

# VESTİBÜLER UYARILMIŞ MİYOJENİK POTANSİYELLER (VEMP)

## Vestibular Evoked Myogenic Potentials

Evren HIZAL, H. Seyra ERBEK, Levent N. ÖZLÜOĞLU

### ÖZET

Vestibüler uyarılmış miyojenik potansiyeller (VEMP), 20 yıl önce tanımlanmış ve vestibüler sistem bütünlüğünün değerlendirilmesinde değerli bir araç olarak nörotoloji alanında önemli katkılar sağlamıştır. Vestibüler Uyarılmış Miyojenik Potansiyeller (VEMP) testi, periferik vestibüler uç-organların uyarılması ile tetiklenen miyojenik refleks cevaplarının ölçülmesi temeline dayanır. Refleks cevabı M. sternocleidomastoideus üzerinden ölçülüyorsa servikal VEMP (cVEMP), ekstraoküler kaslar üzerinden ölçülüyorsa oküler VEMP (oVEMP) olarak isimlendirilir. Bu yazıda, cVEMP ve oVEMP testlerinin temel özellikleri özetlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** *Vestibüler sistem; Miyojenik refleks; Test*

### ABSTRACT

Vestibular Evoked Myogenic Potentials (VEMP) have been defined 20 years ago and made significant contributions to the field of neurotology, as a valuable tool for the assessment of vestibular system integrity. VEMP testing is based on the measurement of the myogenic reflex responses that are triggered by the stimulation of the peripheral vestibular end-organs. The test is named as cervical VEMP (cVEMP) if the reflex response is measured from the sternocleidomastoid muscle, and ocular VEMP (oVEMP), if the reflex response is measured from the extraocular muscles. Essential features of the cVEMP and oVEMP tests are summarized in this review.

**Key words:** *Vestibular System; Myogenic Reflex; Test*

<sup>1</sup>Başkent Üniversitesi Tıp Fakültesi,  
Kulak Burun Boğaz Anabilim Dalı,  
Ankara

Evren HIZAL, Yrd. Doç. Dr.  
H. Seyra ERBEK, Doç. Dr.  
Levent N. ÖZLÜOĞLU, Prof. Dr.

#### İletişim:

Prof. Dr. Levent N. ÖZLÜOĞLU  
Başkent Üniversitesi Tıp Fakültesi  
Kulak Burun Boğaz Anabilim Dalı  
5. Sokak No:48 Bahçelievler  
06490 Ankara  
Tel: + 0 532 611 0466  
e-mail:  
leventozluoglu@baskent-ank.edu.tr

Geliş tarihi/Received:26.06.2014  
Kabul tarihi/Accepted:27.07.2014

Bozok Tıp Derg 2014;1(1):26-37  
Bozok Med J 2014;1(1):26-37

## GİRİŞ

Vestibüler uyarılmış miyojenik potansiyeller (VEMP, Vestibular Evoked Myogenic Potentials), periferik vestibüler organların uyarılması sonucu kaslarda sonlanan refleks arkının ölçüldüğü bir elektrofizyolojik test yöntemidir. Vestibüler sistemin bütünlüğünün değerlendirilmesi için kullanılan bu test yöntemi, refleks arkı yanıtı boyun kaslarından ölçülüyorsa cVEMP (servikal VEMP), ekstraoküler kaslardan ölçülüyorsa oVEMP (oküler VEMP) olarak adlandırılır. Temelleri daha eskiye dayansa da, 20 yıl kadar önce tanımlanan ve yıllar içinde giderek artan şekilde klinik kullanım alanı bulan VEMP'ler, vestibüler sistemin değerlendirilmesinde çok önemli katkılar sağlamıştır.

### cVEMP

Uyarılmış miyojenik potansiyeller terimi, odyolojide sıklıkla kullanılan "işitsel uyarılmış potansiyeller"den farklı olarak sinirsel cevabın değil, kasta oluşan elektriksel cevabın ölçüldüğünü belirtmek için kullanılır. Sonuçta, vestibüler uyarılmış miyojenik potansiyeller bir elektromyogram (EMG) kayıdır. Miyojenik potansiyeller, vestibüler sistemin uyarılması sonucu oluşur. Vestibüler sistemin uyarımı ise, fizyolojik olan hareket uyarılarıyla sağlanabileceği gibi, ses, titreşim veya elektrik uyarısıyla da sağlanabilir.

Vestibüler sistemin akustik duyarlılığına ilk dikkati çeken, Pietro Tullio'dur. Tullio, deney hayvanlarında kemik labirente pencere oluşturarak ses uyarılarını takiben gelişen baş ve göz hareketleri ile postüral değişiklikleri gözlemlemiştir (1). Yüksek şiddette seslere cevaben baş hareketleri olduğu Georg von Békésy tarafından da 1930'larda bildirilmiş, daha sonraki çalışmalarıyla 1961 yılında Nobel ödülüne layık görülmüştür (2). 1940'larda güvercinlerde ses uyarılarına karşı gelişen baş hareketi cevapları kaydedilmiştir (3). Ölçüm ve kayıt yöntemlerinin gelişmesi ile ses uyarılarına karşı gelişen cevaplar skalpe yerleştirilen elektrotlarla ölçülmeye başlanmış; 1960'larda havayolu ile verilen yüksek şiddette ses uyarılarına karşı kaslarda oluşan cevaplar gösterilmiştir (2,4). Oksipital bölgeden alınan ve miyojenik kökenli oldukları düşünülen bu cevaplar, "inion cevabı (inion response)" olarak tanımlanmış, ses uyarısından yaklaşık 13 ms sonra ortaya çıkan kısa latanslı tepe noktası gösterilmiştir (1,2,4). Vestibüler fonksiyonları normal olan sağır hastalarda da bu cevapların gösterilmesi, vestibü-

ler sistemin uyarılması neticesinde cevapların çıktığını düşündürmüştür. İlerleyen yıllarda yapılan çalışmalarla inion cevabının sakkül kaynaklı olabileceği savunulmuş; ancak başka uyarılar sonucu da benzer cevaplar elde edildiği için klinik kullanımda inion cevaplarının faydalı olmayacağı düşünülmüştür (1,2).

Inion cevaplarını tekrar inceleyen ve kayıt elektrotlarını inion yerine sternocleidomastoid (SCM) kas üstüne yerleştiren Colebatch ve ark., yüksek şiddette klik ses uyarılarına karşı ortaya çıkan kısa latanslı bir cevabın olduğunu göstermişlerdir (5). SCM kasın aktivasyonuna bağımlı olan bu cevabın, unilateral olduğu, ilk olarak bir pozitif tepe (p13 veya p1) ile bunu takip eden negatif ve pozitif tepelerden (n23, p34, n44) oluştuğu, ancak vestibüler kaynaklı olduğu düşünülen kısmının p13-n23 olduğu bildirilmiştir (2,5). Daha sonraki çalışmalarla bazı hastalarda, uyarıların bilateral SCM kaslara bağlantıları bulunan utriküler afferentler gibi diğer vestibüler afferentlere yayılması sonucu kontralateral SCM'den ters tepe (veya çapraz cevap [crossed response]) şeklinde yanıt alınabileceği de bildirilmiştir (2,6). İlerleyen yıllar içinde yüksek şiddette ses uyarılarına karşı benzer yanıtlar, masseter (7), trapezius (8), splenius capitis (9), triceps (10) ve soleus (11) gibi diğer kaslardan da alınmıştır. Ancak SCM kasından elde edilen vestibüler uyarılmış miyojenik potansiyeller (servikal VEMP, cVEMP), şimdilik üzerinde en çok çalışılmış test yöntemi olarak güncelliğini korumaktadır.

Vestibüler organlar normalde kafa hareketleri ile uyarılırlar. Ancak vestibüler sistem bütünlüğünü değerlendirmek için uygulanacak testlerde uyarın olarak kafa hareketlerini kullanmak pratik açıdan zordur. Kafa hareketleri hem standardize edilmesi zor uyarılardır hem de miyojenik cevaplarla karışabilecek elektrik artefaktlara neden olurlar. Kontrol edilebilen, şiddeti ve süresi ayarlanabilen hava iletimi (AC) ses, kemik iletimi (BC) ses, titreşim ve galvanik (elektriksel) akım gibi diğer uyarınlar ise daha standart ve ölçülebilir cevaplara neden oldukları için testlerde sıklıkla tercih edilirler.

Yüksek şiddetteki AC ses uyarılarının hayvanlarda sakkülü uyardığı bilinmektedir. Bunun sebebi, sakkülün anatomik olarak stapes tabanına yakınlığı olabilir. Von Békésy (1935) stapes tabanındaki belirgin hareketlerin iç kulak sıvısında girdap akımı benzeri etki yaratıp sakkülün uyarılmasına neden olabileceğini öne sürmüştür (1,2). Young ve ark. ise, uyarımın tüylü hücre seviyesinde gerçekleştiğini göstermiştir (2,12). Sese duyarlı vestibüler sinir liflerinin esas olarak sakkülden kaynaklandığı, az bir kısmının ise utrikülden köken alabileceği bildirilmiştir (13,14). Nitekim, izole superior vestibüler sinir hasarı olan hastalarda AC VEMP yanıtları alınmakta; inferior sinir olan hastalarda ise VEMP yanıtları gözlenmemektedir (15,16).

Vestibüler organlar, AC ses uyarıları yanında ayrıca BC ses ve titreşim uyarılarına da yanıt vermektedir. İletim tipi işitme kaybı olanlarda kafatasına hafif vuruş ve BC tone-burst gibi uyarılarla VEMP cevapları alınabilmektedir (17-19). Vestibüler sinirin hem superior hem de inferior dalı, hem cVEMP hem de oVEMP cevaplarında görev alıyor olabilir (20).

Galvanik akımın tüm end-organlardan çıkan vestibüler afferentleri eşit şekilde uyardığı ve galvanik cVEMP'lerin end-organdan bağımsız bir vestibulo-kolik yolak ile ortaya çıktığı düşünülmüştür (2). Bu nedenle galvanik cVEMP'lerin, end-organları etkileyen lezyonlar ile primer olarak vestibüler siniri tutan lezyonların birbirinden ayırt edilmesinde kullanılabileceği öne sürülmüştür (21,22). Örneğin, Meniere hastalarında galvanik cVEMP'lerin korunduğu, vestibüler schwannoması olan hastalarda ise alınmadığı bildirilmiştir (22). Ancak, intratimpanik gentamisin enjeksiyonu veya sistemik gentamisin kullanımı sonrası tek veya çift taraflı tüylü hücre hasarı gelişen hastaların bir kısmında galvanik cVEMP'lerin alınamaması, cevapların tek başına vestibüler sinir afferentlerine değil, tüylü hücre fonksiyonuna da bağlı olabileceğini düşündürmektedir (23).

### **cVEMP Test yöntemi**

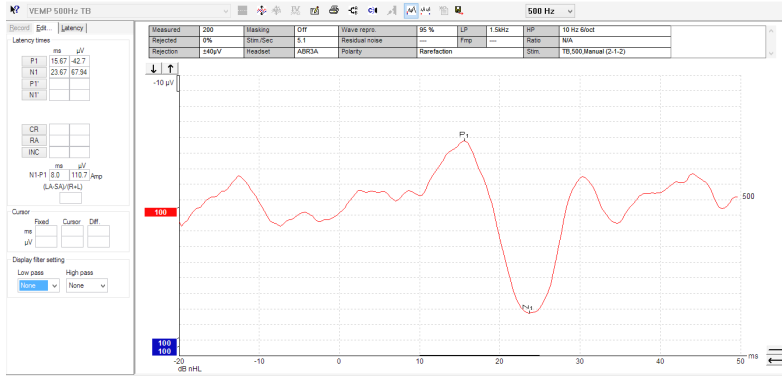
cVEMP ölçümleri hasta yatar veya oturur pozisyonda iken yapılabilir. cVEMP'lerin alınabilmesi için hastanın

SCM kasını kasması gerekir. Bu, yatar pozisyonda hastanın başını hafifçe yukarı doğru kaldırması veya başını uyarılan tarafın karşısına doğru çevirmesi ile sağlanabilir (Resim 1). Yine de, SCM aktivitesi testi yapan taraftan kontrol edilmeli, gerektiğinde hasta uyarılmalı ve yeterli ve simetrik kasılma sağlanmalıdır. Kayıtlar sırasındaki ham, düzeltilmemiş EMG aktivitesini izlemek arka plandaki kasılma seviyesi hakkında fikir verilebilir. Hasta yorulduğunda, dinlenme fırsatı verilmelidir. cVEMP testleri genellikle iyi tolere edilir. Ancak boyun problemleri olan, yaşlı veya kooperasyon sağlanamayan bazı hastalarda SCM kasta yeterli kasılmanın sağlanamayacağı için cevaplar alınamayabilir.

cVEMP ölçümleri için aktif elektrot SCM kasını orta 1/3'ü üzerine, aktif olmayan elektrot ise bunun biraz uzağına, örneğin SCM tendonlarının sternuma yakın kısmına yerleştirilir. Ayrı bir toprak elektrotu da bağlanmalıdır (Resim 1). Normal bir cVEMP cevabı örneği Resim 2'de görülebilir.



**Resim 1.** cVEMP ölçümü için elektrot yerleşimi görülmektedir.



Resim 2. Normal bir cVEMP cevabı görülmektedir.

cVEMP elde etmek için en sık kullanılan uyarı tipi, AC ses uyarılarıdır. Ses uyarısının şiddeti yüksek olmalıdır. Net bir cVEMP cevabı elde edememenin en sık sebebi, uyarının yetersiz şiddette olmasıdır. Ancak, uyarı şiddeti, kokleaya zarar verecek kadar da çok olmamalıdır. Kullanılmakta olan klinik VEMP ölçüm cihazlarının çoğunda, verilen ses uyarılarının şiddeti ve süresi kokleaya zarar vermediği belirlenmiş sınırlar içinde tutulduğu için testlerin güvenli olduğu söylenebilir. Yine de, uyarı şiddeti dB SPL cinsinden bilinmeli ve kontrol edilebilir, kalibre edilmiş cihazlar kullanılmalıdır.

cVEMP'ler ilk olarak kare dalga formasyonunda 0.1 ms süreli AC klik uyarıları ile elde edilmiş; ancak daha sonra AC tone-burst uyarıları, BC titreşim ve kafaya hafif vuruş (skull-taps) uyarıları ve galvanik (elektriksel) uyarılar ile de yanıt alınabileceği gösterilmiştir (1,2). Alın bölgesinin orta kısmına klinik refleks çekici ile yapılan vuruşlarla (17) ve mastoid kemik üstünden BC ses uyarıları verilerek de cVEMP cevapları elde edilmiştir (18,24). AC tone-burst VEMP'ler, uyarım süresi daha uzun (ve dolayısıyla iç kulağa iletilen ses enerjisi daha büyük) olduğu ve frekans ayarlaması yapılabildiği için klik uyarıyla elde edilen cVEMP'lere göre daha belirgindirler (2). En iyi yanıt alınan uyarı frekanslarının 200 ile 1000 Hz arasında olduğu bildirilmiştir (25-29). BC ses uyarıları için en iyi yanıt alınan frekanslar, hava yolu frekanslarına göre daha düşüktür (24,27,30). Hem ipsilateral hem de kontralateral yanıtların incelenmesine imkan tanıdığı için genellikle unilateral uyarım tercih edilir.

Servikal VEMP amplitüdü, SCM kas aktivitesi ile direkt olarak ilişkilidir. Testin temeli, kasılmış halde bulunan bir SCM kasında, vestibüler uyarım sonucu gelişen inhibitör aktiviteyi ölçmek olduğu için, istirahat halinde VEMP cevabı alınamaz (1,2,5,31-33). Klasik kas-tendon elektrot yerleşimi ile arka plan kas aktivitesi en az 40 µV olmalıdır; 150-200 µV'a kadar olan değerlerin kabul edilebileceği bildirilmiştir (2). Arka plan EMG aktivitesi, elde edilen cevapların amplitüd ve latanslarını önemli derecede etkileyebilir (2). Bu nedenle özellikle normatif veriler oluşturulurken arka plan EMG asimetrisi izlenmeli, testler tüm bireylerde benzer şartlar sağlanarak yapılmalı, en azından belirgin arka plan aktivitesi olmasına dikkat edilmelidir. cVEMP yanıtlarındaki yüzey pozitifliği, SCM kasındaki kısa süreli bir inhibisyona, yüzey negatifliği ise kastaki uyarım artışına bağlıdır (2,34). İnhibisyonun süresi her zaman kısadır ve klik uyarılarla 2-8 ms arasında değişmektedir (ortalama 3.6 ms) (2). Daha şiddetli uyarımlar daha uzun süreli inhibisyon veya eksitasyona yol açabilir (2). Vestibüler uyarım sonucu kasta oluşan elektriksel aktivite kısa latanslıdır, amplitüd olarak çok küçüktür ve kasın tonik aktivitesine bağlıdır. Bu nedenle oluşan cevapların fark edilebilmesi ve değerlendirilebilmesi için sayısal olarak işlenmesi gerekir. cVEMP cevaplarının tespiti için kayıt edilen elektriksel aktivite bilgisayar tarafından yaklaşık 2500 kez (veya 68 dB) yükseltilir, bant geçişi filtrelenir (yaklaşık 5 Hz-2 kHz) ve uyarımdan önceki 20 ms ile uyarımdan sonraki 100 ms arasında kalan 5 kHz etrafındaki kayıtlar örneklenir (6).

Tekrar edilmesi gereken uyarı sayısı, uyarının etkinliği ve arka plan SCM kas aktivitesine bağlı olarak 100-300 arasında değişir. Kafa vuruşlarıyla elde edilen cVEMP'lerde gereken uyarı (vuruş) sayısı ise daha azdır (yaklaşık 30-60). Miyojenik potansiyeller için belirlenen parametreler yerine nöral potansiyeller için (BERA gibi) belirlenmiş olan amplifikasyon parametrelerini kullanmak, yanlış cVEMP ölçümlerine neden olacaktır.

Eşik üstü değerlerde verilen ses uyarısının şiddeti ile cevabın amplitüdü arasında doğrusal bir ilişki bulunur (2,5,32,33). Gençlerde, AC ses uyarısı, BC titreşimler ve kafatasına hafif vuruşlar (skull-taps) gibi çeşitli uyarılarla VEMP cevapları genellikle alınabilir; ancak cevapların ortaya çıkış sıklığı ve amplitüdü yaşla birlikte azalır (6,35-37). SCM kası aktivasyonu sağlanabilen birkaç günlük infantlarda ve çocuklarda da VEMP yanıtları alınabilmektedir (38-44). Çocuklardaki VEMP latansları erişkinlere kıyasla genel olarak daha uzundur ve boy ve boyun uzunluğu ile korelasyon göstermektedir (38,39,45,46).

Testten önce işitme durumunun bilinmesi test sonuçlarının yorumlanmasında önem taşır. İletim tipi işitme kaybı durumunda cVEMP yanıtlarının bozulabileceği bilinmelidir. Bu durumda, AC ses yerine BC titreşim kullanılarak daha doğru cVEMP cevapları elde edilebilir. BC ve AC uyarıların, kısmen ortak kısmen de farklı vestibüler afferentleri etkilediği göz önünde tutulmalıdır.

### **oVEMP**

oVEMP, vestibülo-oküler refleks aktivitesi sonucu ortaya çıkan ekstraoküler kas aktivitesinin EMG kayıdır; gözlerin çevresine yerleştirilen elektrotlar yardımıyla ölçülür. Son yıllarda tanımlanan ve giderek kendine kullanım alanı bulan bu ölçüm yönteminin temeli aslında daha eskilere dayanır (2).

Ekstraoküler kaslar, zengin bir innervasyona sahip olan, uyarılara çok kısa sürede tepki vererek kasılan ve bu sayede göz hareketlerinin çok ince bir şekilde kontrol edilebilmesini sağlayan kaslardır. Çok sayıda motor birim içeren bu kaslar saniyede 150, hatta muhtemelen daha fazla ateşlenme yeteneğine sahiptir (2,47). Hızlı göz hareketleri sırasında, agonist kaslarda eş zamanlı

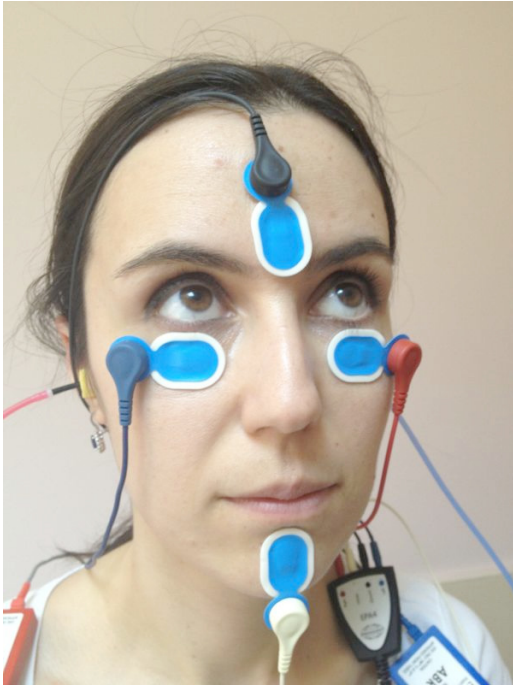
hızlı bir ateşlenme ile antagonist kaslarda eş zamanlı inhibisyon gözlenir (2,47). Bir başka ifadeyle, VOR'un ortaya çıkması veya nistagmusun hızlı fazının gerçekleşmesi için, ekstraoküler kasların eş zamanlı çalışması gerekir. Buradan hareketle, hızlı göz hareketlerinin başlangıcı sırasında ekstraoküler kaslarda önemli derecede elektriksel aktivite üretileceği, bu elektriksel aktivitenin de etrafa yayılacağı ve yüzey elektrotları ile ölçülebileceği öngörülebilir. Ancak alınacak bu EMG kayıtlarının, retinadaki potansiyellerden (corneo-retinal dipol) etkilenip etkilenmeyeceği veya nasıl etkileneceği konusu tartışmalı olmuştur (2,48). Eskiden, ekstraoküler kas aktivitesinin uzaktaki yüzey elektrotlarıyla ölçülemeyeceği, çünkü EMG kayıtlarının korneo-retinal potansiyellerden etkilenmeyeceği düşünülüyordu (2,48). Ancak yapılan çalışmalarla bazı durumlarda ekstraoküler EMG kayıtlarının yüz veya skalpten kayıt edilebileceği ortaya konmuştur. Elektroensefalografi (EEG) kayıtlarında, istemli sakkadlardan hemen önce, belirgin, kısa süreli diken şeklinde elektriksel aktivite geliştiği görülmüş, bunlara "pre-sakkadik potansiyeller" adı verilmiştir (2,49-51). Skalp üzerinde geniş bir alandan kaydedilebilen bu potansiyellerin, ekstraoküler kasların etrafında yoğunlaşması ve lateral rectus kas felci nedeniyle göz abdüksiyonu yapamayan hastalarda alınamaması, miyojenik kökenli olduklarını düşündürmüştür (2,50,51). Vestibüler uyarım ile ortaya çıkan kortikal potansiyellerin de kafatasının ön kısmında ve gözlerin etrafında yoğunlaştığı görülmüş ve bunların VOR'un tetiklenmesiyle oluştuğu düşünülmüştür (52-54). Yakın zamanda yapılan çalışmalarda bu potansiyellerin korneo-retinal potansiyellerden bağımsız olduğu ve ekstraoküler kaslardan kaynaklandığı gösterilmiş; en belirgin cevapların superomediale bakış sırasında gözlerin alt kısmındaki elektrotlardan alındığı ve inferior oblik kasın cevaplarında önemli rol oynadığı düşünülmüştür (52,55). Gerek search-coil gerekse EOG kayıtları ile korneo-retinal potansiyellerin EMG kayıtlarında gözlenen potansiyellerden ayırt edilmesi; gerekse göz küresi enükleasyonu yapılmış ancak ekstraoküler kasları korunmuş hastalarda da EMG cevaplarının izlenmesi, bu cevapların retinadan bağımsız, vestibüler uyarıya bağlı ekstraoküler kaslarda ortaya çıkan potansiyeller olduğu görüşünü desteklemiştir (56-59).



### oVEMP Test Yöntemi

oVEMP ölçümleri için kullanılan uyarılar ve test koşulları cVEMP için kullanılanlara benzer. Uyarıdan kaynaklanacak artefaktları önlemek ve temiz oVEMP cevapları alabilmek için uyarı süresi kısa olmalıdır.

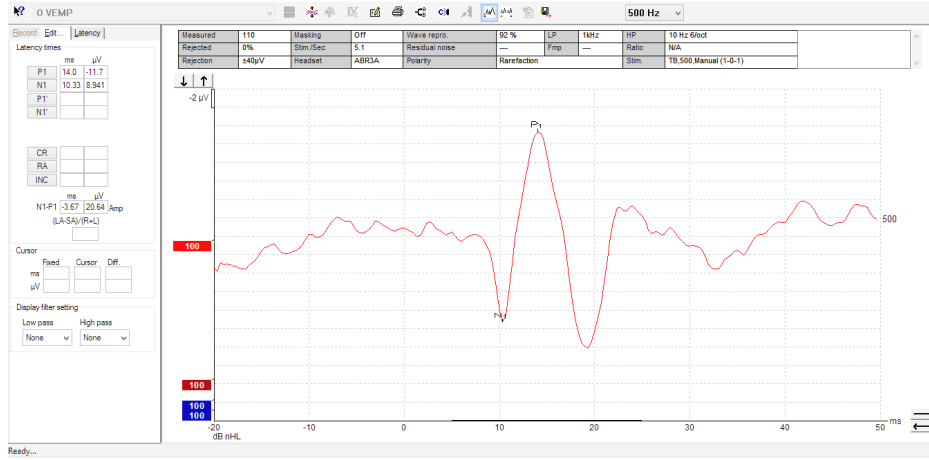
Test hasta oturur veya uzanır pozisyonda iken yapılabilir. Hastadan yüz kaslarını kasmaması, rahat bırakması istenir. oVEMP'lerin amplitüdü yukarı doğru bakmayla artmaktadır; bu nedenle ölçümler sırasında hastadan 30-40 derece yukarıya doğru bakması istenir (Resim 3). Sonuçları doğru yorumlamak ve karşılaştırmalarda kullanabilmek için yukarı bakış açısı sabit olmalıdır (60,61). Bu nedenle, hastadan önceden belirlenmiş hedeflere bakması istenebilir (1). Biz de kliniğimizdeki uygulamamızda hastanın, daha önceden duvara sabitlenmiş bir hedefe doğru bakmasını istiyoruz. İstemli göz kırpmaları hareketlerinin etkisini azaltmak için kayıt sırasındaki artefaktlar bilgisayar programı tarafından otomatik olarak temizlenebilir veya göz kırpmaları için hastaya zaman tanınabilir.



**Resim 3.** oVEMP ölçümü için elektrot yerleşimi görünmektedir.

Kayıt elektrotları, her iki tarafta orbita alt kenarının 15-30 mm altına yanak üstüne yerleştirilir. Elektrotlar simetrik olmalıdır. Aktif elektrotlar ile referans elektrotları arasındaki mesafe, uzak aktivite kaynaklarının etkisini önlemek için birbirine yakın, ancak bir "elektrot köprüsü" yaratmayacak kadar da uzak tutulmalıdır. Toprak elektrodu, sternum, alın veya çeneye yerleştirilebilir. Kayıt ve referans elektrotlarının birbirine yakın yerleşimini sağlayabilmek için standart EMG elektrotları kesilerek küçültülebilir, veya 9 mm Ag/AgCl skalp elektrotları kullanılabilir (Resim 3). Normal bir oVEMP cevabı örneği, Resim 4'te görülebilir.

oVEMP'ler cVEMP'lere göre çok daha küçük potansiyeller oldukları için (cVEMP'lerin en fazla 1/10'u kadar) amplifikasyon miktarı çok olmalıdır (2). Elektrotlarla kayıt edilen elektriksel aktivite yaklaşık 50,000-100,000 kez (veya 94-100 dB) yükseltilir, bant geçişi filtrelenir (5 Hz-1 kHz) ve uyarım öncesi 10-20 ms ile uyarım sonrası 50-70 ms arasında kalan 10 kHz etrafındaki kayıtlar örneklenir (2). Tekrar edilmesi gereken uyarı sayısı, uyarının etkinliği ve fasyal kasların aktivitesine bağlı olarak 100-500 arasındadır. Fz bölgesine kafa vuruşlarıyla elde edilecek oVEMP'ler için daha az uyarım (20-50) gerekir. oVEMP kayıtları, gözlere yakın bir kayıt elektrodu ve bundan 2-3 cm ötede bir referans elektrodu yerleşimiyle alınabilmektedir (56,57,60,62). oVEMP bir dizi negatif ve pozitif tepeden oluşur. Sıklıkla ilk tepe, latansı yaklaşık 10 ms olan negatif bir tepedir (n10 veya n1). İlk tepe özellikle önemlidir çünkü kas aktivitesinin erken belirtisi olarak ortaya çıkar. Dalganın polaritesi, cVEMP'te olduğu gibi, kas aktivasyonunu yansıtır (34). Yüzey pozitifliği, tonik olarak aktif ekstraoküler kasların inhibisyonunu, negatifliği ise eksitasyonunu gösterir. oVEMP'in n10 bileşeni, aslında cVEMP'e benzer eşik ve frekans ayarı özellikleri gösterir. AC oVEMP'ler 400-800 Hz arası frekanslarda, BC oVEMP'ler ise 100 Hz ve aşağısındaki frekanslarda verilen uyarılarla en belirgin şekilde gözlenir (27,63). Bilateral vestibüler kaybı olan hastalarda hiç tepe gözlenmez (27,64).



**Resim 4.** Normal bir oVEMP cevabı görülmektedir.

Gözlerin etrafına yerleştirilen elektrotlar birden fazla ekstraoküler kasa yakın olduğu için, cevaplar tüm bu kaslardaki net aktiviteyi yansıtır. Bununla birlikte, yukarıya doğru bakışta elde edilen kayıtların esas olarak inferior oblik kas aktivitesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (55-57,62). Inferior oblik kasın karnı, inferior rectusa göre yüzeye daha yakındır ve yukarı bakış sırasında kasılır; bu da, oVEMP amplitüdünü artırır (57,60,61). Bu nedenle, yukarı bakış sırasında ve inferior oblik kas aktif haldeyken gözlerin inferioruna yerleştirilen elektrotlarla alınan kayıtların en güvenilir ve klinik kullanıma uygun kayıtlar olduğu belirtilmektedir. Standart elektrot yerleşiminin dışında da, gözlerin çevresindeki diğer bölgelerden oVEMP yanıtları alınabilir (56); ancak bu kayıtların kaynağı ve geçerlilikleri henüz doğrulanmamıştır (2).

AC ve BC uyarılar ile oVEMP cevaplarının elde edilebileceği gösterilmiştir. Normal bireylerde, frontal bölgede saç çizgisi seviyesinin orta noktasına (Fz) yapılan hafif kafatası vuruşları (skull-taps) ve titreşim uyarıları ile oVEMP cevapları alınmıştır (62,64). Unilateral vestibüler kayıplı hastalarda n10 cevabı esas olarak sağlam kulağın karşı tarafında alınmış, bu nedenle BC oVEMP yolağının çaprazlandığı düşünülmüştür (62,64). Benzer şekilde, normal bireylerde AC ses uyarısı ile oVEMP cevaplarının, bazen bilateral alınabilse de, esas olarak kontralateral gözden kaydedildiği gösterilmiştir (60). Do-

layısıyla, inferior oblik kaslara giden sakkülo-oküler yolağın temelde çaprazlandığı düşünülmektedir. Superior vestibüler sinir nöriti olan veya cerrahi olarak unilateral vestibüler siniri kesilen hastalarda n10 asimetri oranı yüksek bulunmuştur. Bu da, superior vestibüler sinir liflerinin oVEMP gelişiminde özellikle önemli olduğunu düşündürmektedir (65). AC oVEMP'ler, unilateral vestibüler kayıplı hastalarda etkilenen kulağın uyarılması ile alınamazken, sensörinöral işitme kaybı olan hastalarda alınabilmektedir. Bu ise, oVEMP cevaplarının vestibüler bağımlı olduğunu göstermektedir (58,60).

AC ses uyarıları ve alın vuruşları ile elde edilen ilk oVEMP dalga tepeleri negatiftir; ancak oVEMP dalgalınının temel özellikleri, inferior oblik kas aktivitesi ve verilen uyarı şeklinden etkilenir. BC uyarılarının nereden verildiğine göre de dalga özellikleri değişebilir (2,66,67). Galvanik uyarı ile dalga polaritesi değişebilir (68). "Galvanik uyarı koklear-retrokoklear ayırımında kullanılır." Lateral düzlemde kafa hareketleri ile her gözde farklı özelliklerde oVEMP kayıtları alınabilir (69). Neticede, oVEMP'in temel özellikleri, verilen uyarının şekli ve yerinden etkilenir. Bu etkilenmelerin sebebi ise henüz tam olarak belirlenmiş değildir. oVEMP ve cVEMP sıklıkla bir arada ve tamamlayıcı testler gibi kullanılsa da her birinin kendine has özellikleri ve klinik önemi, ilerleyen yıllarda daha da netleşecektir.

### Sonuçların yorumlanması

“En çok tercih edilen uyaran tone-burst’dür. Bizim de kliniğimizde tercih ettiğimiz form, 500 Hz ve rarefaction polaritesidir. Bununla birlikte, klik uyarılar da kullanılabilir.” 145 dB SPL’de 0.1 ms AC klik uyarılara karşı 60 yaşının altındaki herkeste cVEMP cevabı alınması gerektiği bildirilmiştir (2). cVEMP ve oVEMP amplitüdü otolit fonksiyonunun kantitatif ölçüsü olarak kullanılabilir. Amplitüd asimetri oranı (AR), kullanılan temel parametrelerden biridir. AR: (Büyük cevap - Düşük cevap)/(Büyük cevap + Küçük cevap) x 100 formülüyle hesaplanır. Normal düzeltilmiş VEMP amplitüdüleri 0.5-3 arasında değişir. Düzeltilmiş amplitüdüler için asimetri oranı %35’ten düşük olmalıdır (6). Hem p13 hem de n23 tepe latanslarıdır; büyük amplitüdü cevaplar latans uzamasına sebep olabilirler. Amplitüdüler çok büyükse veya bir “üçüncü pencere sendromu” varlığından kuşkulaniyorsa, eşik ölçümleri yapılabilir. Bir testte elde edilen eşik değerinin normal bireyler için saptanmış olan değerinin altında olup olmadığını belirlemek önemlidir (70). Normal eşikler 120-145 dB SPL arasında olmalıdır (6). VEMP latansları da önemlidir. Yaşla beraber, cVEMP amplitüdüleri düşer, refleks asimetrisi artar, eşikler yükselir, tepe latansları uzar (6,35,36).

Normal bireylerde oVEMP cevabı görülme prevalansı, refleks simetrisi ve uyari eşikleri cVEMP’e benzer (2,60). oVEMP için kliniğimizde kullanılan normatif latans ve amplitüd değerleri Tablo 1’de verilmiştir (71). Bu noktada vurgulanması gereken, cevap parametrelerinin uyari çeşidi (ses veya titreşim), dalga formu (klik veya tone burst), şiddeti ve süresinden etkilendiğidir. Her merkezin kendine ait normatif verilerini toplaması ve kullanması gerekmektedir.

cVEMP vestibulo-kolik refleks yolağının, oVEMP ise vestibulo-oküler refleks yolağının bütünlüğünü ölçtüğü için cevap yokluğu veya asimetri gözlemlendiğinde bu refleks yollarındaki herhangi bir yeri tutan lezyondan şüphelenilebilir. Santral patolojilerde genellikle reflekslerde gecikme görülür. Her iki tarafta cevap alınmaması, lezyonun end-organlarda, veya vestibüler sinirin vestibüler çekirdeğe kadar olan herhangi bir kısmında olduğunu düşündürür (iletim tipi işitme kaybı dışlanmalıdır). Deneysel hayvan çalışmalarından çıkarılan sonuç, AC cVEMP ve oVEMP’lerin baskın olarak sakkülü, kemik

titreşim uyarılarının ise hem sakküler hem de utriküler afferentleri uyardığıdır (2). Afferent lifler vestibulo-kolik ve vestibulo-oküler yollar için birebir aynı olmaya bileceği için, periferik vestibüler lezyonlarda cVEMP ve oVEMP’ler birebir aynı sonuç vermeyebilir.

Odyometrik testte ölçülen hava-kemik mesafesi yaklaşık 30 dB’i aştığında AC cVEMP cevapları kaybolur; çünkü iç kulağa ulaşan uyari, cVEMP çıkarmak için gereken eşığe ulaşamaz (19,72,73). Dolayısıyla, iletim tipi işitme kayıplarında AC cVEMP cevapları beklenmez. 20 dB’den fazla hava-kemik mesafesi bulunan hastalarda cVEMP’ler normal alınıyorsa, superior semisirküler kanal dehisansı olasılığı dışlanmalıdır (74,75).

Akut vestibüler nörit, sıklıkla vestibüler sinirin superior bölümünü tutar. Daha az sıklıkta superior ve inferior vestibüler sinir birlikte tutulur, izole inferior vestibüler sinir tutulumu ise nadirdir (76). Superior vestibüler sinirin selektif tutulumu, VEMP çalışmaları ile desteklenmiştir. Nitekim, sakküler uyari ve inferior vestibüler sinir yoluyla alındığı bilinen AC cVEMP cevaplarının, vestibüler nöritli kulakların sadece %20-30’unda alınmadığı bildirilmiştir (16,77). Kafaya vuruş uyarıları ile tetiklenen ve normalde hem superior hem de inferior vestibüler sinir yoluyla elde edilen cVEMP cevaplarının vestibüler nöritli hastalarda alınamama oranı ise daha yüksektir (20).

Meniere hastalığında, tutulan kulakların %55’inde AC cVEMP’lerin alınmadığı bildirilmiştir (78). Meniere hastalığının ilerleyen evrelerinde cVEMP’ler kaybolmakta (79), gliserol, furosemid veya endolenfatik hidropsu azaltan ilaçlarla ise cevaplar tekrar ortaya çıkmakta veya artmaktadır (80-82). Akut atak sırasında cVEMP’lerde dalgalanmalar olduğu, atak sonrasında cevapların düzeldiği de bildirilmiştir (83). Tek başına cVEMP amplitüdülerine bakılarak ise, tutulan kulak hakkında karar verilemez. Nitekim, Meniere hastalığının erken döneminde AC cVEMP amplitüdülerinin artabileceği görülmüş, bunun muhtemelen hidropik sakkülün stapes tabanına basması ve sakkülün düşük seslere hassasiyetinin artmasından kaynaklandığı düşünülmüştür (2,84). Meniere hastalığı bulunan hastalarda hem etkilenen kulakta hem de etkilenmeyen kulakta cVEMP eşiklerinin arttığı bildirilmiştir (85).



BPPV'si olan hastaların çoğunda AC cVEMP'ler elde edilmekte; ancak özellikle tedaviye dirençli BPPV'si olan bazı hastalarda amplitüd değişiklikleri ve/veya latans uzamaları olduğu görülebilmektedir (86-89). Ancak, posterior semisirküler kanalın cerrahi olarak tıkanmasından sonra, VEMP amplitüd asimetrisi ve p13 latanslarının değişmediği de bildirilmiştir (89,90).

Vestibüler schwannomu olan kulakların %80'inde AC VEMP'lerin alınmadığı ya da amplitüdüleri düştüğü bildirilmiştir (91-93). Tümör boyutu büyüdükçe ve tümör medialde yerleştikçe cVEMP anormallikleri artmaktadır (94,95). AC cVEMP'ler, vestibüler schwannom hastalarında vestibüler rezervin saptanması için de kullanılabilir. Cerrahi öncesi normale yakın cevapları olanlarda, cerrahiden sonra daha gürültülü bir deafferentasyon tablosu gelişmesi beklenebilir (2).

AC cVEMP'lerin intratimpanik gentamisin injeksiyonu sonrası bozulduğu, ancak rezidüel vertigo atakları ile korele olmadığı bildirilmiştir (96-98). Superior semisirküler kanal dehisansı, bilateral vestibülopati, santral vestibüler patolojiler gibi çeşitli hastalıklarda da cVEMP ve oVEMP cevaplarının etkilenebileceği bildirilmiştir (2,74,75). Gerek cVEMP, gerekse oVEMP testlerinin klinik geçerlilikleri ve güvenilirlikleri zaman içinde olgu sayısı yüksek klinik çalışmalarla desteklenecek ve non-invaziv, uygulanması kolay olan bu testlerin klinikteki uygulama alanları giderek genişleyecek gibi görünmektedir.

Uyarı çeşidi	Amplitüd ( $\mu$ V)	Latans (ms)
BC ses uyarıları	5.06 $\pm$ 1.97	9.99 $\pm$ 1.87
AC ses uyarıları	7.8 $\pm$ 4.09	9.85 $\pm$ 1.88

**Tablo 1.** Kliniğimizde oVEMP ölçümleri için farklı iki uyarı tipi ile elde edilmiş normatif amplitüd ve latans verileri görülmektedir. (BC: Kemik iletimi; AC: Hava iletimi)

## KAYNAKLAR

1. Erbek HS. Sağlıklı erişkin bireylerde oküler vestibüler uyarılmış miyojenik potansiyel (oVEMP) normal değerleri:

Kulak Burun Boğaz Anabilim Dalı Odyoloji, Konuşma ve Ses Bozuklukları Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü; 2012.

2. Rosengren SM, Welgampola MS, Colebatch JG. Vestibular evoked myogenic potentials: past, present and future. Clin Neurophysiol 2010; 121:636-651.

3. De Vries H, Bleeker JD. The microphonic activity of the labyrinth of the pigeon; the response of the cristae in the semicircular canals. Acta Otolaryngol 1949; 37:298-306.

4. Bickford RG, Jacobson JL, Cody DT. Nature of Average Evoked Potentials to Sound and Other Stimuli in Man. Ann N Y Acad Sci 1964; 112:204-223.

5. Colebatch JG, Halmagyi GM, Skuse NF. Myogenic potentials generated by a click-evoked vestibulocollic reflex. J Neurol Neurosurg Psychiatry 1994; 57:190-197.

6. Welgampola MS, Colebatch JG. Vestibulocollic reflexes: normal values and the effect of age. Clin Neurophysiol 2001; 112:1971-1979.

7. Deriu F, Tolu E, Rothwell JC. A sound-evoked vestibulo-masseteric reflex in healthy humans. J Neurophysiol 2005; 93:2739-2751.

8. Ferber-Viart C, Duclaux R, Colleaux B, Dubreuil C. Myogenic vestibular-evoked potentials in normal subjects: a comparison between responses obtained from sternomastoid and trapezius muscles. Acta Otolaryngol 1997; 117:472-481.

9. Wu CH, Young YH, Murofushi T. Tone burst-evoked myogenic potentials in human neck flexor and extensor. Acta Otolaryngol 1999; 119:741-744.

10. Cherchi M, Bellinaso NP, Card K, et al. Sound evoked triceps myogenic potentials. Otol Neurotol 2009; 30:545-550.

11. Watson SR, Colebatch JG. Vestibular-evoked electromyographic responses in soleus: a comparison between click and galvanic stimulation. Exp Brain Res 1998; 119:504-510.

12. Young ED, Fernandez C, Goldberg JM. Responses of squirrel monkey vestibular neurons to audio-frequency sound and head vibration. Acta Otolaryngol 1977; 84:352-360.

13. McCue MP, Guinan JJ, Jr. Acoustically responsive fibers in the vestibular nerve of the cat. J Neurosci 1994; 14:6058-6070.

14. Murofushi T, Curthoys IS. Physiological and anatomical study of click-sensitive primary vestibular afferents in the guinea pig. Acta Otolaryngol 1997; 117:66-72.

15. Brantberg K, Mathiesen T. Preservation of tap vestibular evoked myogenic potentials despite resection of the inferior vestibular nerve. J Vestib Res 2004; 14:347-351.

- 23.** De Waele C, Meguenni R, Freyss G, et al. Intratympanic gentamicin injections for Meniere disease: vestibular hair cell impairment and regeneration. *Neurology* 2002; 59:1442-1444.
- 24.** Sheykholeslami K, Habiby Kermany M, Kaga K. Frequency sensitivity range of the saccule to bone-conducted stimuli measured by vestibular evoked myogenic potentials. *Hear Res* 2001; 160:58-62.
- 25.** Akin FW, Murnane OD, Proffitt TM. The effects of click and tone-burst stimulus parameters on the vestibular evoked myogenic potential (VEMP). *J Am Acad Audiol* 2003; 14:500-509; quiz 534-505.
- 26.** Todd NP, Cody FW, Banks JR. A saccular origin of frequency tuning in myogenic vestibular evoked potentials?: implications for human responses to loud sounds. *Hear Res* 2000; 141:180-188.
- 27.** Todd NP, Rosengren SM, Colebatch JG. A utricular origin of frequency tuning to low-frequency vibration in the human vestibular system? *Neurosci Lett* 2009; 451:175-180.
- 28.** Welgampola MS, Colebatch JG. Characteristics of tone burst-evoked myogenic potentials in the sternocleidomastoid muscles. *Otol Neurotol* 2001; 22:796-802.
- 29.** Murofushi T, Matsuzaki M, Wu CH. Short tone burst-evoked myogenic potentials on the sternocleidomastoid muscle: are these potentials also of vestibular origin? *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 1999; 125:660-664.
- 30.** Welgampola MS, Rosengren SM, Halmagyi GM, Colebatch JG. Vestibular activation by bone conducted sound. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2003; 74:771-778.
- 31.** Akin FW, Murnane OD, Panus PC, Caruthers SK, Wilkinson AE, Proffitt TM. The influence of voluntary tonic EMG level on the vestibular-evoked myogenic potential. *J Rehabil Res Dev* 2004; 41:473-480.
- 32.** Bath AP, Harris N, Yardley MP. The vestibulo-colic reflex. *Clin Otolaryngol Allied Sci* 1998; 23:462-466.
- 33.** Lim CL, Clouston P, Sheehan G, Yiannikas C. The influence of voluntary EMG activity and click intensity on the vestibular click evoked myogenic potential. *Muscle Nerve* 1995; 18:1210-1213.
- 34.** Colebatch JG, Rothwell JC. Motor unit excitability changes mediating vestibulocollic reflexes in the sternocleidomastoid muscle. *Clin Neurophysiol* 2004; 115:2567-2573.
- 35.** Basta D, Todt I, Ernst A. Characterization of age-related changes in vestibular evoked myogenic potentials. *J Vestib Res* 2007; 17:93-98.
- 36.** Brantberg K, Granath K, Schart N. Age-related changes in vestibular evoked myogenic potentials. *Audiol Neurootol* 2007; 12:247-253.
- 37.** Su HC, Huang TW, Young YH, Cheng PW. Aging effect on vestibular evoked myogenic potential. *Otol Neurotol* 2004; 25:977-980.
- 38.** Erbek S, Gokmen Z, Ozkiraz S, Erbek SS, Tarcan A, Ozluoglu LN. Vestibular evoked myogenic potentials in preterm infants. *Audiol Neurootol* 2009; 14:1-6.
- 39.** Erbek S, Erbek SS, Gokmen Z, Ozkiraz S, Tarcan A, Ozluoglu LN. Clinical application of vestibular evoked myogenic potentials in healthy newborns. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2007; 71:1181-1185.
- 40.** Ecevit A, Anuk-Ince D, Erbek S, et al. Comparison of cervical vestibular evoked myogenic potentials between late preterm and term infants. *Turk J Pediatr* 2012; 54:509-514.
- 41.** Sheykholeslami K, Megerian CA, Arnold JE, Kaga K. Vestibular-evoked myogenic potentials in infancy and early childhood. *Laryngoscope* 2005; 115:1440-1444.
- 42.** Wang SJ, Chen CN, Hsieh WS, Young YH. Development of vestibular evoked myogenic potentials in preterm neonates. *Audiol Neurootol* 2008; 13:145-152.
- 43.** Chen CN, Wang SJ, Wang CT, Hsieh WS, Young YH. Vestibular evoked myogenic potentials in newborns. *Audiol Neurootol* 2007; 12:59-63.
- 44.** Young YH, Chen CN, Hsieh WS, Wang SJ. Development of vestibular evoked myogenic potentials in early life. *Eur J Pediatr Neurol* 2009; 13:235-239.
- 45.** Chang CH, Yang TL, Wang CT, Young YH. Measuring neck structures in relation to vestibular evoked myogenic potentials. *Clin Neurophysiol* 2007; 118:1105-1109.
- 46.** Hsu YS, Wang SJ, Young YH. Ocular vestibular-evoked myogenic potentials in children using air conducted sound stimulation. *Clin Neurophysiol* 2009; 120:1381-1385.
- 47.** Bjork A, Kugelberg E. The electrical activity of the muscles of the eye and eyelids in various positions and during movement. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1953; 5:595-602.
- 48.** Marg E. Development of electro-oculography; standing potential of the eye in registration of eye movement. *AMA Arch Ophthalmol* 1951; 45:169-185.
- 49.** Riemsdag FC, Van der Heijde GL, Van Dongen MM, Ottenhoff F. On the origin of the presaccadic spike potential. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1988; 70:281-287.
- 50.** Thickbroom GW, Mastaglia FL. Presaccadic 'spike' potential: investigation of topography and source. *Brain Res* 1985; 339:271-280. spike potential. Relation to eye movement direction. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1986; 64:211-214.

51. Thickbroom GW, Mastaglia FL. Presaccadic spike potential. Relation to eye movement direction. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1986; 64:211-214.
52. Todd NP, Rosengren SM, Colebatch JG. A short latency vestibular evoked potential (VsEP) produced by bone-conducted acoustic stimulation. *J Acoust Soc Am* 2003; 114:3264-3272.
53. Sohmer H, Elidan J, Rodionov V, Plotnik M. Short and middle latency vestibular evoked potentials to angular and linear acceleration. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol Suppl* 1999; 50:226-234.
54. de Waele C, Baudonniere PM, Lepecq JC, Tran Ba Huy P, Vidal PP. Vestibular projections in the human cortex. *Exp Brain Res* 2001; 141:541-551.
55. Rosengren SM, McAngus Todd NP, Colebatch JG. Vestibular-evoked extraocular potentials produced by stimulation with bone-conducted sound. *Clin Neurophysiol* 2005; 116:1938-1948.
56. Todd NP, Rosengren SM, Aw ST, Colebatch JG. Ocular vestibular evoked myogenic potentials (OVEMPs) produced by air- and bone-conducted sound. *Clin Neurophysiol* 2007; 118:381-390.
57. Welgampola MS, Migliaccio AA, Myrie OA, Minor LB, Carey JP. The human sound-evoked vestibulo-ocular reflex and its electromyographic correlate. *Clin Neurophysiol* 2009; 120:158-166.
58. Chihara Y, Iwasaki S, Ushio M, et al. Ocular vestibular-evoked myogenic potentials (oVEMPs) require extraocular muscles but not facial or cochlear nerve activity. *Clin Neurophysiol* 2009; 120:581-587.
59. Sasaki T, Suzuki K, Matsumoto M, Sato T, Kodama N, Yago K. Origins of surface potentials evoked by electrical stimulation of oculomotor nerves: are they related to electrooculographic or electromyographic events? *J Neurosurg* 2002; 97:941-944.
60. Chihara Y, Iwasaki S, Ushio M, Murofushi T. Vestibular-evoked extraocular potentials by air-conducted sound: another clinical test for vestibular function. *Clin Neurophysiol* 2007; 118:2745-2751.
61. Govender S, Rosengren SM, Colebatch JG. The effect of gaze direction on the ocular vestibular evoked myogenic potential produced by air-conducted sound. *Clin Neurophysiol* 2009; 120:1386-1391.
62. Iwasaki S, McGarvie LA, Halmagyi GM, et al. Head taps evoke a crossed vestibulo-ocular reflex. *Neurology* 2007; 68:1227-1229.
63. Chihara Y, Iwasaki S, Fujimoto C, Ushio M, Yamasoba T, Murofushi T. Frequency tuning properties of ocular vestibular evoked myogenic potentials. *Neuroreport* 2009; 20:1491-1495.
64. Iwasaki S, Smulders YE, Burgess AM, et al. Ocular vestibular evoked myogenic potentials to bone conducted vibration of the midline forehead at Fz in healthy subjects. *Clin Neurophysiol* 2008; 119:2135-2147.
65. Iwasaki S, Chihara Y, Smulders YE, et al. The role of the superior vestibular nerve in generating ocular vestibular-evoked myogenic potentials to bone conducted vibration at Fz. *Clin Neurophysiol* 2009; 120:588-593.
66. Halmagyi GM, McGarvie LA, Curthoys IS. Sternomastoid evoked potentials in response to skull taps reveal two aspects of vestibular function. *Clin Neurophysiol* 2008; 119:2177-2178.
67. Lin CM, Wang SJ, Young YH. Ocular vestibular evoked myogenic potentials via bone-conducted vibrations applied to various midsagittal cranial sites. *Otol Neurotol* 2010; 31:157-161.
68. Rosengren SM, Jombik P, Halmagyi GM, Colebatch JG. Galvanic ocular vestibular evoked myogenic potentials provide new insight into vestibulo-ocular reflexes and unilateral vestibular loss. *Clin Neurophysiol* 2009; 120:569-580.
69. Todd NP, Rosengren SM, Colebatch JG. Ocular vestibular evoked myogenic potentials (OVEMPs) produced by impulsive transmastoid accelerations. *Clin Neurophysiol* 2008; 119:1638-1651.
70. Brantberg K, Verrecchia L. Testing vestibular-evoked myogenic potentials with 90-dB clicks is effective in the diagnosis of superior canal dehiscence syndrome. *Audiol Neurootol* 2009; 14:54-58.
71. Alp G. Sağlıklı erişkinlerde kemik yolu iletimli ses uyaranlı oküler vestibüler uyarılmış miyojenik potansiyel testi normalizasyon değerleri. Ankara: Kulak Burun Boğaz Anabilim Dalı, Uzmanlık Tezi, Başkent Üniversitesi; 2014.
72. Halmagyi GM, Colebatch JG, Curthoys IS. New tests of vestibular function. *Baillieres Clin Neurol* 1994; 3:485-500.
73. Stapleton E, Mills R, Tham JC. Sacculo-colic response in otosclerosis and following successful stapes surgery. *J Laryngol Otol* 2008; 122:347-350.
74. Halmagyi GM, Aw ST, McGarvie LA, et al. Superior semicircular canal dehiscence simulating otosclerosis. *J Laryngol Otol* 2003; 117:553-557.
75. Minor LB, Carey JP, Cremer PD, Lustig LR, Streubel SO, Ruckenstein MJ. Dehiscence of bone overlying the superior canal as a cause of apparent conductive hearing loss. *Otol Neurotol* 2003; 24:270-278.
76. Aw ST, Fetter M, Cremer PD, Karlberg M, Halmagyi GM. Individual semicircular canal function in superior and inferior vestibular neuritis. *Neurology* 2001; 57:768-774.

77. Kim HA, Hong JH, Lee H, et al. Otolith dysfunction in vestibular neuritis: recovery pattern and a predictor of symptom recovery. *Neurology* 2008; 70:449-453.
78. de Waele C, Huy PT, Diard JP, Freyss G, Vidal PP. Saccular dysfunction in Meniere's disease. *Am J Otol* 1999; 20:223-232.
79. Young YH, Huang TW, Cheng PW. Assessing the stage of Meniere's disease using vestibular evoked myogenic potentials. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 2003; 129:815-818.
80. Ban JH, Lee JK, Jin SM, Lee KC. Glycerol pure tone audiometry and glycerol vestibular evoked myogenic potential: representing specific status of endolymphatic hydrops in the inner ear. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2007; 264:1275-1281.
81. Murofushi T, Matsuzaki M, Takegoshi H. Glycerol affects vestibular evoked myogenic potentials in Meniere's disease. *Auris Nasus Larynx* 2001; 28:205-208.
82. Seo T, Node M, Yukimasa A, Sakagami M. Furosemide loading vestibular evoked myogenic potential for unilateral Meniere's disease. *Otol Neurotol* 2003; 24:283-288.
83. Kuo SW, Yang TH, Young YH. Changes in vestibular evoked myogenic potentials after Meniere attacks. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 2005; 114:717-721.
84. Young YH, Wu CC, Wu CH. Augmentation of vestibular evoked myogenic potentials: an indication for distended saccular hydrops. *Laryngoscope* 2002; 112:509-512.
85. Rauch SD, Zhou G, Kujawa SG, Guinan JJ, Herrmann BS. Vestibular evoked myogenic potentials show altered tuning in patients with Meniere's disease. *Otol Neurotol* 2004; 25:333-338.
86. Akkuzu G, Akkuzu B, Ozluoglu LN. Vestibular evoked myogenic potentials in benign paroxysmal positional vertigo and Meniere's disease. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2006; 263:510-517.
87. Hong SM, Park DC, Yeo SG, Cha CI. Vestibular evoked myogenic potentials in patients with benign paroxysmal positional vertigo involving each semicircular canal. *Am J Otolaryngol* 2008; 29:184-187.
88. Hong SM, Yeo SG, Kim SW, Cha CI. The results of vestibular evoked myogenic potentials, with consideration of age-related changes, in vestibular neuritis, benign paroxysmal positional vertigo, and Meniere's disease. *Acta Otolaryngol* 2008; 128:861-865.
89. Yang WS, Kim SH, Lee JD, Lee WS. Clinical significance of vestibular evoked myogenic potentials in benign paroxysmal positional vertigo. *Otol Neurotol* 2008; 29:1162-1166.
90. Seo T, Hashimoto M, Saka N, Sakagami M. Hearing and vestibular functions after plugging surgery for the posterior semicircular canal. *Acta Otolaryngol* 2009; 129:1148-1152.
91. Murofushi T, Matsuzaki M, Mizuno M. Vestibular evoked myogenic potentials in patients with acoustic neuromas. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 1998; 124:509-512.
92. Patko T, Vidal PP, Vibert N, Tran Ba Huy P, de Waele C. Vestibular evoked myogenic potentials in patients suffering from an unilateral acoustic neuroma: a study of 170 patients. *Clin Neurophysiol* 2003; 114:1344-1350.
93. Ushio M, Matsuzaki M, Takegoshi H, Murofushi T. Click-and short tone burst-evoked myogenic potentials in cerebellopontine angle tumors. *Acta Otolaryngol Suppl* 2001; 545:133-135.
94. Day AS, Wang CT, Chen CN, Young YH. Correlating the cochleovestibular deficits with tumor size of acoustic neuroma. *Acta Otolaryngol* 2008; 128:756-760.
95. Hu YF, Cheng PW, Young YH. Comparison of vestibular function between large cerebellopontine angle meningioma and schwannoma. *Acta Otolaryngol* 2009; 129:161-165.
96. Ozluoglu LN, Akkuzu G, Ozgirgin N, Tarhan E. Reliability of the vestibular evoked myogenic potential test in assessing intratympanic gentamicin therapy in Meniere's disease. *Acta Otolaryngol* 2008; 128:422-426.
97. Helling K, Schonfeld U, Clarke AH. Treatment of Meniere's disease by low-dosage intratympanic gentamicin application: effect on otolith function. *Laryngoscope* 2007; 117:2244-2250.
98. Picciotti PM, Fiorita A, Di Nardo W, Quaranta N, Paludetti G, Maurizi M. VEMPs and dynamic posturography after intratympanic gentamycin in Meniere's disease. *J Vestib Res* 2005; 15:161-168.