi, sessiz ortamda tek heceli kelime test ve subjektif ses kalitesi değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonunda kullanıcı tarafından tercih edilen stratejiler not

edilmiştir. Bireyler arasında yüksek derecede değişiklik gösteren stratejilerle gürültüde konuşma algısı puanları benzer sonuçlar göstermesine rağmen sessiz ortamda tek heceli kelime testi sonuçlarında en iyi performans sergilenen stratejiler sırasıyla; FSP, FS4 ve FS4-p olarak tespit edilmiştir. Kullanıcılar, FSP’den düşük uyarım hızlı FS4 stratejisine geçtiklerinde genellikle “çok donuk” veya “çok düşük perdeli” olarak tanımlama yapmışlardır. Çalışmanın sonunda ise katılımcıların çoğunun tercihi (33 kişiden 20’si) FSP stratejisi yerine, 4 ince yapı kanalına sahip FS4 veya FS4-p stratejileri olmuştur.

Müller ve ark., FSP ve FS4 stratejilerini karşılaştırdıkları bir çalışmada, erişkin katılımcıları 2 gruba ayırmışlardır.<sup>43</sup> Bir grup ilk 6 haftalık periyotta FSP kullanmaya devam ederken, diğer grup FS4 stratejisine yükseltilmiştir. İkinci 6 haftalık periyotta her 2 grubun da kodlama stratejileri değiştirilerek, konuşma algısı testleri yapılmıştır. Katılımcılar her periyodun sonunda konuşma, mekânsal ve ses kalitesi ölçekleriyle tercih testlerini tamamlamışlardır. Konuşma algısı sonuçlarında sessizlikte ve gürültüde anlamlı bir fark elde edilmemiştir. Katılımcıların konuşma, mekânsal ve ses kalitesi öz değerlendirme sonuçlarında ise 2 kodlama stratejisinin işitme algısı üzerinde benzer etkilere sahip olduğu görülmüştür. Her 2 strateji için net bir tercih bulunamamıştır.

Uzun dönem Kİ kullanıcılarında önceden kullanılan CIS stratejisi ve FSP stratejisinin karşılaştırıldığı çalışmalarda, erişkinlerde ve çocuklarda sessiz ortamda ve gürültüde FSP stratejisine geçildiğinde konuşma algısı skorlarında iyileşme olduğu saptanmıştır.<sup>34,44,45</sup> Konuşma işlemcisinin daha yeni teknoloji bir modelle değiştiği bu çalışmalarda, *cut-off* frekansı 250’den 70’e veya 100’e değiştirilerek, frekans bant genişliği genişletilmiştir. Telefondaki konuşma algısı üzerine yapılmış çift-kör bir çalışmada ise FSP ile belirgin bir iyileşme gözlenmiştir.<sup>46</sup> İnce yapının, gürültüde konuşma algısı üzerinde uzun dönemde faydaları Vermeire ve ark. tarafından raporlanmıştır.<sup>47</sup> Bu çalışmalarda, FSP stratejisinin uyarım parametreleri standart klinik prosedüre sahip bireysel katılımcılara uyarlanmıştır.

Magnusson tarafından bildirilen bir çalışmada, konuşmayı anlama performansında FSP ve CIS stra-

tejileri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır.<sup>26</sup> Riss ve ark., FSP ve CIS'yi karşılaştırdıkları 2 çalışmada da performans sonuçları arasında anlamlı bir farklılık belirtmemişlerdir.<sup>48,49</sup> Bu çalışmalarda katılımcılar arasındaki değişkenliklerin oldukça yüksek olduğu vurgulanmıştır. Dillon ve ark., HD-CIS ve FSP stratejilerinin gürültüde ve sessizlikte konuşma algısı üzerine etkilerini karşılaştırdıkları bir çalışmada, 6 aylık kullanım sonrasında konuşma algısı performansında önemli ölçüde bir farklılık olmadığı göstermişlerdir.<sup>50</sup> Kodlama stratejilerinin etkilerini değerlendiren bu çalışmalarda, frekans filtre atamaları ve elektrot yerleşim derinliği gibi değişkenlerin kontrol edilmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Koklear kullanıcılarıyla yapılan araştırmalara göre CIS stratejilerine kıyasla n-of-m stratejisiyle daha iyi sonuçlar elde ettiklerini göstermektedir.<sup>18,51</sup> N-of-m stratejisi, Nucleus Spectra 22 işlemcide kullanılan SPEAK stratejisine çok benzemektedir. Temel fark, seçilen kanalların oldukça yüksek bir hızda uyarılmasıdır.<sup>34</sup> N-of-m yaklaşımlarının potansiyel limitasyonu, bazı kanallarda istenen bilginin seçilmek için gerekli genliğe sahip olmaması olabilir. Bunun sonucu olarak, kullanıcı bu akustik bilgiye erişemeyecektir.<sup>28</sup>

## MED-EL KOKLEAR İMPLANT SİSTEMLERİNDE UYARAN HIZININ KARŞILAŞTIRILMASI

Landsberger ve ark. tek elektrot uyarım paterninin bazal uyarım bölgeleri yerine kokleanın apikal bölgesine uygulandığında, sesin düşük hızlarda daha temiz ve az gürültülü olduğunu, uyarım hızının ve yerinin perde algısını belirlediğini göstermişlerdir.<sup>52</sup> FS4 kodlama stratejisinde, uyarım hızı ve yeri kokleanın apeksinde giriş sinyalinin ince yapısından sağlanan düşük hızlı darbe paternleriyle sunulurken, bazaldaki uyarım paternleri daha yüksek bir hızla sahiptir. Bazal kanallardaki bu hız 750 pps'ye veya programlama parametrelerine bağlı olarak 1.600 pps'ye kadar ayarlanabilmektedir. Maksimum performans için uyarım hızının ve yerinin eşleşmesi gerekmektedir.<sup>52</sup> Bu nedenle hız ayarları arasındaki fark sadece perde algısını değil, aynı zamanda sinyallerin nasıl doğal algılandığını da etkilemektedir.

## ADVANCED BİONİCS (AB) KOKLEAR İMPLANT SİSTEMLERİ: SİNYAL İŞLEME STRATEJİLERİ

“Advanced Bionics (AB)” Kİ sistemi, Clarion cihazının (Advanced Bionics Corporation, Valencia, CA, USA) piyasaya sürülmesinden bu yana birkaç yıl içinde gelişmiştir. İlk AB Kİ sistemi Mart 1991 tarihinde implante edilmiştir. FDA tarafından Mart 1996 tarihinde erişkinler için Clarion 1.0 (Advanced Bionics Corporation, Valencia, CA, USA) ve Haziran 1997 tarihinde çocuklar için Clarion 1.2 (Advanced Bionics Corporation, Valencia, CA, USA) adlı implant sistemi ABD’de ticari dağıtım için onaylanmıştır. AB Kİ sistemleri 3 farklı sinyal işleme stratejisi sağlamaktadır: CIS, Eş Zamanlı Analog Stimülasyon [*The Simultaneous Analog Stimulation* (SAS)] ve Çoklu Pulsatil Örnekleyici [*Multiple Pulsatile Sampler* (MPS)].<sup>53</sup>

### SÜREKLİ ARALIKLI ÖRNEKLEME (CONTINUOUS INTERLEAVED SAMPLING (CIS), ÇOKLU PULSATİL ÖRNEKLEYİCİ (MULTIPLE PULSATILE SAMPLER (MPS))

AB Kİ sistemleri, MPS olarak bilinen bir CIS varyasyonu sunar. MPS’de kısmen eş zamanlı, özellikle de birbirinden uzak 2 elektrotun aynı anda uyarımı sağlanır (Örneğin elektrot 1 ve 5; sonra 2 ve 6; sonra 3 ve 7; sonra 4 ve 8 vb.). Bu yaklaşım, teorik olarak TFS ipuçlarının sağlanması için gerekli uyarım hızının 2 katına izin vermektedir (örneğin uyarım hızı yaklaşık 800 pps’den yaklaşık 1.600 pps’ye yükselmektedir).<sup>54</sup>

Wilson ve ark., MPS tarafından sağlanan kısmi eş zamanlı uyarımın, eş zamanlı olarak uyarılan kanallar arasındaki etkileşimi arttırdığını ve bunu daha yüksek bir uyarım hızı ile elde ederken performansı düşürebileceğini ifade etmiştir.<sup>55</sup> Louzoi ve ark., CIS (800 pps uyarım hızı) ile MPS (1.600 pps uyarım hızı) sinyal işleme stratejisi arasında geçiş yapan 9 kullanıcı için elde edilen konuşmayı ayırt etme skorlarını karşılaştırmıştır.<sup>56</sup> Dokuz kişiden 4’ü, 2 sinyal işleme stratejisiyle performanslarında hiçbir fark göstermezken, 2’si CIS ile daha iyi performans ve diğer 2’si ise MPS ile daha iyi performans elde etmiştir. Frohne- Büchner ve ark., bir grup erişkin Kİ kullanıcısı için CIS (2.800 pps uyarım hızı) stratejisini MPS (5.600 pps uyarım hızı) stratejiyle karşılaştı-



tırmış ve kısmi eş zamanlı uyarımın kullanımıyla anlamlı bir azalma bulmuşlardır.<sup>57</sup> Frohne-Büchner çalışmasında kullanılan daha yüksek uyarım hızının, kısmen eş zamanlı uyarım sırasında mümkün olan kanal etkileşiminin olumsuz etkilerini artırması mümkündür.<sup>58</sup>

CIS ve MPS sinyal işleme stratejileri için varsayılan uyarın genişliği aralığı 75,4 mikrosaniyedir. CIS ve MPS stratejileri kullanılan ilk nesil implantlarda, gerekli ses şiddetine ulaşmak amacıyla yeterince büyük bir akım genişliğine sahip bir uyarın yaratmak için yeterli olmaması nedeniyle daha geniş uyarın genişliğine ihtiyaç duyulmaktadır. Klinisyen, uyarın genişliği aralığını manuel olarak 75,4 mikrosaniyeden 150,9 veya 226,3 mikrosaniyeye kadar değiştirebilir. Çoğu CIS/MPS kullanıcısı için 75,4 mikrosaniyenin fazlasıyla yeterli olduğuna dikkat edilmelidir. Bir koklear malformasyon (örneğin koklear hipoplazi, koklear ossifikasyon vb.) veya koklear sinir aplazisi gibi anomalileri olan kullanıcılar için yüksek uyarım seviyelerine çıkılması gibi istisnalar ortaya çıkabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.<sup>59</sup>

#### HIRESOLUTION KONUŞMA İŞLEMLEME (HIRES)

AB 2002 yılında yukarıda açıklanan sinyal işleme stratejilerinden daha iyi temporal bilgi sağlayan HiRes konuşma işleme stratejisini geliştirmiştir. Bu strateji tarafından sağlanan TFS ipuçları ve yüksek uyarım hızları, akustik sinyalin yüksek çözünürlükle kullanıcıya iletilmesini sağlar.<sup>60</sup> HiRes ve geleneksel CIS arasındaki temel farklar:

1. CIS'deki tipik 8 elektrot yerine HiRes'te 16 aktif elektrot kullanılması,
2. Daha yüksek maksimum uyarım hızı (örneğin 5,156 pps'ye kadar),
3. Alçak geçirgen filtreler için daha yüksek *cut-off* frekanslar (örneğin 2.800 Hz) sağlaması,
4. Daha gelişmiş otomatik kazanç kontrolü sağlamasıdır.<sup>61</sup>

Teorik olarak, daha yüksek uyarım hızı ve filtre kesim noktası TFS ipuçlarını geliştirecektir. Başka bir avantaj ise normal işitsel sinir fonksiyonu daha benzer şekilde rastgele ateşlemenin kolaylaştırılması olabilir.

HiRes ses işleme stratejileri, HiResS ve HiResP olmak üzere 2 çeşittir. HiResS tamamen sıralı uyarım sağlarken, HiResP MPS stratejisine benzer kısmi eş zamanlı uyarım sağlar. Başka bir deyişle HiResP 1 ve 9, 2 ve 10, 3 ve 11, 4 ve 12, 5 ve 13, 6 ve 14, 7 ve 15 ve 8 ve 16'da eş zamanlı uyarım sağlar. HiResS, 2,900 pps'ye kadar uyarım hızı sağlarken, HiResP'nin 5,156 pps maksimum uyarım hızı vardır.<sup>28</sup> Klinik bir çalışmada, erişkin kullanıcıların konuşma tanıma performansı, HiRes işleme stratejisiyle geleneksel stratejilere kıyasla önemli ölçüde daha iyi elde edilmiştir. Ek olarak, HiRes işleme stratejisi katılımcıların çoğunluğu tarafından tercih edilmiştir.<sup>62</sup>

HiRes 120 ses işleme stratejisi, Harmony platformunun bir parçasıdır. Önceki tüm Kİ kodlama stratejilerinde akustik girdi her bir intrakoklear elektrot dizisi boyunca tek bir elektroda yönlendirilerek frekans bantlarına ayrılmaktadır. Bu yaklaşım, kokleanın doğal tonotopik düzenini korur, böylece yüksek frekans bilgisi bazal bölgeye ve alçak frekans bilgisi daha apikal bölgeye yönlendirilir. Ancak bu durumda spektral çözünürlük kullanılan elektrot sayısı sınırlı kalmaktadır. HiRes 120 stratejisi ise akım yönlendirmeyi kullanarak, spektral çözünürlüğü artırmayı amaçlamaktadır.<sup>58</sup>

Townshend ve ark., komşu elektrotların uyarılmasıyla ara perde üretimini rapor etmişlerdir.<sup>59</sup> Wilson ve ark. tarafından geliştirilen "sanal kanal" terimi elektrotlar arasındaki bir bölgeye odaklanmış uyarımı tarif etmek için kullanılmıştır.<sup>60</sup> HiRes 120 stratejisi, akım yönlendirmesinin ticari bir sistemdeki ilk uygulamasıdır.<sup>58</sup> Sanal kanal/akım yönlendirme yaklaşımının amacı, kullanıcının spektral çözünürlük yeteneklerini artırmaktır. Normal koklea, her biri tek bir frekansa tonotopik olarak ayarlanmış yaklaşık 3.500 iç tüy hücresi içerir ve bunlardan birine karşılık gelen işitsel afferent periferik sistem, yaklaşık 2 Hz kadar farklı akustik bileşenler arasında ayırım yapılmasına izin verir.<sup>60</sup> Spektral çözünürlük, yer ipuçlarına göre farklılık gösteren ünsüzlerin ayırt edilmesi, melodinin en iyi şekilde tanınması ve müziğin keyfini çıkarmada, perde algısı ve zorlayıcı gürtlülü ortamlarda konuşmayı algılama için kritiktir.

Kİ'lerin normal kulağa göre çok daha az dönüştürme alanı sağladığı göz önüne alındığında (12 ile 22 fiziksel elektrot temasına karşı 3.500 iç tüy hücresi), sanal kanal (akım yönlendirme) kavramı, işitme sinirine gönderilen sinyalin spektral doğruluğunu artırma girişimidir.<sup>61</sup>

Sanal kanallar 2 komşu elektrodun akım seviyesi ayarlanarak oluşturulmaktadır. AB marka Kİ sistemlerinde 16 elektrot bulunduğundan, elektriksel uyarımın odağını yönlendirmek için kullanılabilen 15 elektrot çifti vardır. Sinyal 15 bant geçiren filtreye bölünür ve her frekans bandı için zarf çıkarılır. Ayrıca Hızlı Fourier Dönüşümü kullanılarak, her bir frekans bandı içindeki en önemli frekansı gösteren 15 spektral tepe noktası üretilir. Bu spektral tepeler daha sonra sanal kanal tekniğiyle karşılık gelen elektrot çiftleri tarafından yönlendirilir. Böylece HiRes 120 stratejisinde 2 komşu elektrot tarafından bir kanal oluşturulur.<sup>63</sup>

Standart HiRes işlemede, gelen ses 16 spektral bant hâlinde analiz edilmektedir. Her bandın enerjisi çıkarılır ve zarf ile tek tek karşılık gelen elektrotlara saniyede 83.000 darbe maksimum uyarım hızında modülasyon yapar. HiRes Fidelity 120 ses işlemede ise giriş sinyali, 120 spektral bant elde etmek için standart ses kodlama stratejisinden daha ayrıntılı olarak analiz edilir. İlk olarak, gelen sinyal 256-bin Hızlı Fourier Dönüşümü kullanılarak analiz edilir. Daha sonra temporal ve spektral bilgilerin ayrıntılı analizi aynı anda işlenir. Temporal bilgiler Hilbert Dönüşümü kullanılarak elde edilirken, bir spektral navigatör 120 spektral bant boyunca her elektrot çifti için spektral maksimumu bulur. Spektral maksimumun tahmin frekansı, darbe dizisinin hızını hesaplamak ve sürekli olarak uyarım vermek için en uygun yeri seçmede kullanılarak uyarının doğruluğu artırılır. HiRes 120 ses işleme, aktif akım yönlendirme uygulamasıyla her bir elektrot çiftindeki komşu elektrotlara eş zamanlı olarak verilen akım oranını hassas bir şekilde değiştirerek, her spektral bandı iletmek için en uygun yerleri yaratmaya çalışır. Her elektrot çifti için 8 spektral kanal vardır. On altı elektrotun tamamı etkinleştirildiğinde, 120 uyarım bölgesi (15 elektrot çifti çarpı 8 spektral bant) oluşturulur.<sup>64</sup>

Koch ve ark., 2 fiziksel intrakoklear elektrotun birleşme noktası arasında tespit edilebilen perde algısı sayısını akım yönlendirmeyi kullanarak incelemiştir.<sup>65</sup> İmplant edilmiş 57 kulaktan alınan veriler, perde algısının bazal elektrot noktaları arasında ortalama 5,4, orta elektrot noktaları arasında 8,7 ve apikal elektrot noktaları arasında 7,2 ayırt edildiğini göstermiştir.

HiRes ses işlemedeki bir sonraki yenilik olan HiRes Optima, HiRes Fidelity 120 (Advanced Bionics Corporation, Valencia, CA, USA) kullanıcıları için dinleme avantajından ödün vermeden pil ömrünü uzatmak için tasarlanmıştır. HiRes Optima, implantın çalıştırılması için gereken voltajı düşürmektedir. Böylece pil tüketimini azaltarak, akım yönlendirme ve güç yönetimi sağlar.<sup>64</sup> HiRes Optima, kullanıcı performansını korurken, pil tüketimini azaltmak için HiRes Fidelity 120'den farklı birkaç değişiklik içermektedir. HiRes Optima, implantın kompiyans voltajını 8 volttan 4 volta düşürerek, güç gereksinimlerini azaltır. Bunun için akım yönlendirme paradigmasını değiştirerek, uyarımın sadece sanal elektrotlar aracılığıyla iletilmesini sağlar ve 4 volt kompiyans sınırını korumak için darbe genişliği yönetimini değiştirir. Diğer tüm özellikler açısından, HiRes Optima ile HiRes Fidelity 120 ses işleme stratejileri aynıdır.<sup>65</sup>

## AB KOKLEAR İMPLANT SİSTEMLERİNDE KULLANILAN İŞLEMLEME STRATEJİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Erişkin kullanıcılarda yapılmış çok merkezli bir çalışmada HiRes ve HiRes 120 stratejileri karşılaştırılmıştır. HiRes 120 ile zorlu gürültülü ortamlarda konuşma anlaşılabilirliği, ses kalitesi, müzik algısı ve müzikten keyif almada daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca HiRes 120 ve Harmony işlemcisi, çalışmayı tamamlayan kullanıcıların yüzde 86,4'ü tarafından tercih edilmiştir.<sup>66</sup>

Harmony kullanıcısı 50 erişkin hastada konuşma algısı, ses netliği ve strateji tercihinin araştırıldığı bir çalışmada ise katılımcıların önceki nesil işlemcilerde kullandıkları HiRes ve 3 aylık Harmony (HiRes ve HiRes 120) kullanımı sonrası sonuçları karşılaştırılmıştır. Katılımcıların %82'si HiRes 120 ses işlem-

leme stratejisini tercih etmiştir. HiRes 120'nin, sesin doğallığını ve ayırt etme özelliğini geliştirdiği, gürültülü ortamlarda dinlemeyi kolaylaştırdığı ve standart HiRes ses işlemesine kıyasla gelişmiş müzik algısı ve keyif sağladığı bildirilmiştir. Genel olarak bu çalışma, hem HiRes hem de HiRes 120'nin bireylerin dinleme ihtiyaçlarına göre uyarlanabilen etkili ses işleme stratejisi seçenekleri olduğunu göstermiştir.<sup>63</sup>

AB tarafından yürütülen bir klinik çalışmada katılımcılarının sessiz ve gürültülü ortamlarda kelime tanıma ve cümle tanıma skorlarının, geleneksel HiRes ve HiRes Fidelity 120 arasında benzer olduğunu göstermiştir.<sup>67</sup> Donaldson ve ark., erişkin kullanıcılarında HiRes ve HiRes Fidelity 120 işleme stratejilerini inceledikleri çalışmalarında, konuşmayı ayırt etme skorlarında 2 stratejide belirgin bir fark görülmemekle birlikte, HiRes'in ünsüz algılamada üstünlüğünü bildirmişlerdir.<sup>68</sup> Firszt ve ark. da yapmış oldukları bir çalışmada erişkin kullanıcıların 2 strateji arasında konuşmayı ayırt etme skorlarında benzer sonuçlar gösterdiğini, ancak kullanıcıların HiRes Fidelity 120 stratejisinin daha iyi müzik kalitesi sağladığını belirttiğini göstermişlerdir.<sup>69</sup> Bu çalışmalarda kullanıcıların, uygulanan stratejileri bilmeleri sebebiyle müzik algısının ve kalitesinin daha iyi olması sonucunun taraflı olabileceği de unutulmamalıdır.

Çocuklarda yapılan çalışmalarda HiRes 120'nin klinik rutinde kolayca uygulanabileceği ve HiRes 120 ile çoğu kullanıcının, gürültülü bir ortamda standart HiRes kullananlara kıyasla daha iyi fonem ayırt ettiği gösterilmiştir.<sup>70</sup> HiRes 120 stratejisi, çocuklar tarafından kolaylıkla kabul edildiği ve zaman içinde performanslarında tutarlı bir ilerleme sağladığı belirlenmiştir.<sup>71</sup>

Bosco ve ark.nın çalışmasında 2 pediatrik grup oluşturup konuşma algısı gelişimini takip etmişlerdir. Birinci grupta (n=16) CIS veya SAS stratejisini kullanılan AB Clarion 1.2 sistemi, 2. grupta (n=33) HiRes işleme stratejisiyle CII/HiRes 90K (Advanced Bionics) sistemi kullanılmıştır. Testler Erber'in hiyerarşik modeline göre her çocuk için seçilip, yaşına uyarlanmış bir konuşma algılama test bataryası kullanılmıştır. Testler, ilk programlamada ve daha sonra

postoperatif 3, 6, 9, 12, 24 ve 36. aylarda uygulanmıştır. Sonuçlar; fark etme, ayırt etme, tanıma ve anlama işitsel beceri hiyerarşisine göre tespit edilip analiz edilmiştir. Postoperatif 12, 24 ve 36 aylık takip aralıklarındaki veriler, implantasyon yaşının farklılık göstermesi 2 yaşından önce, 2-4 yaşları arasında ve 5 yaşında veya daha büyük alt grupları için analiz edilmiştir. Üç yıllık sonuçlar, CII/HiRes 90K (Advanced Bionics Corporation, Valencia, CA, USA) implant sistemini kullanan çocukların, implant sonrası 12, 24 ve 36. aylarda Clarion 1.2 "Common Interface (CI)" sistemini kullanan çocuklara kıyasla daha iyi konuşma algılama becerileri sergilediğini göstermiştir. Ayrıca 2 yaşından önce implante edilen ve 24 aylık kullanımdan sonra test edilen CII/HiRes 90K kullanıcısı grupları ileri yaşta implante edilmiş çocukların 36 ayda elde edilenlere benzer takip skorları elde edilmiştir. Testler ve klinik gözlemler, CII/HiRes 90K (Advanced Bionics Corporation, Valencia, CA, USA) kullanıcılarının ortamlarında mevcut olan akustik bilgileri daha doğal algıladığını belirlemiştir. CII/HiRes 90K (Advanced Bionics Corporation, Valencia, CA, USA) kullanıcıları, tesadüfi öğrenmede Clarion 1.2 sisteminin kullanıcılarından daha iyi yararlanabilmektedir.<sup>72</sup>

Çoğu kullanıcı, Optima ve HiRes Fidelity 120 sinyal işleme stratejileriyle oldukça iyi performans göstermektedir çünkü bu stratejiler, mevcut AB sistemindeki en gelişmiş stratejileridir.<sup>58</sup> Ancak eski sinyal işleme stratejileri (örneğin CIS/MPS) ile daha iyi performans gösteren bazı kullanıcıların olduğu da unutulmamalıdır.<sup>73</sup>

## SONUÇ

Sonuç olarak, literatürde yer alan tüm bu bilgiler ışığında farklı stratejilerinin konuşma algısı sonuçları üzerindeki etkilerinin değişkenlik gösterdiği dikkati çekmektedir. Kİ kullanıcılarında en iyi performansı elde etmek için ortak bir strateji belirlemek yerine, işitsel gelişim ve bireysel ihtiyaçlar göz önünde bulundurularak kişiye uygun bir strateji belirlemek, uygun programlama parametreleriyle kullanıcının gelişimini desteklemek ve konuşma algısı çıktılarını objektif test yöntemleri ile takip etmek büyük önem arz etmektedir.

## Finansal Kaynak

Bu çalışma sırasında, yapılan araştırma konusu ile ilgili doğrudan bağlantısı bulunan herhangi bir ilaç firmasından, tıbbi alet, gereç ve malzeme sağlayan ve/veya üreten bir firma veya herhangi bir ticari firmadan, çalışmanın değerlendirme sürecinde, çalışma ile ilgili verilecek kararı olumsuz etkileyebilecek maddi ve/veya manevi herhangi bir destek alınmamıştır.

## Çıkar Çatışması

Bu çalışma ile ilgili olarak yazarların ve/veya aile bireylerinin çıkar çatışması potansiyeli olabilecek bilimsel ve tıbbi komite üyeliği veya üyeleri ile ilişkisi, danışmanlık, bilirkişilik, herhangi bir firmada çalışma durumu, hissedarlık ve benzer durumları yoktur.

## Yazar Katkıları

**Fikir/Kavram:** Merve Özbal Batuk; **Tasarım:** Merve Özbal Batuk, Erva Değirmenci Uzun, Betül Koska; **Denetleme/Danışmanlık:** Merve Özbal Batuk; **Veri Toplama ve/veya İşleme:** Merve Özbal Batuk; **Analiz ve/veya Yorum:** Merve Özbal Batuk; **Kaynak Taraması:** Merve Özbal Batuk, Merve Özses, Öykü Özbaş; **Makalenin Yazımı:** Merve Özbal Batuk, Erva Değirmenci Uzun, Betül Koska, Merve Özses, Öykü Özbaş; **Eleştirel İnceleme:** Merve Özbal Batuk, Erva Değirmenci Uzun, Betül Koska, Merve Özses, Öykü Özbaş; **Kaynaklar ve Fon Sağlama:** Merve Özbal Batuk.

## KAYNAKLAR

1. Távora-Vieira D, Rajan GP. Assessment of fine structure processing strategies in unilaterally deafened cochlear implant users. *International Journal of Otolaryngology and Head & Neck Surgery*. 2014;3(06):347-53. [Crossref]
2. Heng J, Cantarero G, Elhilali M, Limb CJ. Impaired perception of temporal fine structure and musical timbre in cochlear implant users. *Hear Res*. 2011;280(1-2):192-200. [Crossref] [PubMed] [PMC]
3. Beiter AL, Nel E. The history of Cochlear™ Nucleus® sound processor upgrades: 30 years and counting. *J Otol*. 2015;10(3):108-14. [Crossref] [PubMed] [PMC]
4. Patrick JF, Busby PA, Gibson PJ. The development of the Nucleus Freedom Cochlear implant system. *Trends Amplif*. 2006;10(4):175-200. [Crossref] [PubMed] [PMC]
5. McDermott HJ, McKay CM, Vandali AE. A new portable sound processor for the University of Melbourne/Nucleus Limited multielectrode cochlear implant. *J Acoust Soc Am*. 1992;91(6):3367-71. [Crossref] [PubMed]
6. Clark G. Speech (sound) processing. *Cochlear Implants: Fundamentals and Applications*. New York: Springer; 2003. p.381-453.
7. Somek B, Fajt S, Dembitz A, Ivković M, Ostojić J. Coding strategies for cochlear implants. *ATKAFF*. 2006;47(1-2):69-74. [Link]
8. Manrique M, Huarte A, Morera C, Caballé L, Ramos A, Castillo C, et al. Speech perception with the ACE and the SPEAK speech coding strategies for children implanted with the Nucleus cochlear implant. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2005;69(12):1667-74. [Crossref] [PubMed]
9. Wilson BS, Finley CC, Lawson DT, Wolford RD, Eddington DK, Rabinowitz WM. Better speech recognition with cochlear implants. *Nature*. 1991;352(6332):236-8. [Crossref] [PubMed]
10. Plant KL, Whitford LA, Psarros CE, Vandali AE. Parameter selection and programming recommendations for the ACE and CIS speech-processing strategies in the Nucleus 24 cochlear implant system. *Cochlear Implants Int*. 2002;3(2):104-25. [Crossref] [PubMed]
11. Svirsky, M. A., Chute, P. M., Green, J., Bollard, P., & Miyamoto, R. T. (2000). Language Development in Children Who Are Prelingually Deaf Who Have Used the SPEAK or CIS Stimulation Strategies Since Initial Stimulation. *Volta Review*, 102(4).
12. Vandali AE, Whitford LA, Plant KL, Clark GM. Speech perception as a function of electrical stimulation rate: using the Nucleus 24 cochlear implant system. *Ear Hear*. 2000;21(6):608-24. [Crossref] [PubMed]
13. Agrawal D. Prosody perception in cochlear implant users: EEG evidence. [Master Thesis]. Akola, India: University of Veterinary Medicine Hannover; 2012. [Link]
14. Nogueira W, Büchner A, Lenarz T, Edler B. A psychoacoustic "NofM"-type speech coding strategy for cochlear implants. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*. 2005;2005(18):101672. [Crossref]
15. Pasanisi E, Bacciu A, Vincenti V, Guida M, Berghenti MT, Barbot A, et al. Comparison of speech perception benefits with SPEAK and ACE coding strategies in pediatric Nucleus CI24M cochlear implant recipients. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2002;17;64(2):159-63. [Crossref] [PubMed]
16. Beynon AJ, Snik AF, van den Broek P. Comparison of different speech coding strategies using a disability-based inventory and speech perception tests in quiet and in noise. *Otol Neurotol*. 2003;24(3):392-6. [Crossref] [PubMed]
17. Kim HN, Shim YJ, Chung MH, Lee YH. Benefit of ACE compared to CIS and SPEAK coding strategies. In: Kim CS, Chang SO, Lim D, eds. *Updates in Cochlear Implantation*. 2nd ed. Vol 57. Seoul, Korea: Karger Publishers; 1999. p.408-11. [Crossref]
18. Kiefer J, Hohl S, Stürzebecher E, Pfennigdorff T, Gstöettner W. Comparison of speech recognition with different speech coding strategies (SPEAK, CIS, and ACE) and their relationship to telemetric measures of compound action potentials in the nucleus CI 24M cochlear implant system. *Audiology*. 2001;40(1):32-42. [Crossref] [PubMed]
19. Büchner A, Nogueira W, Edler B, Battmer RD, Lenarz T. Results from a psychoacoustic model-based strategy for the nucleus-24 and freedom cochlear implants. *Otol Neurotol*. 2008;29(2):189-92. [Crossref] [PubMed]
20. Loizou PC, Poroy O, Dorman M. The effect of parametric variations of cochlear implant processors on speech understanding. *J Acoust Soc Am*. 2000;108(2):790-802. [Crossref] [PubMed]
21. Friesen LM, Shannon RV, Cruz RJ. Effects of stimulation rate on speech recognition with cochlear implants. *Audiol Neurotol*. 2005;10(3):169-84. [Crossref] [PubMed]
22. Buechner A, Frohne-Buechner C, Gaertner L, Lesinski-Schiedat A, Battmer RD, Lenarz T. : Evaluación del modo de alta resolución del advanced bionics. [Evaluation of advanced bionics high resolution mode]. *International Journal of Audiology*. 2006;45(7):407-16. [Crossref]
23. Weber BP, Lai WK, Dillier N, von Wallenberg EL, Killian MJ, Pesch J, et al. Performance and preference for ACE stimulation rates obtained with nucleus RP 8 and freedom system. *Ear Hear*. 2007;28(2 Suppl):46-S. [Crossref] [PubMed]



24. MED-EL [Internet]. © 2021 MED-EL Medical Electronics. Corporate information. Erişim linki: [\[Link\]](#) (01.07.2020)
25. American Speech-Language-Hearing Association [Internet]. © 1997-2021 American Speech-Language-Hearing Association. [Erişim tarihi: Mart 2003]. Cochlear implants. Erişim linki: [\[Link\]](#)
26. Magnusson L. Comparison of the fine structure processing (FSP) strategy and the CIS strategy used in the MED-EL cochlear implant system: speech intelligibility and music sound quality. *Int J Audiol*. 2011;50(4):279-87. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#)
27. Niparko JK. The design of cochlear implants. *Cochlear Implant Principles & Practices*. 2nd ed. Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins; 2009. p.145-210. [\[Link\]](#)
28. Wolfe J. Cochlear implant signal coding strategies. *Cochlear Implants: Audiological Management and Considerations for Implantable Hearing Devices*. 1st ed. San Diego: Plural Publishing; 2020. p.229-56. [\[Link\]](#)
29. Helms J, Müller J, Schön F, Winkler F, Moser L, Shehata-Dieler W, et al. Comparison of the TEMPO+ ear-level speech processor and the cis pro+ body-worn processor in adult MED-EL cochlear implant users. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec*. 2001;63(1):31-40. [\[PubMed\]](#)
30. Brickley, G., Boyd, P., Wyllie, F., O'Driscoll, M., Webster, D., & Nopp, P. (2005). Investigations into electrically evoked stapedius reflex measures and subjective loudness percepts in the MED-EL COMBI 40+ cochlear implant. *Cochlear implants international*, 6(1), 31-42. [\[Crossref\]](#)
31. Plant K, Whitford L, Psarros C. Strategy comparison for Nucleus 24 recipients with a limited number of available electrodes. *Cochlear White Paper, N94317F Iss1 Centennial (CO): Cochlear Americas*. 2000. [\[Link\]](#)
32. Proops DW. The cochlear implant team. In: Cooper H, Craddock L. *Cochlear Implants: A Practical Guide*. 2nd ed. Philadelphia: Whurr Publishers; 2006. p.70-120. [\[Link\]](#)
33. Lorens A, Zgoda M, Obrycka A, Skarzynski H. Fine structure processing improves speech perception as well as objective and subjective benefits in pediatric MED-EL COMBI 40+ users. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2010;74(12):1372-8. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#)
34. Müller J, Brill S, Hagen R, Moeltner A, Brockmeier SJ, Stark T, et al. Clinical trial results with the MED-EL fine structure processing coding strategy in experienced cochlear implant users. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec*. 2012;74(4):185-98. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#)
35. Loizou PC. Introduction to cochlear implants. *IEEE Eng Med Biol Mag*. 1999;18(1):32-42. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#)
36. Koch DB, Osberger MJ, Segel P, Kessler D. HiResolution and conventional sound processing in the HiResolution bionic ear: using appropriate outcome measures to assess speech recognition ability. *Audiol Neurotol*. 2004;9(4):214-23. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#)
37. Hilbert D. Grundzuge einer allgemeinen Theorie der linearen Integralgleichungen [German]. Germany: B. G. Teubner Publishing; 1912. p.70-120.
38. Smith ZM, Delgutte B, Oxenham AJ. Chimaeric sounds reveal dichotomies in auditory perception. *Nature*. 2002;7;416(6876):87-90. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#) [\[PMC\]](#)
39. Xu L, Pfingst BE. Relative importance of temporal envelope and fine structure in lexical-tone perception. *J Acoust Soc Am*. 2003;114(6 Pt 1):3024-7. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#) [\[PMC\]](#)
40. Riss D, Hamzavi JS, Blineder M, Honeder C, Ehrenreich I, Kaider A, et al. FS4, FS4-p, and FSP: a 4-month crossover study of 3 fine structure sound-coding strategies. *Ear Hear*. 2014;35(6):e272-81. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#)
41. Zierhofer CM, Schatzer R. Simultaneous intracochlear stimulation based on channel interaction compensation: analysis and first results. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2008;55(7):1907-16. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#)
42. Riss D, Hamzavi JS, Blineder M, Flak S, Baumgartner WD, Kaider A, et al. Effects of stimulation rate with the FS4 and HDCIS coding strategies in cochlear implant recipients. *Otol Neurotol*. 2016;37(7):882-8. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#)
43. Müller V, Klünter HD, Fürstenberg D, Walger M, Lang-Roth R. Comparison of the effects of two cochlear implant fine structure coding strategies on speech perception. *Am J Audiol*. 2020;8;29(2):226-35. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#)
44. Arnoldner C, Riss D, Brunner M, Durisin M, Baumgartner WD, Hamzavi JS. Speech and music perception with the new fine structure speech coding strategy: preliminary results. *Acta Otolaryngol*. 2007;127(12):1298-303. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#)
45. Riss D, Hamzavi JS, Katzinger M, Baumgartner WD, Kaider A, Gstöettner W, et al. Effects of fine structure and extended low frequencies in pediatric cochlear implant recipients. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2011;75(4):573-8. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#)
46. Galindo J, Lassaletta L, Mora RP, Castro A, Bastarrica M, Gavilán J. Fine structure processing improves telephone speech perception in cochlear implant users. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*. 2013; 270(4):1223-9. [\[Crossref\]](#)
47. Vermeire K, Punte AK, Van de Heyning P. Better speech recognition in noise with the fine structure processing coding strategy. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec*. 2010;72(6):305-11. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#)
48. Riss D, Arnoldner C, Baumgartner WD, Kaider A, Hamzavi JS. A new fine structure speech coding strategy: speech perception at a reduced number of channels. *Otol Neurotol*. 2008;29(6):784-8. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#)
49. Riss D, Hamzavi JS, Selberherr A, Kaider A, Blineder M, Starlinger V, et al. Envelope versus fine structure speech coding strategy: a crossover study. *Otol Neurotol*. 2011;32(7):1094-101. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#)
50. Dillon MT, Buss E, King ER, Deres EJ, Obarowski SN, Anderson ML, et al. Comparison of two cochlear implant coding strategies on speech perception. *Cochlear Implants Int*. 2016;17(6):263-70. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#) [\[PMC\]](#)
51. Skinner MW, Holden LK, Whitford LA, Plant KL, Psarros C, Holden TA. Speech recognition with the nucleus 24 SPEAK, ACE, and CIS speech coding strategies in newly implanted adults. *Ear Hear*. 2002;23(3):207-23. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#)
52. Landsberger DM, Vermeire K, Claes A, Van Rompaey V, Van de Heyning P. Qualities of single electrode stimulation as a function of rate and place of stimulation with a cochlear implant. *Ear Hear*. 2016;37(3):e149-59. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#) [\[PMC\]](#)
53. de Melo TM, Bevilacqua MC, Costa OA, Moret ALM. Influência da estratégia de processamento de sinal no desempenho auditivo. [Influence of signal processing strategy in auditory abilities]. *Braz J Otorhinolaryngol*. 2013;79(5): 629-35. [\[Crossref\]](#)
54. Wolfe J, Schafer EC. Basic terminology of cochlear implant programming. In: Wolfe J, Schafer EC, eds. *Programming Cochlear Implants*. 2nd ed. Köln: Plural Publishing; 2015. p.61-91. [\[Link\]](#)
55. Wilson, BS. Speech processing strategies. Cooper, H, Craddock, L. *Cochlear implants: A practical guide*. 2nd ed. London: John Wiley & Sons; 2006. p21-69. [\[Link\]](#)
56. Loizou PC, Stickney G, Mishra L, Assmann P. Comparison of speech processing strategies used in the Clarion implant processor. *Ear Hear*. 2003;24(1):12-9. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#)
57. Büchner A, Frohne-Büchner C, Battmer RD, Lenarz T. Two years of experience using stimulation rates between 800 and 5000 pps with the clarion CII implant. *International Congress Series*. 2004;1273(2):48-51. [\[Crossref\]](#)
58. Büchner A, Lenarz T, Boermans PP, Frijns JH, Mancini P, Filipo R, et al. Benefits of the HiRes 120 coding strategy combined with the Harmony processor in an adult European multicentre study. *Acta Otolaryngol*. 2012;132(2):179-87. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#)



59. Townshend B, Cotter N, Van Compernelle D, White R. Pitch perception by cochlear implant subjects. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 1987;82(1):106-15. [[Crossref](#)]
60. Wilson B, Lawson D, Zerbi M, Finley C. Recent developments with the CIS strategies. *Advances in Cochlear Implants*. 1994:103-12. [[Link](#)]
61. Wolfe J, Schafer EC. Basic terminology of cochlear implant programming. *Programming Cochlear Implants*. 2nd ed. San Diego: Plural Publishing; 2015. p.61-91. [[Link](#)]
62. Demers L, Robichaud L, Gélinas I, Noreau L, Desrosiers J. Coping strategies and social participation in older adults. *Gerontology*. 2009;55(2):233-9. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
63. Choi CT, Lee YH. A review of stimulating strategies for cochlear implants. In: Umat C, ed. *Cochlear Implant Research Updates*. China: InTech; 2012. p.77-90. [[Cross-ref](#)]
64. Kirk KI, Choi S. Clinical Investigations of Cochlear Implant Performance. In: Niparko JK, ed. *Cochlear Implants Principles & Practices*. 2<sup>nd</sup> ed. Philadelphia: Wolters Kluwer Health; 2009:191-222. [[Link](#)]
65. Koch DB, Downing M, Osberger MJ, Litvak L. Using current steering to increase spectral resolution in CII and HiRes 90K users. *Ear Hear*. 2007;28(2 Suppl):38S-41S. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
66. Ambrosch P, Müller-Deile J, Aschendorff A, Laszig R, Boermans PP, Frijns J, et al. European adult multi-centre HiRes® 120 study--an update on 65 subjects. *Cochlear Implants Int*. 2010;11 Suppl 1:406-11. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
67. Park HJ, Lee SC, Chun YM, Lee JY. HiRes with fidelity 120 benefit in native speakers of Korean. *Cochlear Implants Int*. 2009;10 Suppl 1:85-8. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
68. Donaldson GS, Dawson PK, Borden LZ. Within-subjects comparison of the HiRes and Fidelity120 speech processing strategies: speech perception and its relation to place-pitch sensitivity. *Ear Hear*. 2011;32(2):238-50. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
69. Brown TT, Jernigan TL. Brain development during the preschool years. *Neuropsychol Rev*. 2012;22(4):313-33. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
70. Mancini P, Bosco E, D'agosta L, Traisci G, Nicastrì M, Capelli G, et al. Implementation of perceptual channels in children implanted with a HiRes 90K device. *Acta Otolaryngol*. 2009;129(12):1442-50. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
71. Rozycka J, Attias J, Raveh E, Daykhes NA, Neumann K, Sainz M, et al. One-year follow-up results of young children switched-on with HiRes 120™. *J Hear Sci*. 2011;1(2):67-9. [[Link](#)]
72. Bosco E, Mancini P, D'Agosta L, Traisci G, D'Elia C, Filippo R. Speech perception in children using two generations of Advanced Bionics cochlear implants: three-year results. *Adv Bionics @ Audit Res Bull*. 2007:56-57. [[Link](#)]
73. Wolfe J, Schafer EC. Programming advanced bionics implants. *Programming Cochlear Implants*. 2<sup>nd</sup> ed. San Diego: Plural Publishing; 2015. p.129-65. [[Link](#)]