

Gürültülü Ortamda Çalışmanın Vestibüler Uyarılmış Myojenik Potansiyeller Üzerine Etkileri

Effects of Occupational Noise on Vestibular Evoked Myogenic Potentials

*Dr. Elif AKSOY, **Dr. Şenol POLAT, ***Dr. Gediz Murat SERİN, ****Dr. Özlem GEDİK SOYUYÜCE, ****Dr. Zeynep GENÇE GÜMÜŞ, **Dr. Ömer Faruk ÜNAL, **Dr. Hasan TANYERİ

* Acıbadem Maslak Hastanesi, KBB ve Baş Boyun Cerrahisi Kliniği,
** Acıbadem Üniversitesi Tıp Fakültesi, KBB ve Baş Boyun Cerrahisi AD,
*** Acıbadem Bakırköy Hastanesi, KBB ve Baş Boyun Cerrahisi Kliniği,
****Acıbadem Maslak Hastanesi, Odyoloji Kliniği, İstanbul

ÖZET

Amaç: Kronik gürültüye maruziyetin vestibüler sistem üzerindeki olası etkilerinin vestibüler uyarılmış myojenik potansiyel testleri (VEMP) ile değerlendirilmesi.

Yöntem ve Gereçler: Kronik gürültüye maruz kalan hastanemiz merkezi sterilizasyon ünitesi çalışanlarından yaşları 23-45 arasında değişen (ortalama 32) altısı kadın toplam 15 gönüllü için etik kurul onayı alınarak odometri, transient uyarılmış otoakustik emisyon (TEOAE) ve VEMP testleri uygulandı. VEMP testinde latansı 15.09 milisaniyeden geç pik P1 ve/veya latansı 22.05 milisaniyeden geç pik N1 gecikmiş VEMP cevabı olarak tanımlandı. Benzer demografik özelliklerdeki 10 gürültülü ortamda çalışmayan gönüllüye de kontrol grubu olarak aynı testler uygulandı. Çalışmaya dahil edilen gönüllülerin gürültülü ortamda çalışma süreleri 8 ay-7 yıl (ortalama 2.68 yıl \pm 1.8) arasında değişmekteydi. Prospektif olarak planlanmış olan bu çalışmaya dahil edilen tüm gönüllülere kulak burun boğaz muayenesi yapıldı. Altmış beş yaş üzerinde olanlar ve geçirilmiş KBB hastalığı olanlar çalışmaya dahil edilmedi.

Bulgular: Çalışmaya dahil edilen hastaların hiçbirinde vestibüler semptom (baş dönmesi) yoktu. Tüm gönüllülerin otoskopik muayeneleri doğaldı. Çalışmaya dahil edilen yedi gönüllüde işitme normal sınırlarda idi (7/15, %46) ve 4kHz'de çentik yoktu. Sekiz gönüllüde ise saf ses işitme eşikleri normal sınırlarda olmasına rağmen bilateral 4 kHz'de çentik ve >40dB işitme kaybı saptandı (%53, 8/15). Bu gönüllülerin tümünde TEOAE alındı. Tüm kontrol grubunda ve çalışma grubundaki gönüllülerin 13'ünde (%87, 13/ 15) VEMP elde edildi. Çalışma grubunda sağ kulakta ortalama VEMP latansları P1 12.77 msn, N1 19.55 msn iken sol kulakta ortalama P1 12.82, N1 19.62 msn olarak ölçülmüştür. Sadece gürültüye bağlı işitme kaybı olan sekiz gönüllüden od-yogramında 4kHz'de çentik ve >40dB işitme kaybı olan ikisinde (%13.3, 2/15) hafif gecikmiş VEMP cevabı gözlemlendi. Kontrol grubunda ortalama VEMP latansları ölçüldüğünde ise sağ kulakta P1 11.35 msn, N1 18.42 msn, sol kulakta ise P1 11.37 msn, N1 18.47 msn saptanmıştır.

Sonuç: Sonuç olarak çalışma verilerimize göre kronik gürültüye maruz kalan olgularda VEMP ile saptanabilen vestibüler fonksiyon bozukluğu olan hasta oranı %13.3 olarak saptanmıştır.

Anahtar Sözcükler

VEMP; kronik gürültü; işitme kaybı; vestibüler sistem

ABSTRACT

Objective: To evaluate possible effects of chronic noise exposure on the vestibular system with vestibular evoked myogenic potentials (VEMP).

Material and Methods: After getting an approval from the local ethical committee of our institution, audiometry, transient evoked otoacoustic emission (TEOAE) and VEMP tests were performed on 15 volunteers exposed to chronic noise. Delayed VEMP was defined as the latency of peak P1 exceeding 15.09 milliseconds and/or of peak N1 exceeding 22.05 milliseconds. Six female, nine male volunteers working at the central sterilization unit of our hospital were aged between 23 and 45 (mean 32) and ten volunteers with similar demographic properties who were not exposed to chronic noise were included in the study as study and a control groups and they had gone through the same tests. The mean occupational noise exposure time interval of the volunteers included in the study group changed between 8 months and 7 years (mean 2.68 years \pm 1.8). All of the volunteers who were included in the study group of this prospectively planned research had gone through ear nose and throat (ENT) examinations. Volunteers over 65 years old and with a history of previous ENT disease were not included in the study.

Results: None of the patients included in the study had vestibular symptoms (vertigo). The otoscopic examinations of all volunteers were normal. Hearing thresholds of the seven volunteers included in the study group were within normal limits (7/15, 46%) and they did not have notched audiograms at 4kHz. Although pure tone hearing thresholds of the eight volunteers were within normal limits, they had bilateral notched audiograms at 4 kHz and >40dB hearing loss (53%, 8/15). Otoacoustic emissions (TEOAE) of all volunteers were present. VEMP responses of the all the volunteers of control group and 13 volunteers of the study group were present (87%, 13/ 15). In the study group, mean VEMP latencies of the right and left ears were measured and P1 and N1 peak values were 12.77ms- 19.55ms and 12.82 ms-19.62ms respectively. Only two (13.3%, 2/15) of eight volunteers with noise-induced hearing loss, who had a 4kHz notch and hearing loss >40dB on audiograms showed slightly delayed VEMP responses. When VEMP latencies of the control group were measured, peak P1 and N1 latencies of the right and left ears were 11.35 ms-18.42ms and 11.37ms-18.47 respectively.

Conclusion: As a result, according to our study data, the rate of vestibular dysfunction which can be detected with VEMP is 13,3% of the cases exposed to chronic noise.

Keywords

VEMP; chronic noise; hearing loss; vestibular system

32. Türk Ulusal Kulak Burun Boğaz ve Baş Boyun Cerrahisi Kongresi'nde poster olarak sunulmuştur.

Çalışmanın Dergiye Ulaştığı Tarih: 26.01.2011

Çalışmanın Basıma Kabul Edildiği Tarih: 01.06.2011



Yazışma Adresi

Dr. Elif AKSOY

Acıbadem Maslak Hastanesi,
KBB ve Baş Boyun Cerrahisi Kliniği,
Büyükdere cad. No: 40 34457 Maslak İstanbul
E-posta: elifayanoglu@yahoo.com

GİRİŞ

Yüksek ses ve gürültünün koklea üzerindeki zararlı etkileri ve sonucunda gelişebilecek işitme kayıpları bilinmektedir.¹⁻³ Gürültüye bağlı işitme kaybı (GBİK) iyi tanımlanmış bir durumdur.² Gürültünün vestibüler sistem üzerindeki etkilerine ise daha az ilgi gösterilmiş ve mesleki akustik travmanın ihmal edilmiş bir yönüdür.⁴⁻⁶ Bu konuda yapılmış kısıtlı sayıda araştırma mevcuttur. Ancak gürültüye maruziyet ve vestibüler bozukluklar arasında ileri sürülen korelasyonun varlığı da oldukça tartışmalıdır.⁷

Gürültü geçici veya kalıcı olarak işitme eşiklerini değiştirirse de, vestibüler değişiklikler daha zor anlaşılır çünkü vestibülo-oküler refleks maksimum şiddetlerde bile labirent açık (superior kanal dehisansı gibi) değil ise gürültüye daha az duyarlıdır ki bu durum Tulio fenomeni olarak adlandırılmıştır.^{8,9} Şiddetli gürültüye maruz kalma sonrası ortaya çıkan vestibüler semptomların sebebi yüksek ses ile sakkülün uyarılmasıdır. Sakküler makula ses ile aktive olur ve sakküler strioladan orijini alan düzensiz nöronlar özellikle etkilenir.¹⁰ Bunun ötesinde sakkülün anatomik olarak stapes tabanına yakınlığı yüksek sesin kokleanın yanı sıra sakkülde de hasar oluşturabileceğini düşündürmektedir.¹

Sakkülden kaynaklandığı kabul edilmiş olan vestibüler uyarılmış myojenik potansiyeller (VEMP) gürültünün sakkül üzerindeki etkilerini değerlendirmek için kullanılabilir. VEMP cevabı ipsilateral kulağa verilen akustik uyarı ile kontrakte sternokleidomastoid (SKM) kasından yapılan kayıt ile elde edilmektedir.¹¹ VEMP cevabı sakkül ve inferior vestibüler sinir integritesinin boyun bölgesine yansıyan vestibülospinal izdüşümüdür.¹² Bu çalışmada kronik gürültüye maruziyetin vestibüler sistem etkilerinin VEMP ile değerlendirilmesi amaçlandı.

YÖNTEM VE GEREÇLER

Kronik gürültüye maruz kalan hastanemiz merkezi sterilizasyon ünitesi çalışanlarından yaşları 23-45 arasında değişen (ortalama 32), altısı kadın 15 gönüllüye etik kurul onayı alınarak odyometri, transient uyarılmış otoakustik emisyon (TEOAE) ve vestibüler uyarılmış myojenik potansiyel testleri (VEMP) uygulandı. Benzer demografik özelliklerdeki 10 gürültülü ortamda çalışmayan gönüllüye de kontrol grubu olarak aynı testler uygulandı. Çalışmaya dahil edilen gönüllülerin gürültü-

lü ortamda çalışma süreleri 8 ay-7 yıl (ortalama 2.68 yıl \pm 1.8) arasında değişmekteydi. Merkezi sterilizasyon ünitesindeki gürültü düzeyleri 'sound level meter' ile ölçüldü. Gönüllüler haftada 5 gün 8 saat sürekli olarak 65 dBA yıkama makinesi ve 70 dBA sterilizasyon makinesi gürültüsüne maruz kalıyorlardı. Ayrıca gün içinde aralıklı olarak yaklaşık 150 kez kullandıkları, bir kullanımda maksimum 2 dk maruz kaldıkları 99 dBA hava tabancası gürültüsü mevcuttu. Prospektif olarak planlanmış olan bu çalışmaya dahil edilen tüm gönüllülere kulak burun boğaz (KBB) muayenesi yapıldı. VEMP cevabına 500Hz frekansı ve tone burst uyaran ile 60 yaşa kadar yaşın etkisi minimal olduğu için yaşları 23-45 arasında değişen (ortalama 32) gönüllüler değerlendirildi.¹¹ VEMP cevabı orta kulak patolojisinden etkilendiği için KBB hastalığı olanlar çalışma dışı bırakıldı.

Odyometri

İşitme eşikleri 125 Hz ve 8000Hz frekansları arasında bir odyometre cihazı (model AC 40, Interacoustics) ile ölçüldü.

TEOAE

TEOAE (Transient Evoked Otoacoustic Emissions) ölçümleri, Otodynamics ILO 288 aleti ile "Quickscreen" modunda yapıldı. Ortaya çıkan transient davranımlar 260 kez averajlandı. Uyaran 80(\pm 3) dB pkSPL şiddetinde verildi. TEOAE ölçümünde; 1, 1.4, 2.0, 2.8, 4.0 kHz frekans bantlarında elde edilen emisyonların amplitütleri ve tekrarlanabilirlikleri incelendi.

TEOAE'lerin var olma ölçütü, tekrarlanabilirliğin %70'in üzerinde olması ve belirtilen frekanslardan en az üçünde emisyon sinyal gürültü oranının (SNR) 3 dB'nin üzerinde olması şeklinde belirlendi. Normal koklea eksternal uyarana cevap olarak ses üretir. İnternal olarak üretilmiş bu ses TEOAE sırasında ölçülen cevaptır. Emisyon ölçümü için gönüllülerin dış kulak yoluna küçük bir prob yerleştirildi. Küçük bir hoparlör aracılığı ile ses verildi. Kulak tarafından üretilen cevaplar probun içerisine yerleştirilmiş küçük bir mikrofon tarafından kaydedildi. Sinyallerin ortalaması ile sıklıkla nefes alıp verme ve harekete bağlı oluşan arka plan gürültü seviyesi azaltıldı. Eğer koklea fonksiyonları normal ise, internal olarak üretilen ses kaydedildi ve bu da otoakustik emisyonun varlığı olarak yorumlandı. Bu testin koklear fonksiyon değerlendirilmesinde doğru olarak kullanılabilmesi için normal dış ve orta kulak fonksiyonlarının varlığı şarttır.

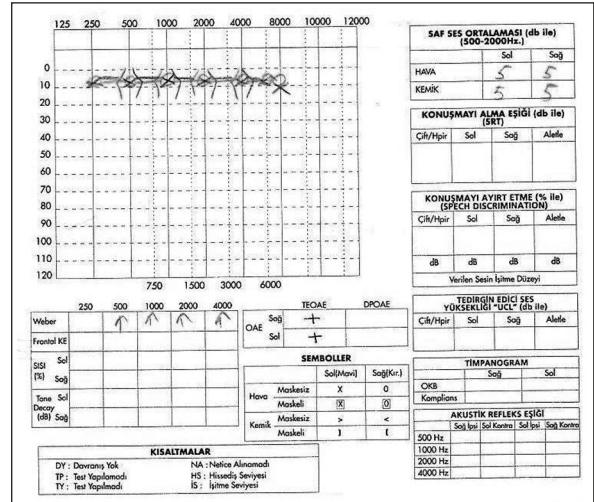
VEMP

VEMP kayıtları için hedef olarak SKM seçildi. Yüzelektromyografik (EMG) aktivitesi supin pozisyonunda kaydedildi (Interacoustics, Eclipse). Verteks elektrodu SKM kasın orta kısmına yerleştirildi (Uyarılan kulağın ipsilateralinde). Sağ ve sol elektrodlar mastoid üzerine yerleştirildi ve toprak elektrodu alına yerleştirildi. Kayıt sırasında gönüllünün kafasını kaldırıp, uyarılan kulağın ters yönüne çevirmesi ve gözlerini kapatması ve bu durumu uyarı bitene dek sürdürmesi istendi. EMG sinyalleri bantgeçirici 30-1200 Hz arasında filtrelenecek şekilde amplifiye edildi. Arka plan kas aktivitesini ölçmek için gönüllülere data toplanması sırasında SKM kaslarındaki EMG aktivitesinin seviyesi hakkında geribildirim yapıldı ve düzeltilmiş ortalama arka plan kas aktivitesinin en az > 50uV olacak şekilde tutulması sağlandı. 97dB nHL, rarefaction polarite, kısa ton 'burst'; 500Hz, rampa= 1 msn, plato= 2 msn akustik uyarı insert kulaklık aracılığı ile gönderildi. VEMP eşikler taranmadı, tüm gönüllülere 97 dB nHL eşiküstü uyaran verildi. Tek kulak akustik uyarı ve tek taraflı kayıtlar alındı. Bifazik dalga formlarının pozitif/negatif polaritesi P1 ve N1 dalgaları olarak isimlendirildiler. P1 ve N1 piklerinin tekrarlanabilirliğini onaylamak için ardışık uygulamalar yapıldı. Bu şekilde VEMP cevaplarının varlığı tespit edilmiş oldu. Bifazik P1-N1 dalga formlarının tekrarlanabilirliği saptanmadığında ise VEMP cevabının olmadığı tespit edilmiş oldu. VEMP cevabının latansı ve amplitüdü değerlendirildi. Latansı 15.09 milisaniyeden geç P1 tepesi ve/veya latansı 22.05 milisaniyeden geç N1 tepesi gecikmiş VEMP cevabı olarak tanımlandı.¹³

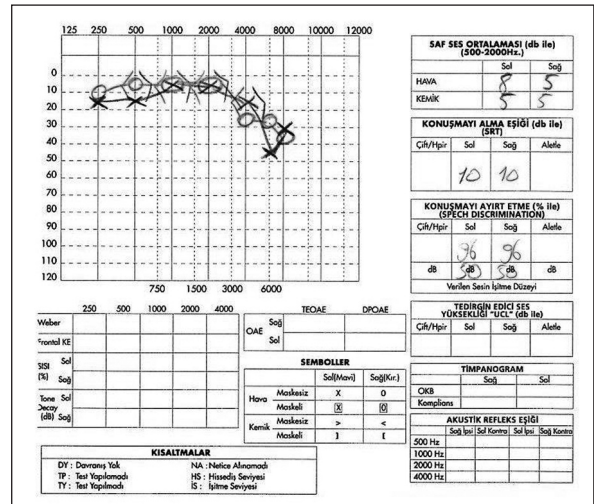
BULGULAR

Çalışmaya dahil edilen hastaların hiçbirinde vestibüler semptom (baş dönmesi) yoktu. Tüm gönüllülerin otoskopik muayeneleri doğaldı. Çalışmaya dahil edilen 7 gönüllüde işitme normal sınırlarda idi (7/15, %46) ve 4 kHz'de çentik yoktu (Resim 1). 8 gönüllüde ise saf ses işitme eşikleri normal sınırlarda olmasına rağmen bilateral 4 kHz'de çentik ve >40dB işitme kaybı saptandı (%53, 8/15) (Resim 2). Bu gönüllülerin tümünde otoakustik emisyonlar (TEOAE) alındı. Tüm kontrol grubunda ve çalışma grubundaki gönüllülerin 13'ünde (%87, 13/15) VEMP elde edildi (Resim 3) ve VEMP amplitüdüleri arasında anlamlı fark yoktu.

Çalışma grubunda sağ kulakta ortalama VEMP latansları P1 12.77 msn, N1 19.55 msn iken sol kulakta



Resim 1. Normal işitme eşikleri, kontrol grubu.

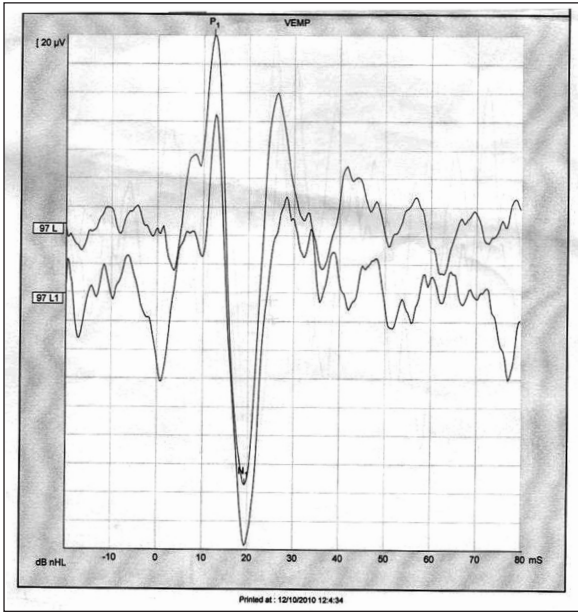


Resim 2. 4 kHz'de çentik olan gürültüye bağlı işitme kaybı olgusu, çalışma grubu.

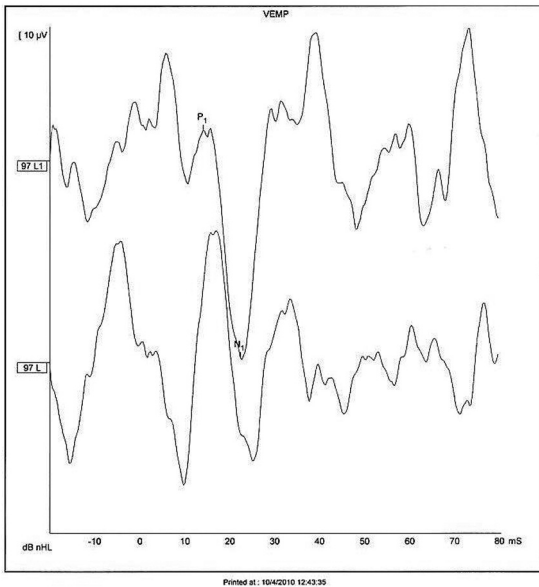
ortalama P1 12.82, N1 19.62 msn olarak ölçülmüştür. Sadece GBİK olan 8 gönüllüden odyogramında 4kHz'de çentik ve >40dB işitme kaybı olan olan ikisinde (%13.3, 2/15) gecikmiş VEMP cevabı gözlemlendi (Resim 4). Kontrol grubunda ortalama VEMP latansları ölçüldüğünde ise sağ kulakta P1 11.35 msn, N1 18.42 msn, sol kulakta ise P1 11.37 msn, N1 18.47 msn saptanmıştır.

TARTIŞMA

Bu çalışmada kronik gürültülü ortamda çalışan insanlarda, akustik travmanın işitme azlığı yanı sıra vestibüler fonksiyon bozukluğuna da yol açıp açmadığı



Resim 3. Normal vestibüler uyarılmış myojenik potansiyel cevabı, kontrol grubu, P1-12.33 msn N1-19.33 msn.



Resim 4. Gecikmiş vestibüler uyarılmış myojenik potansiyel cevabı, çalışma grubu, P1-16.33 msn N1-25 msn.

araştırılmıştır. Pek çok araştırmacı gürültüye bağlı vestibüler hastalığı olan bireylerin kronik gürültü maruziyeti sonucu yavaş yavaş vestibülopati geliştiği için subjektif denge bozukluğu yaşamadıklarını bildirmişlerdir.¹⁴ Shupak ve ark.³ tarafından yapılmış olan bir çalışmada vestibüler cevapta azalma, simetrik işitme kaybı ile ilişkilendirilmiştir. Simetrik olarak GBİK olan bireylerde klinik semptom görülme insidansının düşük oluşu

ise merkezi sinir sisteminin periferik vestibüler fonksiyon bozukluğunu kompanse etme yeteneğine bağlanmıştır.³ Bu çalışmada da gürültüye kronik olarak maruz kalmış olan bireylerin hiçbirinde vestibüler semptom (baş dönmesi) yoktu. Klinik olarak asemptomatik vestibüler sistem fonksiyon bozukluğundaki kompanse edilmiş uç organ hasarı ancak vestibülo-oküler arkın spesifik testleri ile tespit edilebilir.^{2,3}

GBİK kümülatif tipte bir sensörinöral işitme kaybıdır ve tipik çentikli bir odyogram konfigürasyonuna sahiptir. Bu odyogram tipik olarak yüksek frekanslarda düşüş ve özellikle 4 kHz'de dik bir çentikle karakterizedir. Bu klasik patern GBİK erken evresine ait bir göstergedir, 4kHz'de ortalama 30 dB kayıp vardır ve bu durum Corti organındaki dış tüy hücre hasarı ile uyumludur.¹⁵ Bir hayvan çalışmasında, 136-159 dB ses basıncına 20 dakika boyunca maruz bırakılan deneklerde, sakkül ve kokleanın (pars inferior) en sık ve en çabuk hasar gören bölgeler oldukları gösterilmiştir. Aynı çalışmada utrikül ve semisirküler kanalların (pars superior) yapısal değişikliklerden korunduğu gösterilmiştir.¹⁶ Pars superior ve inferior arasındaki bu farklılık membrana limitansın varlığına bağlanabilir. Bu bariyerler koklear ve vestibüler duysal hücrelerin zararlı maddelerin varlığında farklı duyarlılık göstermelerine sebep olmaktadır.¹⁷ Bu nedenle GBİK olgularında vestibüler fonksiyonu değerlendirmede VEMP kullanılması etkin bir yöntemdir.

Gürültüye bağlı işitme kaybı direkt mekanik hasar veya Corti organına metabolik hasar şeklinde ortaya çıkar.¹⁸ Metabolik hasar iskemi, reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretilmesi, toksik serbest radikaller ve iç kulak sıvılarında metabolik dengesizliği içerir. Gürültünün koklear kan akımı üzerindeki etkisi gürültüye maruziyetin süresi ve şiddeti ile ilişkilidir.¹⁸ Kokleanın kanlanması esas olarak koklear arter tarafından sağlanırken, sakkül anterior ve posterior vestibüler arterler tarafından kanlandırılır. Bu arterlerin hepsi labirentin arterden köken alır. Bu sebeple maruz kalınan gürültünün şiddeti ve süresi arttıkça, azalmış kan akımı kalıcı işitme eşik değişiklikleri ve anormal VEMP cevaplarına yol açabilmektedir.¹⁸ Gürültüye maruziyet oksidatif strese neden olur ve artmış ROS ve toksik serbest radikaller şiddetli gürültü sonlansa da hasara devam etmektedirler. Eşzamanlı olarak serbest oksijen radikalleri duysal hücrelerin metabolik aktivitelerini artırır. Sakkulokokolik refleksi yolunda oluşan hasar kronik gürültüye bağlı işitme kaybı gelişmiş olan olgulardaki anormal VEMP cevaplarını açıklayabilir.¹⁸

Progresif olarak yüksek frekanslarda artan işitme kayıpları sıklıkla presbiakuzi ile ilişkili olduğu için, çalışmamızda bilateral 4kHz'de çentikli odyogramı olan gönüllülerle, normal eşikleri olan gönüllüler incelendi. Böylelikle presbiakuzi ve gürültünün üst üste gelen etkileri dışlanmış oldu.

Bilateral 4 kHz'de çentikli odyogramı olan iki gönüllüde (%13.3, 2/15) gecikmiş VEMP cevabı alındı. Bu olgularda 4kHz'de >40dB işitme kaybı mevcuttu. 4 kHz'de < 40 dB işitme kaybı olan veya işitme eşikleri normal sınırlarda olan olgularda VEMP cevabı mevcuttu. 4 kHz'de işitme kaybı çoksa, vestibüler hasar riski artmaktaydı. Bizim çalışmamızda GBİK prevalansı %53 idi ve GBİK saptanmış olan sekiz gönüllünün ancak ikisinde 4 kHz'de > 40 dB işitme kaybı mevcuttu. Dolayısı ile VEMP yanıtında bozukluk saptanma oranı oldukça düşüktü (%13.3 2/15). İncelenen

gönüllü sayısı çoğaltıldığında ve kronik gürültü maruziyet süreleri arttığında sonuçlarda değişikliklerin gözlenebileceği düşünülmektedir. Çalışmamızda gönüllülerin çalışma süreleri ortalama 2.68 yıl \pm 1.8 idi. Gürültülü ortamda çalışma süresi uzadıkça işitme kaybında artış ve beraberinde vestibüler hasar ve VEMP cevabında gecikme veya yokluk daha ileri çalışmalarla araştırılmalıdır.

SONUÇ

Sonuç olarak çalışma verilerimize göre kronik gürültüye maruz kalan olgularda VEMP ile saptanabilen vestibüler fonksiyon bozukluğu olan olguların oranı düşüktür. Ancak daha uzun süre gürültüye maruz kalmış ve GBİK olan daha geniş bir gönüllü grubunda VEMP testinin yapılacağı ileri bir çalışma planlanmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Wang YP, Young YH. Vestibular-evoked myogenic potentials in chronic noise-induced hearing loss. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2007;137(4):607-11.
2. Golz A, Westerman ST, Westerman LM, Goldenberg D, Netzer A, Wiedmyer T, Fradis M, Joachims HZ. The effects of noise on the vestibular system. *Am J Otolaryngol* 2001; 22(3):190-6.
3. Shupak A, Bar-El E, Podoshin L, Spitzer O, Gordon CR, Ben-David J. Vestibular findings associated with chronic noise induced hearing impairment. *Acta Otolaryngol* 1994;114(6): 579-85.
4. Ylikoski J, Juntunen J, Matikainen E, Ylikoski M, Ojala M. Subclinical vestibular pathology in patients with noise-induced hearing loss from intense impulse noise. *Acta Otolaryngol* 1988;105(5-6):558-63.
5. Manabe Y, Kurokawa T, Saito T, Saito H. Vestibular dysfunction in noise induced hearing loss. *Acta Otolaryngol Suppl* 1995;519:262-4.
6. Ylikoski J. Delayed endolymphatic hydrops syndrome after heavy exposure to impulse noise. *Am J Otol* 1988;9(4):282-5.
7. Pyykkö I, Aalto H, Ylikoski J. Does impulse noise induce vestibular disturbances? *Acta Otolaryngol Suppl* 1989;468:211-6.
8. Halmagyi GM, Curthoys IS, Colebatch JG, Aw ST. Vestibular responses to sound. *Ann N Y Acad Sci* 2005;1039(4):54-67.
9. Minor LB. Clinical manifestations of superior semicircular canal dehiscence. *Laryngoscope* 2005;115(10):1717-27.
10. Goldberg JM. Afferent diversity and the organization of central vestibular pathways. *Exp Brain Res* 2000;130(3):277-97.
11. Colebatch JG, Halmagyi GM, Skuse NF. Myogenic potentials generated by a click-evoked vestibulocollic reflex. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1994;57(2):190-7.
12. Colebatch JG, Halmagyi GM. Vestibular evoked potentials in human neck muscles before and after unilateral vestibular deafferentation. *Neurology* 1992;42(8):1635-6.
13. Janky KL, Shepard N. Vestibular evoked myogenic potential (VEMP) testing: normative threshold response curves and effects of age. *J Am Acad Audiol* 2009;20(8):514-22.
14. Oosterveld WJ, Polman AR, Schoonheydt J. Vestibular implications of noise-induced hearing loss. *Br J Audiol* 1982;16(4):227-32.
15. Henderson D, Bielefeld EC, Harris KC, Hu BH. The role of oxidative stress in noise-induced hearing loss. *Ear Hear* 2006;27(1):1-19.
16. McCabe BF, Lawrence M. The effects of intense sound on the non-auditory labyrinth. *Acta Otolaryngol* 1958;49(2):147-57.
17. Hara M, Kimura RS. Morphology of the membrana limitans. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1993;102(8 Pt 1):625-30.
18. Lamm K, Arnold W. The effect of blood flow promoting drugs on cochlear blood flow, perilymphatic pO₂ and auditory function in the normal and noise-damaged hypoxic and ischemic guinea pig inner ear. *Hear Res* 2000;141(1-2):199-219.