

Koklear implantasyonun ses gelişimi üzerine etkisi

The effect of cochlear implantation on voice development

Dr. Uğur ÇERÇİ, Dr. Tolga KANDOĞAN, Dr. Levent OLGUN, Dr. Gürol GÜLTEKİN, Dr. Sezaver ALPER

Amaç: Koklear implantasyon yapılmış prelingual işitme kayıplı çocuklarda implantasyonun ses gelişimi üzerine olan etkisi araştırıldı.

Hastalar ve Yöntemler: Koklear implantasyon yapılmış 60 prelingual çocuk (28 kız, 32 erkek; ort. yaş 68 ay, dağılım 37-128 ay) çalışmaya alındı. Tüm olguların birinci ses analizi ilk fittingden en az altı, en çok 21 ay sonra; ikinci ses analizi ise ilk ölçümden altı ay sonra yapıldı. Olgular ayıca, dört yaş altı ve dört yaş üstü olarak iki grupta ve, fundamental frekans (F_0), birinci formant (F_1), ikinci formant (F_2) değerlerindeki değişimi izlemek amacıyla, 18 aydan az ve 18 aydan uzun süre implant kullananlar olarak iki grupta değerlendirildi. Kontrol grubu olarak, konuşma ve dil gelişimi normal olan 47 çocuk (22 kız, 25 erkek ort. yaş 62 ay, dağılım 38-118 ay) alındı. Tüm olgularda /a/ sesinin F_0 , F_1 ve F_2 formantları saptandı.

Bulgular: Hasta grubunda F_0 ve F_2 değerleri açısından ilk ve altı ay sonraki ölçümler arasında anlamlı fark bulunsa da, F_1 değerleri açısından anlamlı fark yoktu. Dört yaş altı hastalar ile aynı yaştaki kontroller arasında F_0 , F_1 ve F_2 açısından anlamlı fark bulunmadı. Dört yaş üstü hastalarla aynı yaştaki kontroller arasında F_0 ve F_1 açısından anlamlı fark vardı, ancak F_2 değerleri açısından fark bulunmadı. En az 18 aydır implant taşıyan hastalarda F_0 , F_1 ve F_2 değerlerinin normal değerlere, koklear implantı daha az süre taşıyan gruba göre daha çok yaklaştığı görüldü; ancak, bu yakınlaşma anlamlı değildi.

Sonuç: Çalışmamız, implantasyonun olabildiğince erken yapılmasının ve implant kullanım süresinin ses, konuşma ve dil gelişimi açısından önemini ortaya koymaktadır.

Anahtar Sözcükler: Çocuk; koklear implant; sağırılık; dil gelişimi; fonetik; konuşma; ses.

Objectives: The effect of cochlear implantation on voice development in prelingually deaf children was investigated.

Patients and Methods: The study included 60 prelingually deaf children (28 girls, 32 boys; mean age 68 months; range 37 to 128 months) who underwent cochlear implantation. Voice analyses were made between 6 to 21 months after the first fitting and six months after the baseline. The patients were divided into two groups (i) according to age (younger or older than 48 months) and (ii) to the duration of implant use (more or less than 18 months) to observe the changes in fundamental frequency (F_0), and two formant frequencies (F_1 and F_2). Forty-seven children (22 girls, 25 boys; mean age 62 months; range 38 to 118 months) with normal speech and language development comprised the control group. In all the cases, F_0 , F_1 , and F_2 values of the vowel /a/ were studied.

Results: In the patient group, F_0 and F_2 values significantly differed between the first and second voice analyses, whereas the change in F_1 values was insignificant. No significant differences were found in terms of F_0 , F_1 and F_2 values between the patients younger than 48 months and age-matched controls; however, F_0 and F_1 values significantly differed in those older than 48 months while F_2 values remained insignificant. Albeit statistically insignificant, F_0 , F_1 , and F_2 values approximated normal levels in children in whom the duration of implant use exceeded 18 months.

Conclusion: Our study confirms that early cochlear implantation and longer implant use result in improved development of voice, speech, and language.

Key Words: Child; cochlear implant; deafness; language development; phonetics; speech; voice.

- ◆ S.B. İzmir Eğitim Hastanesi Kulak Burun Boğaz Hastalıkları Kliniği (Department of Otolaryngology, İzmir Training Hospital), İzmir, Turkey.
- ◆ Dergiye geliş tarihi - 25 Kasım 2004 (Received - November 25, 2004). Düzeltme isteği - 2 Mart 2005 (Request for revision - March 2, 2005). Yayın için kabul tarihi - 25 Mart 2005 (Accepted for publication - March 25, 2005).
- ◆ İletişim adresi (Correspondence): Dr. Tolga Kandoğan. İnönü Caddesi, No: 404/12, 35290 İzmir, Turkey. Tel: +90 232 - 255 40 57 Faks (Fax): +90 232 - 261 44 44 e-posta (e-mail): tolga.kandogan@veezy.com

Çevreyle iletişimi sağlayan en önemli duyu organlarımızdan biri olan işitmenin yokluğu ruhsal, ekonomik ve sosyal pek çok soruna yol açar. İşitme cihazıyla rehabilite edilebilecek boyuttaki bir kaybın bile zaman zaman kişilerin toplumsal izolasyonuna ve iş gücü kaybına yol açabileceği bilinmekteyken, işitmenin tam kaybı veya hiç gelişmemiş olmasının ne denli önemli sorunların başlangıcı olacağı düşünülmelidir. Koklear implantlar, seçilmiş hasta gruplarında, kişiye işitme ve konuşma yetisini kazandıracak etkinliğe ulaşılmasını sağlamıştır.^[1,2]

Bilindiği gibi koklear implantasyon postlingual olgularda işitmenin yeniden kazanılmasını sağlar. Prelingual olgularda ise yeterince erken yaşta yapılır ve iyi bir rehabilitasyon sağlanabilirse normale çok yakın bir işitme elde edilebilir. Bunun sonucu olarak konuşma ve dil gelişimi de normal veya normale yakın bir hal alabilir.^[3-6] Konuşmanın temel öğelerinden biri olan sesteki değişimler ise bugünkü teknolojiyle objektif olarak değerlendirilebilmektedir.

Bu durumda implantlı çocuklarda sesin belli başlı karakteristiklerinin gelişimini izlemek ve verifiye edebilmek koklear implantasyonun, çocuğun konuşma gelişimine olan etkisini ortaya çıkarmak açısından değer taşıyabilir.

Bu çalışmada, prelingual işitme kayıplı çocuklarda, implantasyonun ses gelişimi üzerine olan etkisi ve doğuştan işitme kayıplı çocuklarda normale yakın bir ses yanında normale yakın bir dil ve konuşma becerisi kazandırmada koklear implantasyonun yerinin belirlenmesi amaçlandı.

HASTALAR VE YÖNTEMLER

Mayıs 1998 - Temmuz 2004 tarihleri arasında koklear implantasyon yapılmış 60 prelingual hasta (28 kız, 32 erkek; çalışma yapıldığı andaki ort. yaşları 68 ± 26 ay; dağılım 37-128 ay) çalışmaya alındı. Hastaların koklear implantasyon yapıldığı andaki (ort. yaş 51.4 ± 20 ay; dağılım 22-86 ay) idi. İşitme kaybı etyolojilerine bakıldığında; 14 olgu menenjit, 12 olgu herediter, 11 olgu kabakulak, beş olgu otoksisite, üç olgu travmaya bağlı, 15 olgu ise idiyo-patik nedenlerden dolayı işitme kaybına uğramıştı. Çalışmaya alınan çocukların tümü, yaşlarıyla uyumlu normal bir fiziksel gelişme gösteriyordu. Tüm olgular aile eğitimi ve rehabilitasyon için merkezimize düzenli olarak gelmekteydi.

Olguların tümüne çok kanallı koklear implant uygulandı (42 olguda Medel Combi 40+ ve 18 olgu-

da Clarion C II). İlk fittingler ameliyattan dört hafta sonra gerçekleştirildi ve daha sonra olgular SB İzmir Eğitim Hastanesi koklear implant merkezi'nde eğitime alındılar. Birinci ses analizleri ilk fittingden en az altı en çok 21 ay sonra gerçekleştirildi.

Ses gelişimindeki değişimin değerlendirilebilmesi amacıyla ilk ölçümden altı ay sonra ikinci bir ses analizi yapıldı.

Daha sonra, implant performansında implantasyon yaşının önemli bir belirleyici olduğu göz önüne alınarak, olgular dört yaş altı ve dört yaş üstü olmak üzere iki gruba ayrıldı. Dört yaş altı ve dört yaş üstü çocukların fundamental frekans (F_0), birinci formant (F_1) ve ikinci formant (F_2) değerlerinin karşılaştırılmasında ilk ölçüm ortalamaları kullanıldı.

Bu gruplandırma yapılırken, cinsiyet farkının bu yaş grubunda sese bir etkisi olmadığı için, kız-erkek ayrımı yapılmadı.^[7]

Olgular F_0 , F_1 , F_2 değerlerindeki değişimi izlemek için 18 aydan kısa ve 18 aydan uzun süre implant kullananlar olmak üzere ayrıca 2 grupta değerlendirildi.

Kontrol grubu olarak normal konuşma ve dil gelişimi olan 47 çocuk, (22 kız, 25 erkek; ort. yaş 62 ± 19 ay; dağılım 38-118 ay) çalışmaya alındı. İmplantlı çocuklarda uygulanan yöntemle /a/ sesinin F_0 , F_1 ve F_2 formantları saptandı. Kontrol grubundaki çocukların implantlı çocuklarla yaş ve cinsiyet açısından eşdeğer olmasına özen gösterildi.

Ses laboratuvarında Kay Elemetrics CSL 4400 (Kay Elemetrics Ltd, Lincoln Park, NJ, USA) kullanılarak /a/ sesi en az 3 sn kaydedilerek, bu sesin F_0 ve F_1 - F_2 değerleri araştırıldı.

Her bir seslinin, merkez 100 ms, 0.9'luk vurgu öncesi Hamming window kullanılarak ölçümü baz alındı. Formant frekansının numerik değeri düzgün olmayan LPC (Lineer Predictive Coding) çizelgesinin zirvesinden hesaplandı. LPC ile belirlenen formant frekansları, bir rehber olarak wideband spektrogramlarıyla belirlenen formantlarla karşılaştırıldı. Bu yüzden deneysel değerler LPC analizinden alındı ve spektrografik verilerle çapraz kontrol yapıldı.

/a/ seslisi, küçük hastalarca bile söylenebildiği, F_0 düşük ve F_1 yüksek olduğu ve LPC analizini kolaylaştıran seslilerden biri olduğu için seçildi. Bunun dışında /a/ seslisinin orofarengial yapılarıdaki anatomik ya da fizyolojik değişikliklerden çok fazla

TABLO I

PRELİNGUAL İŞİTME KAYIPLI 60 ÇOCUKTA /a/ SESLİSİNİN 6 AY ARA İLE ÖLÇÜLMÜŞ F₀ VE F₁-F₂ DEĞERLERİ

No	Cinsiyet	Etyoloji	İmplant	Yaş (ay)	İty (ay)	İts (ay)	F ₀ (Hz)	F ₀ (Hz) (6 ay sonra)	F ₁ (Hz)	F ₁ (Hz) (6 ay sonra)	F ₂ (Hz)	F ₂ (Hz) (6 ay sonra)
1	E	Bilinmeyen	Medel40+	38	22	16	305	296	971	1231	1878	1788
2	E	Menenjit	Medel40+	38	23	15	297	294	1016	1098	1867	2409
3	E	Kabakulak	Medel40+	37	24	13	294	301	1132	1215	1675	1756
4	E	Bilinmeyen	Medel40+	37	25	12	286	290	1467	1512	1723	2091
5	E	Hereditör	Medel40+	38	26	12	329	304	1393	1345	1738	1616
6	E	Menenjit	Medel40+	40	26	14	331	331	1753	1096	2005	3096
7	E	Kabakulak	Medel40+	41	29	12	288	297	1051	1135	1643	1923
8	E	Bilinmeyen	Medel40+	42	32	10	290	296	1021	1276	2156	2558
9	E	Hereditör	Clarion	69	33	36	287	299	828	1161	1578	1743
10	E	Bilinmeyen	Medel40+	47	39	12	274	205	1096	1143	1947	2146
11	E	Kabakulak	Medel40+	50	40	10	205	203	1146	1108	1876	1754
12	E	Ototoksik	Clarion	66	45	21	298	300	1876	2213	1893	3343
13	E	Menenjit	Medel40+	76	45	31	256	267	1028	1232	2517	2823
14	E	Hereditör	Medel40+	78	47	31	297	294	1023	1176	2885	2654
15	E	Menenjit	Medel40+	64	48	16	295	312	982	1198	1922	2011
16	E	Kabakulak	Medel40+	79	56	23	289	269	968	1051	1677	1871
17	E	Ototoksik	Clarion	77	61	16	297	294	1442	1653	2025	2276
18	E	Bilinmeyen	Medel40+	111	63	48	312	298	1143	1238	1780	1882
19	E	Hereditör	Medel40+	82	65	17	277	279	1866	1085	2272	2566
20	E	Bilinmeyen	Medel40+	85	65	20	329	306	1866	1096	2345	2041
21	E	Menenjit	Medel40+	92	69	23	329	243	1672	1423	2077	2766
22	E	Hereditör	Medel40+	88	70	18	315	281	1543	1038	1940	2512
23	E	Ototoksik	Medel40+	82	72	10	271	287	1142	1219	1911	1893
24	E	Bilinmeyen	Clarion	120	72	48	280	307	1279	1061	1986	2111
25	E	Menenjit	Medel40+	101	75	26	298	303	1260	1298	2712	2667
26	E	Menenjit	Medel40+	122	76	46	287	248	1096	1260	1927	2666
27	E	Kabakulak	Medel40+	112	78	34	260	189	1142	1016	1877	2116
28	E	Hereditör	Clarion	89	80	9	333	304	1178	1104	1870	1620
29	E	Bilinmeyen	Medel40+	90	80	10	367	351	1051	1096	1861	2265
30	E	Ototoksik	Clarion	91	82	9	348	291	1096	1291	2561	1928

İty: İmplant takılma yaşı; İts: İmplant taşıma süresi (implant takıldıktan sonra ilk ölçüm yapılanaya kadar).

etkilenmeme ve daha çok akustik etkenlere bağlı olarak kontrol edilme özelliği taşıdığı bilinmektedir.

Sonuçların istatistiksel olarak değerlendirilmesinde Independent sample t-test ve Paired sample t-test kullanıldı.

BULGULAR

Tablo I'de hasta grubunun ilk ve altı ay sonraki /a/ sesine ait F₀ ve F₁-F₂ sonuçlarıyla birlikte hasta-

ların yaşları, koklear implant takılma yaşı ve taşıma süreleri, işitme kaybı etyolojileri, kullandıkları koklear implant cinsi toplu olarak gösterilmektedir. Tablo II'de ise kontrol grubunda elde edilen /a/ sesine ait ilk F₀, F₁ ve F₂ değerleri verilmiştir.

Hasta grubunda F₀ değerleri açısından yapılan karşılaştırmada, ilk ve altı ay sonraki ikinci ölçümler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulundu (p<0.05). İlk akustik analizde özellikle F₀ değerleri

TABLO II
KONTROL GRUBU ÇOCUKLARIN SES ANALİZ
SONUÇLARI

No	Cinsiyet	Yaş (ay)	Kontrol F ₀ (Hz)	Kontrol F1(Hz)	Kontrol F2 (Hz)
1	E	38	267	976	1985
2	E	40	270	966	1824
3	E	42	300	1146	1890
4	E	37	245	1218	1765
5	E	45	335	885	1832
6	E	40	356	916	1678
7	E	48	265	885	1429
8	E	42	300	846	1723
9	E	42	275	1090	1824
10	E	47	200	876	1670
11	E	43	254	963	1754
12	E	38	266	1245	1820
13	E	46	262	1393	1739
14	E	72	280	1178	1876
15	E	92	287	1016	1861
16	E	74	270	1260	1678
17	E	82	289	1076	1831
18	E	85	328	1243	1858
19	E	77	274	1096	1739
20	E	89	295	1336	1789
21	E	82	255	1142	1852
22	E	118	284	1279	1726
23	E	83	301	1260	1729
24	E	96	302	1096	1839
25	E	115	286	1142	1861
26	K	41	277	1271	1739
27	K	38	276	1038	1941
28	K	39	282	1219	1899
29	K	39	326	1285	1971
30	K	40	303	968	1941
31	K	42	316	1108	1784
32	K	46	350	1271	1924
33	K	41	347	1108	1971
34	K	42	278	1093	1867
35	K	43	351	1245	1936
36	K	44	280	1072	1894
37	K	48	310	982	1910
38	K	45	280	940	1860
39	K	42	288	1096	1739
40	K	76	300	1096	1945
41	K	64	283	1028	1968
42	K	84	290	968	1982
43	K	77	295	1279	1898
44	K	84	303	1161	1927
45	K	88	293	1049	1930
46	K	94	294	828	1738
47	K	108	289	1176	1951

kontrollere göre anlamlı olarak farklı olmasına karşın ($p<0.05$), ikinci analizde elde edilen değerlerin kontrol değerlerine yaklaştığı ve kontrol grubu ile arasında anlamlı bir fark olmadığı saptandı ($p>0.05$). Sonuçlar Şekil 1’de görülmektedir.

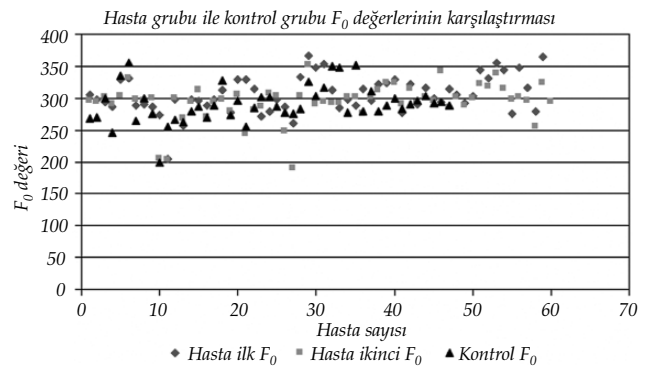
Hasta grubunda F_1 değerleri açısından yapılan karşılaştırmada ilk ve altı ay sonraki ikinci ölçümler arasında anlamlı bir fark bulunamadı ($p=0.428$). Buna karşılık kontrol grubunun değerleriyle ikinci ölçüm değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı olma özelliğini koruyordu (Şekil 2).

Hasta grubunda F_2 değerleri açısından yapılan karşılaştırmada, ilk ve altı ay sonraki ikinci ölçümler arasında anlamlı fark elde edildi ($p=0.00$). Ayrıca kontrol grubunun değerleriyle ikinci ölçüm değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıydı (Şekil 3).

Dört yaş altı hasta ve kontrol gruplarının değerlendirilmesinde, hasta grubunda /a/ seslisinin F_0 ortalaması 297.09 Hz ($SS=23.77$), kontrol grubunda ise 291.07 Hz ($SS=36.69$) idi. Bu fark istatistiksel olarak anlamlı değildi ($p=0.447$).

Dört yaş üstü hasta ve kontrol gruplarının değerlendirilmesinde, hasta grubunda /a/ seslisinin F_0 fundamental frekans ortalamaları 315.37Hz ($SS=31.74$), kontrol grubunda ise 289.90 Hz ($SS=14.77$) bulundu. Bu fark istatistiksel olarak anlamlıydı ($p=0.02$).

Dört yaş altı hasta grubunda /a/ seslisinin F_1 ortalamaları 1191.79 Hz ($SS=282.70$), kontrol grubunda ise 1077.81 Hz ($SS=150.96$) idi. Bu fark istatistiksel olarak anlamlı değildi ($p=0.64$). Dört yaş üstü hasta grubunda /a/ seslisinin F_1 frekans ortalamaları



Şekil 1 - Hasta grubu ilk (hasta ilk F_0) ve ikinci (hasta ikinci F_0) ölçüm değerlerinin F_0 ile kontrol grubu F_0 'nun karşılaştırması.

1300.89 Hz (SS=301.72), kontrol grubunda ise 1135.45 Hz (SS=124.03) bulundu. Bu fark istatistiksel olarak anlamlıydı (p=0.026).

Dört yaş altı hasta grubunda /a/ seslisinin F₂ ortalamaları 1931.93 Hz (SS=145.70), kontrol grubunda ise 1826.25 Hz (SS=122.05) idi. Aradaki fark istatistiksel olarak anlamlı değildi (p=0.126). Dört yaş üstü hasta grubunda /a/ seslisinin F₂ frekans orta-

lamaları 2080.81 Hz (SS=301.72), kontrol grubunda ise 1848.9 Hz (SS=90.27) bulundu. Aradaki fark anlamlı değildi (p=0.174).

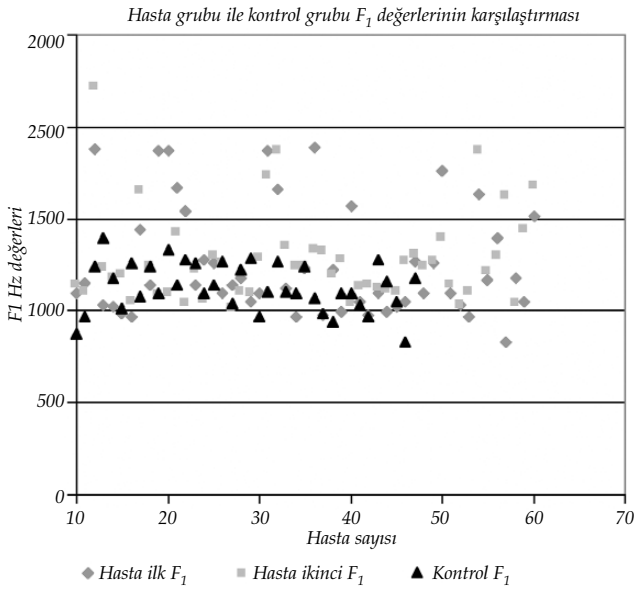
Olgular F₀, F₁, F₂ değerlerindeki değişimi izlemek amacıyla 18 aydan kısa ve 18 aydan uzun süre implant kullananlar olmak üzere 2 grupta değerlendirildiğinde, en az 18 aydır implant taşıyan hastaların F₀, F₁ ve F₂ değerlerinin normal değerlere, koklear implantını daha az süre taşıyan gruba göre daha çok yaklaştığı görüldü. Ancak bu yaklaşma istatistiksel olarak anlamlı değildi (p>0.05) (F₀ değerleri Şekil 4'de, F₁ değerleri Şekil 5'de, F₂ değerleri Şekil 6'da gösterilmiştir).

TARTIŞMA

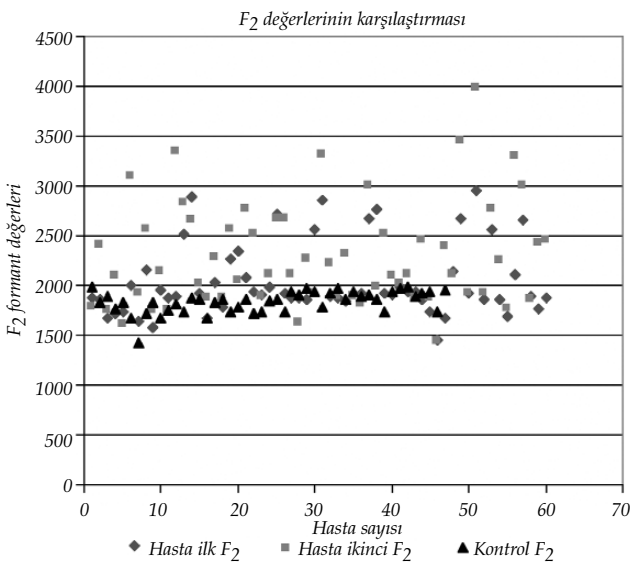
Prelingual ileri işitme kayıplarında olgu seçiminin iyi yapılması koşuluyla, implantasyonun yeterli işitme becerilerinin kazanılmasını sağlayabileceği bilinmektedir.^[8,9] Bu olgularda işitme gelişiminin doğal bir sonucu olarak işitme seviyesiyle uyumlu konuşma ve dil becerilerinin gelişmesi de beklenebilir. Burada kritik soru hangi olguların iyi implant adayı olarak belirleneceğidir. İmplanttan yarar görmeyecek hastaların elimine edilmesi buna karşılık işitme cihazıyla rehabilite edilecek hastalara da gereksiz yere implantasyon yapılmaması, hem etik hem de ekonomik açıdan büyük önem taşımaktadır.

İmplant performansında ve buna bağlı olarak konuşma ve dil gelişiminde hastaya ait etkenlerin en önemli belirleyiciler olduğu bilinmektedir. Ayrıntılı bir odyolojik değerlendirme, karar vermede büyük önem taşır.^[10] İşitme kaybının etyolojisi de implanttan yararlanmayı ve dolayısıyla artikülasyon gelişimini önemli ölçüde etkilemektedir.^[11,12] Progresif işitme kayıplı olgularda muhtemelen adaptasyon ve artikülasyon gelişimi çok iyi olmaktadır. Yalnız kokleayı tutan kronik otit, travma, otoskleroz, ani sağırılık, ototoksosite, kabakulak, labirentit gibi olgularda da sonuçlar beklendiği şekilde daha başarılı olarak bildirilmektedir.^[13,14] Buna karşılık menenjit, Guillian-Barre sendromu, hemosiderozis, multiple skleroz, miyastenia graves gibi nöron kaybıyla giden ve/veya işitmenin merkezi yollarını da etkileyen patolojilerde implant performansı olumsuz etkilenecektir.

Prelingual-perilingual işitme kaybı olan olgularda, hastanın implantasyon sırasındaki yaşı, eğitim alıp almadığı ve işitme kaybının etyolojisi implant performansında en önemli belirleyicilerdir.^[4,5] Erken implantasyonun işitme ve konuşma gelişimi açısın-

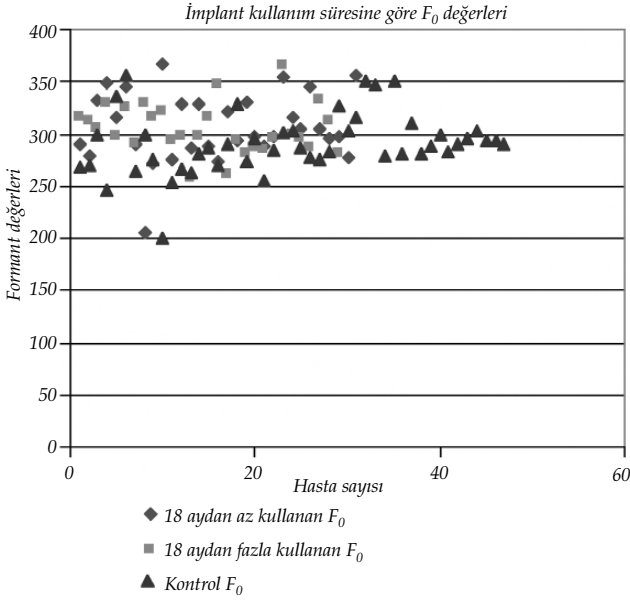


Şekil 2 - Hasta grubu ilk (hasta ilk F₁) ve ikinci (hasta ikinci F₁) ölçüm değerlerinin F₁ ile kontrol grubu F₁'in karşılaştırması.

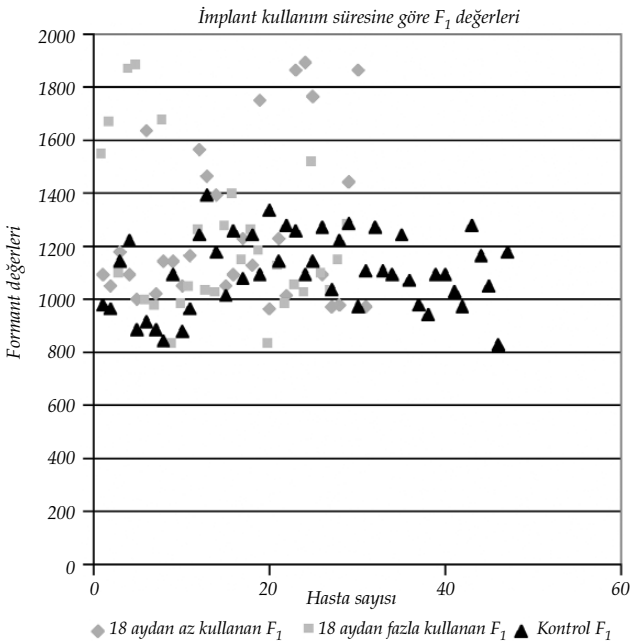


Şekil 3 - Hasta grubu ilk (hasta ilk F₂) ve ikinci (hasta ikinci F₂) ölçüm değerlerinin F₂'si ile kontrol grubu F₂'sinin karşılaştırması.

dan değeri bilinmekle birlikte çok küçük çocuklarda, özellikle doğuştan olgularda, işitme kaybının derecesi ve işitme cihazından yarar görüp görmeyeceğinin belirlenmesi her zaman çok kolay olmamakta, bazen uzun gözlem dönemlerinden sonra karar verilebilmektedir. Bugün için bu gibi olguların en az



Şekil 4 - İmplantını 18 aydan kısa ve 18 aydan uzun süredir kullanan hasta gruplarının F₀ değerlerinin kontrol grubu ile karşılaştırmalı grafiği.

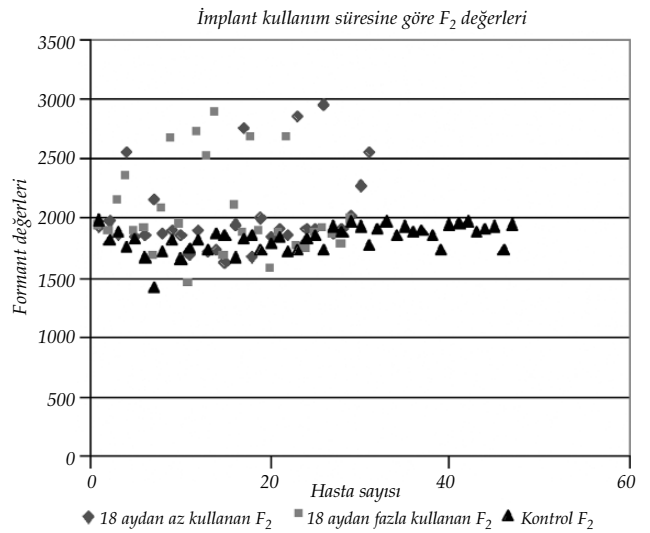


Şekil 5 - İmplantını 18 aydan kısa ve 18 aydan uzun süredir kullanan hasta gruplarının F₁ değerlerinin kontrol grubu ile karşılaştırmalı grafiği.

altı ay cihazlı olarak eğitim ve odyolojik incelemeye tabi tutulması genel olarak kabul görmektedir.^[15]

İyi bir konuşma ve dil gelişimi ancak normal işiten çocuklarda spontan olarak gelişir. Bu gelişim için çocuğun doğru yaşta, doğru işitsel uyaranlara yeterince uzun süre maruz kalması ve bir işitsel belleğin oluşması şarttır. İşitmesi normal bir çocuğun yeterince erken yaşta yeterli uyaranla karşılaşmaması halinde dil ve konuşma becerilerinin gelişmeyeceği çok uzun zamandan beri bilinmektedir.

Değişik derecelerde işitme kaybı, dil ve konuşma gelişimini bozar. Sağırılık ise konuşma fonksiyonuna zarar veren en önemli unsurlardan biridir. Doğuştan sağır hastalarda ya da işitme yeteneğini, özellikle ses ya da konuşmanın yoğun geliştiği dönemde (prelingual dönem ve 8-9. yaş diye de söyleyebileceğimiz okuma yazma yeteneğinin gelişimine kadar) kaybetmiş hastalarda dil ve konuşma gelişimi ancak yoğun rehabilitasyonla ve çok sınırlı sayıda olguda mümkün olmaktadır. Çoğu zaman doğuştan işitme engelli olan olgularda artikülasyon sistemi etkin kullanılsa da anatomik olarak normal olması beklenir.^[16] Ancak özellikle uygun bir rehabilitasyon süreci yoksa, periferik konuşma organı fonksiyonel bazı değişiklikler geçirir. Ortaya çıkan rahatsızlıklar, özellikle nefes alma, fonasyon ve artikülasyonda kendini gösterir. Bunlar fonasyon ve konuşma sırasında düzgün olmayan respirasyon, doğru olmayan vokal kord aktivitesi, rezonans kavitesinin şeklini ve sesi azaltan hatalı kas fonksiyonlarıdır.^[16]



Şekil 6 - İmplantını 18 aydan kısa ve 18 aydan uzun süredir kullanan hasta gruplarının F₂ değerlerinin kontrol grubu ile karşılaştırmalı grafiği.

Konuşma bozuklukları subjektif ve objektif yöntemlerle gösterilebilir. Fonasyon, artikülasyon, ses rezonansı gibi pek çok değişkeni bir arada değerlendiren objektif yöntemler henüz geliştirilememiştir. Konuşmayı bütün olarak ancak subjektif testlerle değerlendirmek mümkündür. Ancak bu subjektif değerlendirme yöntemleri tartışmalıdır ve günümüzde uluslararası kabul gören subjektif değerlendirme protokolü yoktur. Subjektif ve objektif değerlendirmeler arasındaki ilişki birçok kez araştırılmıştır.

Konuşmanın en önemli öğelerinden biri fonasyondur ve daha önce de belirtildiği gibi işitme kaybına bağlı konuşma bozukluklarında fonatuar fonksiyonda da değişik derecelerde bozulma olmaktadır. Bu durumda, bu hastalarda fonasyondaki bozuklukları gösterebilmek ve zaman içerisinde işitsel fonksiyonların düzelmesiyle fonatuar fonksiyonlardaki gelişmeyi objektif olarak saptamak bir değer taşıyabilir. Günümüzde, ses kalitesini objektif olarak gösteren bir ölçüme şiddetle ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ölçüm sesin çok boyutlu natürünü yansıtmalı ve güvenilir olmalıdır. Sese ait dört değişkenin (MPT (maksimum fonasyon süresi), F_0 (high), I (Şiddet) (low), jitter) lineer kombinasyonundan oluşan disfoni şiddet endeksinin (DSI) bu ihtiyacı karşılayacağı düşünülmektedir.

Akustik ölçümler, kadınlar ve erkekler arasındaki artikülasyon ve glottal konfigürasyonda ortaya çıkabilen farklılıklar hakkında bilgi verir. Formant frekansları supraglottik filtre sisteminin büyüklüğünü ve şeklini yansıtır. Formant amplitüdüleri supraglottik kaviteler arasındaki ilişkinin yanı sıra vokal şiddet seviyeleri hakkında da bilgi verir. Vokal trakt konfigürasyonları, vokal boşluğun büyüklüğü ve şeklindeki farklılıklar yüzünden gelişim sırasında değişiklikler göstermektedir. Bu yüzden de farklı yaşlarda konuşmanın akustik özelliklerinin incelenmesi önemlidir. Ayrıca vokal şiddetteki değişimlerle formant frekans ve amplitüdüdeki farklılıkların araştırılması çok önemlidir. Çünkü ses şiddetinin, artikuler ve glottik konfigürasyonu etkilediği bilinmektedir. Bu akustik ölçümlerle bir araya getirilmiş olan bir gelişim planı, vokal şiddet değişkenliğinin etkilerini ve insanın vokal boşluğunun gelişim ve büyümesini araştırmak için invaziv olmayan bir teknik sağlar.^[7]

Yaşla ilgili olarak formant frekanslarındaki değişiklikleri inceleyen birçok çalışma yapılmıştır. F_1 , F_2 , F_3 formant frekanslarının çocuklarda en yüksek olduğu, artan yaşla birlikte azalma gösterdiği, yetişkin

erkeklerde ise en düşük seviyede olduğu bulunmuştur. Busby ve Plant^[17] çocukları araştırmış ve F_1 , F_2 , F_3 'teki değişimin ya da farklılığın beş ile yedi yaş arasında daha önemli olduğunu, buna karşın dokuz ile 11 yaş arasında daha az önemli olduğunu göstermişlerdir. Formant frekansındaki değişiklikler, vokal boşluğun büyüklüğü ile yakından ilişkilidir. Bu yüzden değişikliğinin miktarı ve oranı daha büyük yaş grupları arasında, daha küçük yaş gruplarına nazaran daha küçüktür. Bu çalışmaların bazıları incelemesi yapılan sesli harfe bağlı olarak değişme eğilimleri göstermiştir. Busby ve Plant^[17] /a/ sesi gibi sesli harflerin F_1 'i için yaşla ve cinsiyetle bağlantılı olarak önemli değişiklikler bulmuştur. Bu sesli harflerin bir hayli açık vokal boşlukla çıkartılabileceği ve total vokal boşluğun büyüklüğünden etkilenilebileceği sonucuna varmışlardır. Eçuchi ve Hirsch diğer seslilere kıyasla /a/ sesinin F_1 'i için en yüksek değişkenlik miktarını ortaya çıkarmışlar, /a/ sesinin söylenmesinde yaşla ilgili olarak bir değişiklik bulmamışlardır.^[17] Bu yüzden birçok çalışma F_1 'in yaşın ilerlemesiyle birlikte arttığını göstermesine karşın, /a/ sesi için olan trendin anlaşılması güçtür.

Formant frekansların araştırılmasıyla ilgili önceki pek çok çalışma, küçük yaş grubundaki çocukları aynı gruba dahil etmiş ve cinsiyet farklılığına çok az önem vermiştir.^[7] Son zamanlarda çocuklardaki cinsiyet farklılıkları araştırılmıştır. Lee ve ark.^[18] cinsiyet farklılıklarının F_2 ve F_3 için yaklaşık 15 yaşına kadar önemli olmadığını bulmuşlardır. Busby ve Plant^[17] bir yaş grubundaki tüm sesli harflerdeki F_2 için, ince sesli harflerde F_1 için değerlerin, kadınlarda erkeklerle göre daha yüksek olduğunu rapor etmiştir. Çocuklarda görülen cinsiyete bağlı farklılıkların, farengeal uzunluktaki farklılıktan ileri gelebileceğini göstermiştir. Ayrıca cinsiyet farklılıklarının, özellikle F_1 için, büyüklük farklılığına ek olarak ağız açılma büyüklüğü ve larengeal elevasyon gibi artikuler farklılıklarla bağlantılı olabileceğini ileri sürmüştür. Nordstrom, erkek ve kadınlardaki anatomik farklılıkların, formant farklılıklarının sadece belirli bir parçasını açıklayabileceğini bulmuştur.^[17]

Formant frekansları, ses oluşumuyla ilgili anatomik yapıların büyüklüğü hakkında bilgi verecek şekilde yorumlanmıştır. Sefalometrik veriler erkek ve kız çocuğundaki büyümenin değişik oranlarda olduğunu saptamıştır. Büyüklük faktörüne ek olarak da erkekteki kemik büyüme oranının kızlarınkinden farklı olmasının, yüz yapısındaki değişikliklerle sonuçlandığını bildirmiştir. Son olarak, bazı veriler

genç yaşta bile erkek ve kızlar arasında oral kavitede minimal büyüklük farkı olduğunu göstermesine karşın, birçok yayın puberteye kadar herhangi bir büyüklük farkının olmadığı görüşünü desteklemektedir.^[7]

Lee ve ark.nın^[18] çalışması dışında önceki çalışmaların hiçbiri daha ileri yaş grubunu incelememiştir. Örneğin, Equchi ve Hirsch senelik örnekleyerek küçük yaş gruplarını sistematik olarak çalışmış, fakat 13 yaşına gelen çocuklarda çalışmayı durdurmuşlardır.^[17] Hillenbrand ve ark.^[19] sadece 10 -12 yaş grubu çocuklarda çalışmıştır. Kent ve Forner^[20] ise dört-altı yaş grubu çocuklar ve 12 yaş grubu kız çocuklarda çalışmışlardır.

Özellikle vokal boşluk farklılıklarının, cinsiyetler arasında formant farklılıklarının oluşmasının en büyük etkeni olduğuna inanılmasına karşın, vokal trakt uzunluğu ve formant frekans değişikliği arasında mükemmel bir lineer ilişki olmadığı bilinmektedir. Bunun bir nedeni kadınların erkeklere göre hem daha kısa bir vokal boşluğa sahip olması hem de vokal yolun şekil farklılıklarıdır.

Özetle hem vokal trakt büyüklüğü hem de şeklindeki farklılıklar formant frekanslarını etkiler ve sonuçta da formant frekans farklılıkları ortaya çıkabilir. Sefalometrik veriler genç kızlarla erkekler arasında küçük farklılıklar gösterir. Oral kavite ve yüzün sefalometrik çizimlerine göre, kızlar ve erkeklerin 9-12 yaşa kadar büyüklük ve şekil açısından karşılaştırılabilir olduğu ortaya çıkmıştır. Ancak bu yaşlara kadar erkeklerde oral kavite biraz daha büyüktür. Önemli büyüklük farklılıkları 12-15 yaş arasında görülmektedir.^[7]

Sağırlığın ses gelişiminde önemli bozulmalara yol açtığı bilinmektedir. Koklear implantasyon, sağır çocuklarda iletişimin geliştirilmesinde iyi bir yoldur. Yapılan birçok çalışmada implantasyondan altı ay sonra bile çocukların ses çıkarma yeteneklerinde önemli değişiklikler olduğu gösterilmiştir. Dahası, implant öncesinde hiçbir işitsel deneyimi olmayan ya da çok az olan konjenital derin sensorinöral işitme kayıplı, çok küçük çocuklarda konuşma gelişimi görülmüştür. Bununla birlikte koklear implantlı çocukların seslerinin, yaşıtı normal çocuklara tıpa tıp benzemesi mümkün değildir.^[21]

Koklear implantlı hastalarda ses gelişimini inceleyen çalışma sayısı çok fazla değildir ve yapılan çalışmalarda da olgu grupları çok küçüktür ve genellikle kontrol grubu içermemektedir. Perrin ve ark.^[22]

tarafından, yaşları 6-11 arasında, biri postlingual üçü prelingual işitme engelli olan ve 6-10 yaşları arasında koklear implant takılmış dört çocuk incelenmiştir. Akustik incelemeler farklı zaman aralıklarında, koklear implant sonrasında 0-26 ay arasında yapılmıştır. Çocukların çoğu F_0 değerlerinde normalleşme göstermiştir. Monini ve ark.^[23] tarafından auditor kontrolün kısa dönemdeki etkilerini belirlemek amacıyla ameliyat öncesi ile konuşma prosesörünün yerleştirilmesinden hemen sonra fundamental frekansları ölçülerek, yaşları 12-14 arası olan üç çocuk incelenmiştir. Fundamental frekans bir çocukta sabit, birinde azalmış, birinde ise yükselmiş olarak bulunmuştur.

Fundamental frekansın implant takılmış çocuklarda, işitme bozukluğu olan ya da işitme engelli hastalar kadar yüksek olmadığı bildirilmektedir.^[24,25] Konuşma işlemcisinin aktivasyonundan sonra F_0 normal ya da normalin hemen üstünde bir değerde lokalize olur. Bununla birlikte bireysel farklılıklar da söz konusudur.

Birinci formant ve F_2 parameterelerini araştıran çalışmalar daha da kısıtlıdır. Dokuz-14 yaş arası prelingual derin sensorinöral işitme kayıplı dört çocukta, metin okumada farklı sesli harflerin F_1 , F_2 ve F_3 'ü araştırılıp kontrol grubuyla karşılaştırılmıştır.^[21] Kontrol grubunun formant değerleri implantlılara nazaran düşük bulunmuş ancak hiçbir detaylı sonuç verilmemiştir. Aynı çalışma implantasyondan sonra farklı zaman aralıklarında, 6-10 yaşlarında olan dört çocuk için 1995 yılında yayımlanmış ve bu çalışmada F_1 değeri, F_2 ve F_3 'e nazaran normal değerlere daha yakın bulunmuştur.^[22]

Monini ve ark.^[23] tarafından yapılan çalışmada, konuşma prosesörünün ilk yerleşiminden hemen sonra üç çocukta ikisinde düşük F_1 bulunmuş, bir çocukta F_2 ve F_3 koklear implant takılmasıyla birlikte düşmüştür. Bir çocukta formantlar yükselmiş, bir çocukta hiçbir değişiklik görülmemiştir. İmplantın aktive olduğu dönemde ise dokuz olgunun beşinde F_1 ve F_2 'nin düştüğü, F_3 'ün ise olgular arasında uniform bir patern göstermediği belirtilmektedir.

Benzer bir yaklaşım, yaklaşık 2.5 yıldan beri implant kullanmakta olan, ototoksisite ve menenjit yüzünden prelingual dönemde sağır olmuş altı yaşında iki kız çocuğunu araştıran Higgins ve ark.^[26] tarafından da kullanılmıştır.

Sesli bir harfin tanımlanması ve kavranması için önemli olan şey sadece net bir frekans değil, aynı za-

manda F_1 ve F_2 formantlarının birbiriyle ilişkili olmasıdır. Üçüncü formant sesli harfin anlaşılabilirliğinde küçük bir rol oynamaktadır. İlk iki formantın sentralizasyonu derin sensorinöral işitme kayıplı hastalarda iyi bilinmektedir. Birinci formantın F_2 'ye oranı 1'e ne kadar yakın olursa formant değerleri o kadar sentralize olur.^[27,28]

Seifert ve ark.^[6] tarafından yapılan çalışma sonucunda, implantı kullanım süresi, yaş ya da cinsiyetin formant frekanslarının normal gruba sentralize olmasında hiçbir etkisi olmadığı kaydedilmiştir. Ancak normal grupla dört yaşından sonra implant takılmış çocuklar arası önemli bir fark bulunmuştur. Bununla birlikte dört yaş öncesi implant takılmış çocuklar için normal gruptan anlamlı bir fark bulunmamıştır. Fundamental frekans açısından bakıldığında ise, dört yaşından önce implant takılan çocuklarda F_1 ve F_2 değerlerinden bile daha az bir sapma göstermiştir.

Görüldüğü gibi koklear implantasyonun ses parametreleri üzerine etkisini araştıran çalışmalar genellikle küçük hasta grupları üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu konuda Türkiye'de yapılmış başka çalışma yoktur. Bu açıdan çalışmamız implantasyonun değerini objektif olarak gösterme açısından önem taşıyabilir.

Bizim çalışmamızda da dört yaş öncesi implante edilen çocuklar ile kontrol grubu arasında fundamental frekans ve F_1 , F_2 formant frekansları açısından anlamlı bir fark bulunmamıştır. Ancak dört yaşından sonra implante edilen grup ile kontrol grubu karşılaştırıldığında, hem F_0 hem de F_1 ve F_2 değerleri istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek bulunmuştur. Bu veriler erken implantasyonun normal ses gelişimi açısından büyük önemi olduğunu ortaya koymaktadır.

İmplant kullanım süresinin akustik parametreler üzerine olası etkisini göstermek için tüm hastalar altı ay sonra bir kez daha test edilmiştir. Dört yaş öncesi implante edilen grupta F_0 , F_1 ve F_2 değerlerinde beklendiği gibi anlamlı bir değişiklik görülmezken, dört yaş sonrası implante edilen grupta bu değerlerin kontrol grubu değerlerine daha çok yaklaştığı görülmüştür. Bu yakınlaşmanın özellikle fundamental frekans değerlerinde çok daha belirgin olduğu ve kontrol grubu değerleriyle olan farkının artık istatistiksel olarak anlamlı olma özelliğinin ortadan kalktığı gözlenmiştir.

Bu veriler özellikle geç (4 yaş sonrası) implante edilen çocuklarda, implant kullanım süresinin ses

gelişimi açısından önem taşıdığını düşündürmektedir. Bir veya iki yıl gibi süreler sonunda yapılacak akustik incelemelerin, kullanım süresinin olası etkilerini gösterme açısından daha da anlamlı sonuçlar verebileceği öne sürülebilir.

İşitme sisteminin fonksiyonel maturasyonunun normal gelişimi için gerekli olan, yeterli auditoral stimülasyonunun ilk yıllarda algılanması gerektiği iyi bilinmektedir. İşitme engelli çocuklarda normal dil öğrenimi için en etkili stratejinin, işitme kaybının altı aylıkken tanımlanması ve tedavisi olduğu kanıtlanmıştır.^[29] Daha erken bir implantasyonun çok daha iyi sonuçlar verebileceği düşünülebilir. Gerçekten de verilerimiz implantasyonun erken yaşta yapılmasının, formant frekans değerlerinin daha büyük oranda normallere yaklaşmasını sağladığını ortaya koymaktadır. Bu durum erken implantasyonun konuşma ve dil gelişimi-normalizasyonu açısından büyük önem taşıdığına bir göstergesi olabilir.

Bilindiği gibi tarama testlerinin yaygın olarak kullanılmaya başlanması ve objektif odyolojik incelemelerdeki gelişmeler, bugün iki yaş ve altındaki olgularda da implantasyona olanak vermektedir. Bu hasta grubunda subjektif testlerle dil ve konuşma gelişimini göstermek son derece güçtür. Bu açıdan fonatuar incelemelerin implanttan yararlanmayı gösterme açısından değer taşıyabileceği düşünülebilir.

Kliniğimizde iki yaş altında implante edilen yedi olgu, istatistiksel analiz için yeterli sayıda olmadığı düşüncesiyle dört yaş altı grup içerisinde incelenmiştir. Ancak bu olguların oranı giderek artmaktadır. Bu durumda iki yaş altı implantasyonun ses gelişimine etkileri gelecek için iyi bir araştırma konusu olarak ortaya çıkmaktadır.

Olgu grubumuzun literatürdeki pek çok çalışmaya göre geniş olmasının ve zaman içerisinde akustik parametrelerdeki değişmelerin gösterilmesinin önemli olduğu ve bu çalışmanın implantasyonun ses gelişimi ve dolayısıyla dil ve konuşma gelişimi açısından değerini ortaya koyacak nitelikte olduğu kanısına varılmıştır.

Prelingual işitme kayıplarında implantasyon özellikle konuşma ve dil gelişimi açısından büyük yarar sağlamaktadır. Objektif fonatuar inceleme yöntemleri, çalışmamızda olduğu gibi bu gelişimi göstermede değer taşıyabilir. Özellikle geniş çalışmalarda, farklı hasta gruplarında yapılacak araştır-

malar, koklear implantasyonun zamanlaması, izlemi ve değişik rehabilitasyon yöntemlerinin karşılaştırılması açısından yararlı olabilir.

Çalışmamız implantasyonun olabildiğince erken yapılmasının ses, konuşma ve dil gelişimi açısından değerini göstermesinin yanı sıra implant kullanım süresinin de bu gelişme açısından önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

KAYNAKLAR

1. Pflugst BE, Franck KH, Xu L, Bauer EM, Zwolan TA. Effects of electrode configuration and place of stimulation on speech perception with cochlear prostheses. *J Assoc Res Otolaryngol* 2001;2:87-103.
2. Shin YJ, Fraysse B, Deguine O, Vales O, Laborde ML, Bouccara D, et al. Benefits of cochlear implantation in elderly patients. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2000;122:602-6.
3. Perkell J, Numa W, Vick J, Lane H, Balkany T, Gould J. Language-specific, hearing-related changes in vowel spaces: a preliminary study of English- and Spanish-speaking cochlear implant users. *Ear Hear* 2001;22:461-70.
4. Pyman B, Blamey P, Lacy P, Clark G, Dowell R. The development of speech perception in children using cochlear implants: effects of etiologic factors and delayed milestones. *Am J Otol* 2000;21:57-61.
5. Ouellet C, Le Normand MT, Cohen H. Language evolution in children with cochlear implants. *Brain Cogn* 2001;46:231-5.
6. Seifert E, Oswald M, Bruns U, Vischer M, Kompis M, Haeusler R. Changes of voice and articulation in children with cochlear implants. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2002;66:115-23.
7. Huber JE, Stathopoulos ET, Curione GM, Ash TA, Johnson K. Formants of children, women, and men: the effects of vocal intensity variation. *J Acoust Soc Am* 1999;106(3 Pt 1):1532-42.
8. Osberger MJ, Fisher L. Preoperative predictors of postoperative implant performance in children. *Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl* 2000;185:44-6.
9. Dolan-Ash S, Hodges AV, Butts SL, Balkany TJ. Borderline pediatric cochlear implant candidates: preoperative and postoperative results. *Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl* 2000;185:36-8.
10. Walch C, Moser M, Anderhuber W, Kole W. [91 dB hearing loss-the threshold for cochlear implant?]. *HNO* 2000;48:828-31. [Abstract]
11. Rashad UM, Flood LM, El-Hmd KA, Hawthorne MR. Labyrinthine dysplasia, meningitis, and sensorineural deafness: a complex relationship. *J Otolaryngol* 2000;29:110-3.
12. Mitchell TE, Psarros C, Pegg P, Rennie M, Gibson WP. Performance after cochlear implantation: a comparison of children deafened by meningitis and congenitally deaf children. *J Laryngol Otol* 2000;114:33-7.
13. Proops DW. Adult cochlear implantation: the Birmingham and United Kingdom experiences. *Otolaryngol Clin North Am* 2001;34:447-53.
14. Hamzavi J, Franz P, Baumgartner WD, Gstoettner W. Hearing performance in noise of cochlear implant patients versus severely-profoundly hearing-impaired patients with hearing aids. *Audiology* 2001;40:26-31.
15. Helms J. Cochlear implants for completely deaf patients, scientific background-results-perspectives. *Otolaryngol Pol* 2000;54:117-9.
16. Szyfter W, Pruszewicz A, Woznica B, Swidzinski P, Szymiec E, Karlik M. The acoustic analysis of voice in patients with multi-channel cochlear implant. *Rev Laryngol Otol Rhinol (Bord)* 1996;117:225-7.
17. Busby PA, Plant GL. Formant frequency values of vowels produced by preadolescent boys and girls. *J Acoust Soc Am* 1995;97:2603-6.
18. Lee S, Potamianos A, Narayanan S. Acoustics of children's speech: developmental changes of temporal and spectral parameters. *J Acoust Soc Am* 1999;105:1455-68.
19. Hillenbrand J, Getty LA, Clark MJ, Wheeler K. Acoustic characteristics of American English vowels. *J Acoust Soc Am* 1995;97(5 Pt 1):3099-111.
20. Kent RD, Forner LL. Developmental study of vowel formant frequencies in an imitation task. *J Acoust Soc Am* 1979;65:208-17.
21. Perrin E, Berger-Vachon C, Topouzkhanian A, Truy E, Morgon A. Evaluation of cochlear implanted children's voices. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 1999;47:181-6.
22. Perrin ME, Berger-Vachon C, Le Dissez C, Kauffmann I, Morgon A. The normality of the voice of cochlear implant children. *Adv Otorhinolaryngol* 1995;50:167-73.
23. Monini S, Banci G, Barbara M, Argiro MT, Filipo R. Clarion cochlear implant: short-term effects on voice parameters. *Am J Otol* 1997;18:719-25.
24. Bakkum MJ, Plomp R, Pols LW. Objective analysis versus subjective assessment of vowels pronounced by deaf and normal-hearing children. *J Acoust Soc Am* 1995;98(2 Pt 1):745-62.
25. Gilbert HR, Campbell MI. Speaking fundamental frequency in three groups of hearing-impaired individuals. *J Commun Disord* 1980;13:195-205.
26. Higgins MB, McCleary EA, Schulte L. Articulatory changes with short-term deactivation of the cochlear implants of two prelingually deafened children. *Ear Hear* 2001;22:29-45.
27. Osberger MJ. Training effects on vowel production by two profoundly hearing-impaired speakers. *J Speech Hear Res* 1987;30:241-51.
28. Waldstein RS. Effects of postlingual deafness on speech production: implications for the role of auditory feedback. *J Acoust Soc Am* 1990;88:2099-114.
29. Downs MP, Yoshinaga-Itano C. The efficacy of early identification and intervention for children with hearing impairment. *Pediatr Clin North Am* 1999;46:79-87.