

Multifrekans Multikomponent Timpanometri

Multifrequency Multicomponent Tympanometry

¹Sıddıka AKMAN^a, ²Şule KAYA^b, ³M. Hakan KORKMAZ^c

^aSincan Kadın Kapalı Ceza İnfaz Kurumu, Ankara, Türkiye

^bAnkara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi, Odyoloji Bölümü, Ankara, Türkiye

^cAnkara Dışkapı Yıldırım Beyazıt Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Kulak Burun Boğaz Hastalıkları Kliniği, Ankara, Türkiye

ÖZET Timpanometri yıllardır orta kulak patolojilerini tespit etmek için kliniklerde yaygın olarak kullanılmakta ve odyolojik test bataryasında yer almaktadır. Standart 226 Hz timpanometrinin orta kulak dinamiklerini değerlendirmek için yararlı bir klinik araç olduğu kanıtlanmış olmasına rağmen, bazı orta kulak patolojileri hakkında sınırlı bilgi sağlamaktadır. Multifrekans multikomponent timpanometri orta kulak dinamikleri hakkında 226 Hz standart timpanometriye göre daha ayrıntılı bilgi sağlayan elektro-akustik bir değerlendirme aracıdır. Multifrekans multikomponent timpanometri orta kulağın ses transferi ile ilgili önemli kavramlar olan kütle, sürtünme ve sertlik etkilerini ve orta kulak rezonans frekansını değerlendirme olanağı sunmaktadır. Multifrekans multikomponent timpanometri kütle ve sertlik komponentlerinin arasındaki dengeyi belirleyen rezonans frekansını analiz etmektedir. Bu analizi yaparken 226 ve 2000 Hz frekans aralığında farklı prob ton ve farklı basınçlar göndererek rezonans frekans değerini analiz etmektedir. Analiz sonucu, orta kulak sisteminde kütle ya da sertlik nedenli patolojilere göre değişkenlik göstermektedir. Orta kulak patolojilerinin, orta kulak dinamikleri üzerindeki etkilerinin araştırılmasında hızlı, pratik ve non invaziv bir ölçüm aracı olarak tanısal anlamda yararlı bilgiler sağlamaktadır. Ayrıca çeşitli orta kulak patolojilerinin ve/veya cerrahilerinin meydana getireceği etkilerde multifrekans multikomponent timpanometri ile değerlendirilebilmektedir. Bu makalenin amacı multifrekans multikomponent timpanometrinin kullanım alanları ve parametreleri ile ilgili literatürdeki mevcut bilgileri gözden geçirmek ve çeşitli otolojik koşullarda bu değerlendirme aracının rolünü araştırmaktır.

ABSTRACT Tympanometry has been widely used in clinics for years to detect middle ear pathologies and is included in the audiological test battery. Although standard 226 Hz tympanometry has proven to be a useful clinical tool for evaluating middle ear dynamics, it provides limited information about some middle ear pathologies. Multifrequency multicomponent tympanometry is an electro-acoustic assessment tool that provides more detailed information about middle ear dynamics than 226 Hz standard tympanometry. Multifrequency multicomponent tympanometry provides the opportunity to evaluate the effects of mass, friction and stiffness, which are important concepts related to the sound transfer of the middle ear, and the middle ear resonance frequency. Multifrequency multicomponent tympanometry analyzes the resonant frequency, which determines the balance between the mass and stiffness components. While doing this analysis, it analyzes the resonance frequency value by sending different probe tones and different pressures in the frequency range of 226 and 2000 Hz. The result of the analysis varies according to the pathologies caused by mass or stiffness in the middle ear system. It provides useful diagnostic information as a fast, practical and non-invasive measurement tool in investigating the effects of middle ear pathologies on middle ear dynamics. In addition, the effects of various middle ear pathologies and/or surgeries can be evaluated with multifrequency multicomponent tympanometry. The aim of this article is to review the available information in the literature about the usage areas and parameters of multifrequency multicomponent tympanometry and to investigate the role of this assessment tool in various otological conditions.

Anahtar Kelimeler: Multifrekans multikomponent timpanometri; rezonans frekans; Vanhuyse modeli

Keywords: Multifrequency multicomponent tympanometry; resonance frequency; Vanhuyse model

Orta kulak; timpanik membran (TM), 3 kemikçik (malleus, inkus, stapes), bağ, ligamentler ve orta kulak boşluğundan oluşmaktadır. Bu yapılar, mekanik bir sistem olarak çalışır ve ses iletiminde önemli rol oynar. Dış kulak yoluna ses basıncı olarak ulaşan

ses, TM'ye kemikçik zincirinin mekanik titreşimlerine ve ardından sıvı dolu kohleada ilerleyen bir dalgayla dönüştürülmektedir.¹ Orta kulak, havanın düşük impedansı ile yüksek impedanslı kohlear sıvılar arasında bir impedans eşleştirme aracı olarak işlev görür.

Correspondence: Sıddıka AKMAN

Sincan Kadın Kapalı Ceza İnfaz Kurumu, Ankara, Türkiye

E-mail: siddikakman@gmail.com



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

Received: 28 Oct 2021

Received in revised form: 02 Feb 2022

Accepted: 02 Feb 2022

Available online: 07 Mar 2022

1307-7384 / Copyright © 2022 Turkey Association of Society of Ear Nose Throat and Head Neck Surgery. Production and hosting by Türkiye Klinikleri.

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

Bu, temel olarak TM ve stapes taban plakası alanlarındaki farklılıktan ve (daha az ölçüde) kemikçik zincirinin kaldırıcı etkisinden dolayı gerçekleşmektedir. Bu nedenle orta kulağın ses transfer işlevi, ses enerjisinin havadan kohlea içindeki sıvılara aktarılma etkinliğini de kapsar. Diğer taraftan orta kulak yapısının bazı patolojiler nedeniyle veya geçirilen cerrahilere bağlı olarak bozulması, orta kulak transfer fonksiyonunun etkinliğinin azalması ve dolayısıyla iletim tipi işitme kaybı ile sonuçlanır.² Bu tür iletim tipi fonksiyon bozukluklarının değerlendirilme sürecinde; genellikle tıbbi öykü alınması, otoskopik inceleme ve bilgisayarlı tomografi kullanılmakla birlikte, orta kulak fonksiyonlarını değerlendiren (timpanometrik değerlendirmeler) ölçümler tanı için çok önemli bilgiler sağlamaktadır.

TİMPANOMETRİ VE İMMİTANS KAVRAMI

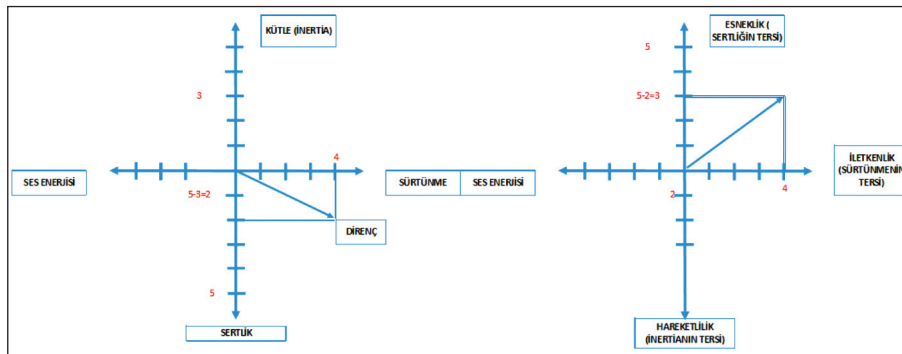
Timpanometri; orta kulağın ses iletim özelliğinin değerlendirilmesi ve iletim fonksiyonu ile ilişkili patolojilerin teşhisi için hassas, spesifik, noninvaziv ve davranışsal yanıt gerektirmeyen ve yaygın olarak kullanılan elektro-akustik odyolojik bir ölçüm aracıdır. Standart 226 Hz timpanometride, düşük bir prob ton olan 226 Hz uyarın kullanılarak ölçüm gerçekleştirilmektedir ve orta kulak basıncı ile ilgili önemli tanısal bilgi sunmaktadır.³ Standart 226 Hz timpanometrik ölçümlerde düşük prob ton uyarın kullanıldığından orta kulak sertlik etkisi altındadır. Kütle etkisinin baskın olduğu orta kulak patolojilerini değerlendirmede, standart 226 Hz timpanometrik ölçüm

tek başına yeterli olmamaktadır. Standart 226 Hz timpanometri, orta kulak kemikçiklerinin kütle etkisi, TM katılığı gibi kütle kontrollü bileşenlerin değerlerine daha az duyarlıdır.⁴

Akustik immitans, admitans (Y_a) ve impedansın (Z_a) her ikisini birden içeren bir terimdir. Admitans ve impedans zıt kavramlardır. Akustik admitans, orta kulak sistemin ses enerjisini iletme becerisidir, suseptans ve kondüktans olmak üzere 2 alt unsuru vardır. Suseptans (B), komplians ve kütle komponentlerinin sağladığı geçiş kolaylığı anlamına gelir ve frekans değerinden etkilenir. Kondüktans (G), rezistans ile karşılıklı ilişki içindedir. Ses enerjisinin kayba uğramadan orta kulak sisteminden geçiş kolaylığını tarif eder ve frekans değerinden bağımsızdır. Akustik impedans (Z_a) ise orta kulak sisteminin ses enerjisinin geçişi esnasında, enerjinin geçişine karşı uyguladığı toplam dirençtir.⁵ Mevcut şartlarda kullanılan akustik immitans ölçümünü yapan cihazlar, sadece akustik admitansı (Y_a) ve admitansın 2 alt ögesi olan akustik suseptans (B) ile akustik kondüktansı (G) ölçer.⁶ Oysaki farklı prob tonlar kullanılarak yapılan ve admitans (veya impedansın) alt unsurlarını belirleyebilen ölçüm yöntemleri de bulunmaktadır (Şekil 1).

MULTİFREKANS MULTİKOMPONENT TİMPANOMETRİ

Multifrekans multikomponent timpanometri (MF-MKT), orta kulak sisteminin mekanik özelliklerindeki değişiklikleri belirlemek için standart 226 Hz timpanometriye göre çok daha hassas bir yöntemdir.



ŞEKİL 1: İmpedans ve admitansı belirleyen faktörler.⁷

MF-MKT, orta kulak sisteminin rezonans özelliklerini belirlemek için orta kulak fonksiyonunun geniş bir frekans aralığında 226-2.000 Hz'de test edilmesine olanak tanır.⁸ MF-MKT, admitansın büyüklüğü ve yönü hakkında bilgi sağlayan suseptans (B) ve kondüktans (G) olmak üzere 2 bileşenin ölçümüne olanak sunmaktadır. Bu 2 bileşenin değerlendirilmesi, yüksek frekanslı prob tonlarıyla ölçülen timpanogramların yorumlanması için 226 Hz prob tonuyla ölçülen timpanogramlardan daha önemlidir.⁹ Normal veya yüksek prob tonlarda meydana gelen çeşitli timpanometrik konfigürasyonlar birbirinden farklıdır. Kütle ve sertlik komponentlerinin etkisinin belirlemediği çok prob tonlu ölçümlerde, normal ve patolojik orta kulak fonksiyonları ve bu anormalliklerin nedenleri belirlenebilmektedir. Diğer bir ifade ile bir timpanogramda kütle etkisinin mi yoksa sertlik etkisinin mi artırdığını bilmek, klinisyenin timpanogramdaki değişikliklerle sonuçlanan orta kulak patolojisinin olası nedenini belirlemeye yardımcı olur.¹⁰ MF-MKT parametreleri; orta kulak rezonans frekansını (RF), Vanhuysse modeline göre timpanogram paternlerini, 45 derece faz açısına denk gelen admitans değerlendirmesi ve çoklu frekanslar için statik admitans değerlerini içermektedir.¹¹

REZONANS FREKANSI

RF, MF-MKT'nin sunduğu önemli parametrelerden biridir. Admitans kavramı sisteminin enerji iletme kabiliyetidir. Suseptans (B) ve kondüktans (G) olmak üzere 2 ögesi vardır. Suseptansın (B) 2 alt ögesi kütle suseptansı ve komplians suseptansının matematiksel toplamlarıyla toplam suseptans elde edilir. Orta kulak RF, kütle ve komplians suseptansının birbirine eşit olduğu yani toplam suseptansın 0 olduğu frekans değeri olarak tanımlanmaktadır. Orta kulak sisteminin doğal frekansında en kolay titreştiği frekans değeridir.⁵ Diğer bir ifade ile RF orta kulağın kütle ve sertlik unsurlarının birbirlerini sıfırladığı frekans değeridir ($\Delta B=0$).¹¹ RF ölçümü, 2 adımda gerçekleştirilmektedir. İlk olarak 226 Hz'de sabit frekansta probe ton vererek +200 ile -400 daPa arasında basınç değişikliği yaparak timpanometrik tepe basıncını, statik admitans belirlemek için bir timpanogram çizdirilir. Sonrasında 250-2.000 Hz arasında 50 Hz'in katları şeklinde değişik prob tonlarda uyaran verilerek, oto-

matik olarak ardışık ölçümler yapılarak yaklaşık RF değeri elde edilir. Sonuçlar otomatik olarak hesaplanır ve çıktı alınır.¹²

SAĞLIKLI KULAKLARDA REZONANS FREKANSI

Funasaka ve ark. 1984 ve 1988 yıllarında yaptıkları çalışmalarla orta kulak RF değerlerini araştırmaya odaklanan ilk araştırmacılardandır. Sağlıklı 50 kulakta 220-2.000 Hz arasında tarama frekansı prob ton kullanılarak yaptıkları çalışmalarda; orta kulak RF değerlerini 720 Hz ve 1.880 Hz, Wada ve ark. (1984 ve 1989 yılında) 50 sağlıklı kulakta normatif veri oluşturmak için yaptıkları çalışma 1.000 Hz civarında, Lutman ve ark. 67 kulakta 871 Hz, Russolo ve ark. 54 kulakta 834 Hz, Shanks ve ark. 26 kulakta 1.100 Hz, Margolis ve Goycoolea 56 kulakta 1.223 ± 332 Hz olarak bulmuştur.^{4,14-18} Valvik ve ark. 100 kulakta 1.049 Hz, Franco-Vidal ve ark. 48 kulakta 926 Hz, Sugawawa ve ark. 1.123 Hz, Miani 48 kulakta 1.085 Hz olarak bulmuşlardır.¹⁹⁻²² Türk popülasyonunda orta kulak RF değeri ile ilgili yapılan çalışmalarda ise Özer (2018) sağ kulakta; 906,42 Hz ve sol kulakta 863,21 Hz, Sezin ve ark. 120 sağlıklı kulakta $999,6\pm 134,9$ Hz, Ogut ve ark. 50 sağlıklı kulakta 934,6 Hz, Kaya ve ark. 120 sağlıklı kulakta yaptıkları çalışmada, kadınlarda $885,8\pm 123,5$ Hz, erkeklerde $870,3\pm 124,3$ Hz olarak belirlemişlerdir.²³⁻²⁶ Genel olarak özetleyecek olursak literatürde, MF-MKT kullanılarak belirlenen RF değeri ile ilgili çalışmalar incelendiğinde; sağlıklı kulaklarda ortalama RF değerinin 700-1.500 Hz arasında değişmekte olduğu görülmüştür.

ÇOCUKLARDA VE BEBEKLERDE ORTA KULAK REZONANS FREKANSI

Orta kulak sisteminde ve dış kulak yolunda, doğumdan sonraki 2 yıl içinde maturasyonel değişimler olmaktadır. Yenidoğanlarda orta kulak daha çok kütle etkisinde ve erişkinlerin tersine daha düşük rezonanstadır. Kütleli yoğunluk arttıkça gelen ses enerjisine direnç yükselir. Bu nedenle de alçak frekans prob tonların yenidoğan ve bebeklerin değerlendirilmesinde yetersiz kalmaktadır MF-MKT bu anlamda önem kazanmaktadır.²⁷ Hanks ve Rose, 250-2.000 Hz arasında değişen farklı prob tonlarda MFT kullanarak yaptıkları çalışmada, yaşları 6-15 arasındaki çocuklarda 316 kulakta, orta kulak RF değerini 650-1.400 Hz arasında, ortalama RF değerini ise

1.000 Hz olarak, Kontrogianni ve ark. 45 çocuğa ait 90 sağlıklı kulakta yaptıkları çalışmada, RF değerini 650-1.400 Hz olarak bulmuşlardır.^{3,28} Bebeklerde doğumdan sonraki ilk günler ile yaşamın 3. ayı arasındaki RF'nin değişimini, orta kulak RF değerinin yaşa etkisinin inceleyen André ve ark. 2012 yılında yaptıkları çalışmada, bebeklerde orta kulak RF değerini, kütle bileşeninin etkisiyle yaşamın ilk günlerinde daha düşük olduğunu, RF'nin yaşamın ilk aylarında arttığını bulgulamıştır.²⁹

HAMİLELİKTE ORTA KULAK REZONANS FREKANSI

Hamilelik sırasında kadın vücudunda hormonal değişiklikler, kilo artışı, hücreler arası boşlukta sıvı artışı ve ödem oluşur. Yapılan araştırmalar, hamilelik sırasında alçak frekanslarda sensörinöral işitme kaybı olduğunu göstermektedir.³⁰ Dag ve ark. 2016 yılında hamilelikte orta kulak RF'de farklılık olup olmadığını değerlendirmek amacıyla 250-2.000 Hz arasında değişen farklı prob tonlarda MFT değerlendirme yapılmıştır. Çalışmaya 46 hamile kadın ve 43 tane hamile olmayan kadın (kontrol grubu) katılmıştır. Kontrol grubu sol kulakta 1.037 Hz iken, sağ kulakta 998 Hz; hamile grupta ise sol kulakta 790 Hz ve sağ kulakta 754 Hz olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, hamilelerde orta kulak RF değerinin kontrol grubuna göre anlamlı derecede düşük olduğu bulunmuştur.³¹ Sonuç olarak hamilelikte orta kulağın akustik geçirgenliği değişmektedir.

ORTA KULAK PATOLOJİLERİNDE REZONANS FREKANSI

MF-MKT ile kütle ve sertlik unsurlarının dengede olduğu orta kulak sistemini RF değerini doğrudan değerlendirmek mümkündür. Toplam susteptansın sıfır ($\Delta B=0$) olduğu frekanstır. Orta kulak patolojilerinde RF değeri değişebilmektedir.⁶ Orta kulak RF değerindeki değişiklikleri ve orta kulak patolojilerini değerlendirmek için kullanılır özellikle yüksek frekanslı prob tonlarda sertlik etkisini artıran otoskleroz, kemik zincir disfonksiyonlarının ayırıcı tanısında önem taşımaktadır.³²

Çeşitli kemikçik zincir kopukluğu veya fiksasyonu olan hastalarda ortalama RF değeri ile ilgili çalışmalarda; Funasaka ve ark. (1984 ve 1988) kemikçik zinciri kopukluğu, doğuştan inkus ve mal-

leus fiksasyonu olan kulaklar ve sağlıklı kulaklarla yaptıkları çalışmalarda, sağlıklı kulakların RF değeri 720-1.880 Hz aralığında iken, kemikçik patolojisi olan kulaklarda RF değeri daha düşük olarak saptanmıştır.^{4,14} Wada ve ark. kemikçik zincir fiksasyonu olan 12 kulakta ortalama RF değerini 1.400 Hz, kemikçik zinciri kopukluğu olan 26 kulakta ise ortalama RF değerini 830 Hz olarak bulmuştur. Kemikçik zincir fiksasyonunda RF değerinin 1.000 Hz'den daha yüksek ve kemikçik zinciri kopukluğu olan hastalar 1.000 Hz'den daha düşük olduğunu açıklamıştır.¹⁵ Stapekdomi cerrahisi sonrasında orta kulak RF değerini değerlendiren çalışmalarda; Russolo ve ark., 20 kulakta 800 Hz, Valvik ve ark. 21 kulak ile yaptığı çalışmada, ortalama RF değerini 692 Hz, Colletti ve ark. 138 kulakta ise 630 Hz olarak bulmuşlardır.³³

Valvik ve ark. yaptığı çalışmada, 17 negatif orta kulak basıncına sahip kulak, 28 TM (skar veya timpanoskleroz) patolojisine sahip kulak ile yaptıkları çalışmada, TM patolojilerinde 700 Hz olarak bulunmuştur.¹⁹ Konukseven ve ark., timpanoplasti ve mastoidectomi cerrahisinin dış ve orta kulağa etkisini inceledikleri çalışmada, orta kulak RF'nin kontrol grubuna kıyasla daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.³⁴ Iacovou ve ark., yaptığı çalışmada ise ortalama RF değeri kondrotimpanoplasti cerrahisi uygulanmış kulaklarda 808 ± 458 Hz ve fasya greft timpanoplasti cerrahisi uygulanmış kulaklarda ise RF değeri 628 ± 256 Hz olarak bulunmuştur.³⁵

Romatoid artritli kulaklarda orta kulağın RF değerini araştıran çalışmalarda, Biasi ve ark., 48 sağlıklı kulak ve 30 romatoid artritli kulağın ortalama RF değerini karşılaştırdığı çalışmada, sağlıklı kulaklarda 800 ve 1.250 Hz, romatoid artrit hastalarının %21'inde normal aralıkta, %15'inde artmış, %6'sında ise ortalama RF değeri azalmıştır.³⁶ Frade ve ark., 53 romatoid artritli kulaklarda yaptığı çalışmada ise orta kulak RF değerini 1.114 ± 189 Hz olarak bulmuştur ve sağlıklı kulaklara göre ortalama RF değerinin arttığı tespit edilmiştir.³⁷ Giannini ve ark. 35 juvenil romatoid artritli ve ortalama RF değerini 1.115 ± 295 Hz olarak bulmuştur. Hastalığın remisyon ve nüksetme dönemlerinde, değişmeyen bir artış olduğu gözlemlenmiş ve bu artış yazar tarafından inkus ile malleus arasında ve inkus ile stapes arasındaki ek-

lemin sertleşmesine bağlanmıştır.³⁸ Kronik otitis media (KOM) kulaklarda ortalama RF değerini inceleyen çalışmalarda; Ferekidis ve ark., 1999 yılında 76 kulakta 499 ± 145 Hz, Lai ve ark., 85 kulakta 400 ± 124 Hz olarak bulmuştur.^{13,39} Otosklerozlu kulaklarla yapılan çalışmalarda ortalama RF değerini, Funasaka ve ark. 1.880 Hz'den yüksek olduğunu, Colletti ve ark. (1993) 73 otosklerozlu kulakta 1.400 Hz, Shahnaz ve Polka (1997), 14 otosklerozlu kulakta 1.186 ± 370 Hz olarak, Nakashima ve ark. (2000), 50 kulakta 1.306 ± 265 Hz, Miani ve ark. 70 kulakta 1.264 ± 320 Hz, Ögüt ve ark. (2008) 25 kulakta $1.190\pm 241,95$ Hz olarak bulmuşlardır.^{4,14,22,25,33,40,41} Günümüzde, otosklerotik kulakları normal kulaklardan ayırmada yararlı bir araç olarak MF-MKT güvenle kullanılmaktadır.

Sonuç olarak orta kulağın kütle etkisinde olduğu kemikçik zincir kopukluğu, KOM, atelektazik TM gibi patolojilerde ortalama RF değerinin düştüğü, orta kulağın sertlik etkisinde olduğu otoskleroz, kemikçik fiksasyonu, romatoid atrit, juvenil romatoid atrit gibi patolojilerde ise ortalama RF değerinin arttığı saptanmıştır.

VANHUYSE MODELİ VE TARİHÇESİ

MF-MKT dair ilk çalışmalardan biri Colletti'nin çalışmasıdır. Colletti, sağlıklı ve çeşitli orta kulak patolojilerine sahip 260 erişkin üzerinde 200-2.000 Hz arasında değişik prob tonlarda morfolojik olarak V, W ve ters V olmak üzere 3 tip belirlemiştir. Düşük frekansta V şeklindedir ve simetrik kuyruklu tek bir minimum empedans noktası gösterir, orta frekanslarda W maksimum bölgesini içeren 2 minimum empedans noktası gösterir ve yüksek frekanslarda timpanogramlar kademeli olarak tek bir empedans noktası ve simetrik kuyruklar ile ters V şeklini alır ifadesini kullanmıştır.⁴²

MF-MKT dair diğer bir timpanogram sınıflaması ise Vanhuyse ve ark. (1975) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, ilk olarak 678 Hz'de normal kulaklarda ve çeşitli patolojilerde oluşan tepe ve çukur sayısı ile sınıflandırılmış suseptans (B) ve kondüktans (G) kaydedilen 4 timpanogram modelini açıklamak için geliştirmişlerdir.⁴³ Bu model daha sonra Margolis ve Goygoolea (1984) tarafından yüksek prob tonlarına uyarlanmıştır timpanogram şeklindeki değişiklikleri frekansın bir fonksiyonu olarak açıklanmıştır.¹⁸ Orta

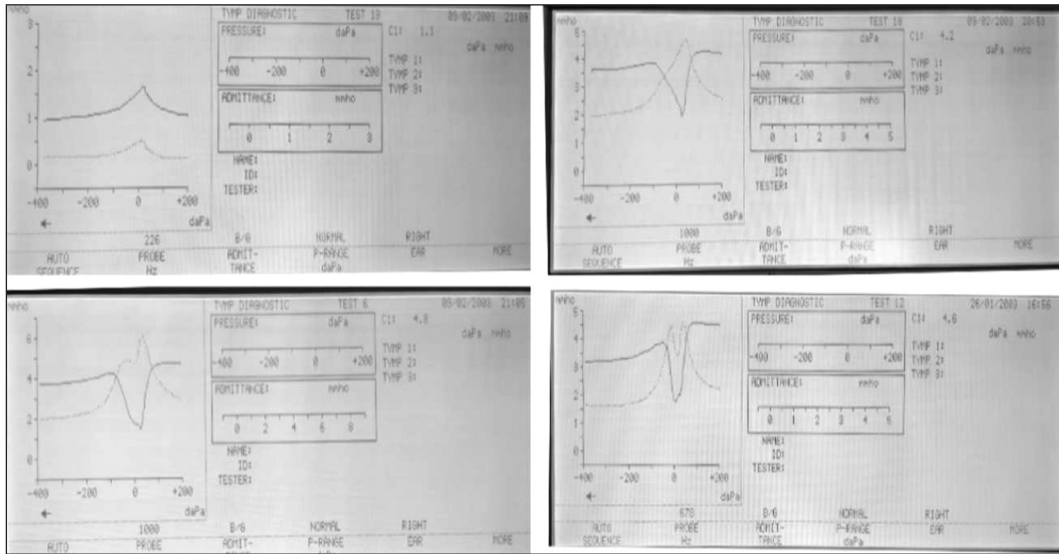
kulak düşük frekanslarda sertlik etkisi kontrolüne, yüksek frekanslara doğru ilerledikçe orta kulak kütle etkisine girer. Frekanstaki bu değişiklikler, B ve G eğrilerinde tepeler oluşturur. Bu tepeler, B ve G basınç değişimiyle ortaya çıkan artma ve azalmanın timpanogram eğrisindeki yansımalarından oluşur. B ve G komponentleri; 1B1G, 3B1G, 3B3G, 5B3G olarak sınıflandırılır.⁴⁴ İlk olarak, 1B1G modeli, bir suseptans tepeli ve bir kondüktans tepeli timpanogramdan oluşur. Admitans faz açısı 90° ve 45° arasındadır. Normal kulaklarda standart düşük frekanslı timpanometri 1B1G modeli elde edilir. İkinci olarak 3B1G modeli, 2 tepesi 1 çentikten oluşan suseptans ve tek tepeli kondüktanstan timpanogramı, admitans fazı 45° ile 0° arasında oluşur. Orta kulak sertlik etkisindedir. Diğeri ise 3B3G modeli, suseptans ve kondüktans grafiklerinin her biri 3 tepe noktalıdır. Orta kulak, rezonans ya da kütle etkisindedir. Admitans faz açısı 0° ile -45° arasındadır. Son olarak 5B3G modeli, suseptans grafiğinde 3 tepe noktası ve 2 çentik, kondüktans grafiği ise 2 tepe noktası ve 1 çentik bulunan timpanogram şeklindedir. Admitans faz aşaması -45° ile -90° arasındadır. Orta kulak kütle etkisindedir (Şekil 2).⁴⁵

SAĞLIKLI KULAKLARDA MF-MKT VANHUYSE MODELİ

Sağlıklı kulaklarda Vanhuyse modeline dair normatif değerleri oluşturmak için yapılan çalışmalarda; Calandruccio ve ark. yaş ortalaması 30,3 olan 33 erişkin ait 33 kulak ait verileri değerlendiklerinde 226 Hz'de tüm kulaklarda 1B1G, 630 Hz'de, 1.000 Hz ise ağırlıklı olarak 3B1G modeline rastlamışlardır, Margolis ve Goygoolea'nın 10 sağlıklı erişkinde 220 ve 910 Hz aralığında yaptıkları çalışmada, düşük prob tonlarda 1B1G modeli sıklıkla görülürken, yüksek frekanslarda ise yaygın olarak 1B1G ve 3B1G modeline rastlanmıştır, Raut ve ark. 10 erişkinde ait 20 kulağın değerlendirildiği çalışmada, tüm katılımcılarda 1.000 Hz'de 3B1G modeline rastlanmıştır.⁴⁶⁻⁴⁸

ERİŞKİNLERDE ORTA KULAK PATOLOJİLERİNDE MF-MKT VANHUYSE MODELİ

Sertlik ve kütle komponentleri frekansa bağlı değişkenlerdir. Sertlik komponenti yüksek frekanslara izin verir (≥ 2 kHz), alçak frekansları engeller (≤ 1 kHz); kütle komponenti ise alçak frekanslara izin verir ve yüksek frekansları engeller.



ŞEKİL 2: Multikomponent timpanogram örnekleri (Yazarlar tarafından GSI Tymstar (USA) versiyon 2.0 kullanılarak Sağlık Bilimleri Üniversitesi Dışkapı Yıldırım Beyazıt Sağlık Uygulama ve Araştırma Hastanesi KBB Kliniği Odyoloji Ünitesinden elde edilen ölçümler).

Sağlıklı kulaklarla çeşitli patolojilere sahip kulaklar karşılaştırıldığında, orta kulak RF değeri daha yüksek veya alçak çıkabilir. RF değeri ile orta kulak sisteminin kütle komponenti ters orantılıdır.¹² Orta kulağın kütle etkisini artıran orta kulak patolojileri RF değerini azaltacaktır. Orta kulak RF değerindeki bu değişiklik alçak frekanslı timpanogram şeklini etkilemez, ancak yüksek frekanslı prob tonlar için timpanogram şeklini değiştirebilir.³² Orta kulak patolojilerinde MF-MKT kullanılarak Vanhuyse modeli ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde; Margolis (1985) ve ark. ile Vanhuyse'nin (1975) yaptıkları çalışmalarda, 678 Hz prob tonda orta kulak kütle etkisindeyken 3B3G ve 5B3G modeli bulunmuştur.^{44,47} Raut ve ark., (2019) 1.000 Hz'de orta kulak patolojisi teşhis edilen 26 erişkinine ait 39 kulağın değerlendirildiği çalışmada, 13 kulakta 5B3G, 5 kulakta 3B3G, 4 kulakta 3B1G, 4 kulakta 1B1G modeli olduğunu saptamıştır. Ek olarak 7 kulakta flat tipi timpanogram görülürken, 6 kulakta Vanhuyse modeli dışında anormal modeller bulunmuştur. Bu bulgular gösteriyor ki 226 Hz standart timpanometri ile tespit edilemeyen orta kulaktaki küçük değişikliklerin MF-MKT ile tespit edilebileceğini ve kütle etkisinin baskın olduğu orta kulak patolojilerini tespit etmek için 1.000 Hz prob tonun etkinliği vurgulamaktadır.⁴⁸ Ögüt (2008), cerrahi olarak kanıtlanmış otoskleroza olan 25 kulakla yaptığı çalışmada, 21 kulakta 3B3G modelini

elde etmiştir. Çalışma sonucunda, otoskleroza kulaklarda RF değerinin ve kemikçik zincirinde sertlik etkisinin arttığını bulgulamışlardır.²⁵

YENİDOĞANLARDA MF-MKT VANHUYSE MODELİ

Yenidoğanlarda anatomik olarak kulak zarı ve dış kulak yolu, erişkinlere göre farklılık göstermektedir. Kulak kanalı tabanın kıkırdak bir yapıda olması nedeniyle kulak kanal duvarları daha hareketli olabilir ve orta kulak kavitesi henüz bir erişkinin seviyesinde değildir.⁴⁹ Yenidoğanlarda kulak kütle etkisindedir bu sebeple de 226 Hz standart timpanometri (alçak frekans prob tonlar) yenidoğanların değerlendirilmesinde yetersiz kalır. Kütle etkisinin baskın olduğu kulaklarda, yüksek frekans prob tonda orta kulak sistemini değerlendirmek daha etkin olabilir.⁵⁰ Calandruccio ve ark., (2006) MF-MKT kullanılarak 4 haftalık ve 2 yaşlarındaki 33 bebek ve yenidoğan ile yaptıkları çalışmada, yenidoğanlar ile erişkinlerde özellikle 1.000 Hz'de farklı Vanhuyse modelleri elde etmişlerdir. Erişkinlerin %80'i 3B1G modeli gösterirken, yenidoğanlar ve bebeklerde 1B1G ya da 3B1G modeli saptanmıştır.⁴⁶ McKinley ve ark., (1997) 55 sağlıklı yenidoğanda (doğumdan sonra 24 saatten daha az bir süre geçmiş) MF-MKT 226, 678 ve 1.000 Hz'de ölçüm gerçekleştirmiştir. 226 Hz'de test ettikleri bebeklerin çoğunda tek veya çok tepeli timpanogramlar elde ederken, 678 Hz'de yenidoğanların

%62'si flat tipi timpanogramlara sahip ve geri kalanları 1B1G modeli ve Vanhuyse modeli dışında modellerde saptamışlardır. 1.000 Hz'de çoğu yenidoğanda timpanogramlar Vanhuyse modeline göre sınıflandırılmamıştır. McKinley ve ark. çalışma sonucunda, MF-MKT Vanhuyse modelinin yeni doğanlarda sınıflandırma yapmak için yeterli olmadığı sonucuna varmıştır.⁵¹ Sprague ve ark. (1985) 44 yenidoğanı test etmiş ve %99'unun 660 Hz'de 1B1G modeli gösterdiğini buna karşın 220 Hz'de 1B1G'nin en az görülen model olduğunu ifade etmişlerdir. Yenidoğanlarda RF değeri erişkinlere göre daha düşüktür. Bu da yaşamın ilk yıllarında orta kulak sisteminde kütle etkisinin baskın olmasıyla açıklanmaktadır.⁵³

“F45°”=45 DERECE ADMİTANS FAZ AÇISINDA ADMİTANS

MF-MKT kullanışlı diğer bir parametresi ise 45 derece admitans faz açısına denk gelen (F45°) frekansdır ve bu değer kompanse edilmiş suseptans ve kondüktans timpanogramının eşit olduğu açığa karşılık gelmektedir. Komplians; timpanik zar ve orta kulakta bulunan ligament ve tendonların gerginliğinden oluşan “sertliğin (stiffness)” tersidir. Terminolojik olarak “kompanse edilmiş suseptans” olarak adlandırılır. Bu parametre, orta kulak RF değerine benzer olarak çeşitli orta kulak patolojilerinde azalır veya artabilir.¹² Otosklerozlu kulaklarda, orta kulak sisteminin sertliğinde bir artış olması nedeniyle ayırt etme açısından ortalama RF değerinden daha hassas bir indeks olduğu düşünülmektedir.⁴¹ Shahnaz ve ark. 2009 yılında 62 sağlıklı erişkin ve 28 otoskleroz teşhis edilmiş hasta ile yaptıkları çalışmada, F45° değeri sağlıklı kulaklarda 539±119 Hz otosklerozlu kulaklarda ise 752±163 Hz olarak bulmuşlardır ve otosklerozlu kulaklarda F45° değeri sağlıklı kulaklara göre anlamlı derecede yüksek olduğunu tespit etmiştir.⁵⁴ Normatif verilerin azlığı, yorumlamasının karmaşık

ve anlamasının güç olmasından kaynaklı olarak klinik test bataryasında kullanımı yaygın değildir.

SONUÇ

MF-MKT akustik admitans komponentleri; suseptans, kondüktans ve faz açısının değerlendirilmesi ile timpano-ossiküler sistemin kütle ve sertlik bileşenleri arasındaki dengeyi değerlendirebilmektedir. Bu anlamda, 226 Hz standart timpanometriye göre daha ayrıntılı klinik veri sağlamaktadır. Ayrıca klinikte MF-MKT kullanımı, klinisyene kemikçik zincir fiksasyonu gibi yüksek RF'li patolojileri ya da kemikçik zincir kopukluğu gibi düşük RF'li patolojilerden ayırt edilebilmesine olanak sağlamaktadır. Yapılan çalışmalar ile MF-MKT çeşitli patolojilerde kullanışlı klinik veriler sağladığı kanıtlanmıştır. Klinik alışkanlıklara bağlı olarak kullanımı çok yaygın olmasa da MF-MKT orta kulak mekanikleri hakkında önemli bilgiler sunmaktadır.

Finansal Kaynak

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

Çıkar Çatışması

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

Yazar Katkıları

Fikir/Kavram: M. Hakan Korkmaz, Şule Kaya, Sıddıka Akman; **Tasarım:** Şule Kaya; **Denetleme/Danışmanlık:** M. Hakan Korkmaz, Şule Kaya; **Kaynak Taraması:** Sıddıka Akman, Şule Kaya; **Makalenin Yazımı:** Sıddıka Akman, Şule Kaya; **Eleştirel İnceleme:** M. Hakan Korkmaz, Şule Kaya.

KAYNAKLAR

1. Yost WA. Fundamentals of Hearing. Peripheral Auditory Anatomy and Physiology. 2nd ed. San Diego: Academic Press; 2000. p.71-9.
2. Zhao F, Koike T, Wang J, Sienz H, Meredith R. Finite element analysis of the middle ear transfer functions and related pathologies. *Med Eng Phys.* 2009;31(8):907-16. [Crossref] [PubMed]
3. Kontogianni A, Ferekidis E, Ntouniadakis E, Psarommatas I, Apostolopoulos N, Adamopoulos G. Multiple-frequency tympanometry in children with otitis media with effusion. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec.* 1996;58(2):78-81. [Crossref] [PubMed]
4. Funasaka S, Funai H, Kumakawa K. Sweep-frequency tympanometry: its development and diagnostic value. *Audiology.* 1984;23(4):366-79. [Crossref] [PubMed]
5. Gündüz M, Karabulut H. Odyolojide Temel Kavramlar ve Yaklaşımlar. Şenkal Akın Ö. Akustik İmmittans içinde: 1. baskı. Ankara: Nobel Tıp Kitabevleri.; 2015. p.181-92.
6. Meyer SE, Jardine CA, Deverson W. Developmental changes in tympanometry: a case study. *Br J Audiol.* 1997;31(3):189-95. [Crossref] [PubMed]
7. Hunter LL, Shahnaz N. Acoustic Immittance Measures Basic and Advanced Practice. 1st ed. San Diego: Plural Publishing; 2014.
8. Kökten N, Eğilmez OK. [Wideband and multifrequency tympanometry]. *Türkiye Klinikleri J E.N.T.-Special Topics.* 2015;8(2):26-31. [Link]
9. Wiley TL, Fowler CG. Acoustic Immittance Measures in Clinical Audiology: Tympanometry and Compensated Static Measures Chapter A Primer. 1st ed. California: Singular Publishing Group Inc.; 1997. p.50-80.
10. Holte L, Margolis RH, Cavanaugh RM Jr. Developmental changes in multifrequency tympanograms. *Audiology.* 1991;30(1):1-24. [Crossref] [PubMed]
11. American National Standards Institute. Specifications for instruments to measure aural acoustic impedance and admittance (ANSI S3.39-1987). New York: The Institute; 1987. [Link]
12. Shahnaz N. Multi-frequency tympanometry immittance principles. *Hearing and Hearing Disorders: Research and Diagnostics.* 2007;6(1):2-12. [Crossref]
13. Lai D, Li W, Xian J, Liu S. Multifrequency tympanometry in adults with otitis media with effusion. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2008;265(9):1021-5. [Crossref] [PubMed]
14. Funasaka S, Kumakawa K. Tympanometry using a sweep-frequency probe tone and its clinical evaluation. *Audiology.* 1988;27(2):99-108. [Crossref] [PubMed]
15. Wada H, Koike T, Kobayashi T. Clinical applicability of the sweep frequency measuring apparatus for diagnosis of middle ear diseases. *Ear Hear.* 1998;19(3):240-9. [Crossref] [PubMed]
16. Lutman ME. Phasor admittance measurements of the middle ear. I. Theoretical approach. *Scand Audiol.* 1984;13(4):253-64. [Crossref] [PubMed]
17. Shanks JE, Wilson RH, Cambron NK. Multiple frequency tympanometry: effects of ear canal volume compensation on static acoustic admittance and estimates of middle ear resonance. *J Speech Hear Res.* 1993;36(1):178-85. [Crossref] [PubMed]
18. Margolis RH, Goycoolea HG. Multifrequency tympanometry in normal adults. *Ear Hear.* 1993;14(6):408-13. [Crossref] [PubMed]
19. Valvik BR, Johnsen M, Laukli E. Multifrequency tympanometry. Preliminary experiences with a commercially available middle-ear analyzer. *Audiology.* 1994;33(5):245-53. [Crossref] [PubMed]
20. Franco-Vidal V, Legarantec C, Blanchet H, Convert C, Torti F, Darrouzet V. Multifrequency admittance in Ménière's Disease: a preliminary study for a new diagnostic test. *Otol Neurotol.* 2005;26(4):723-7. [Crossref] [PubMed]
21. Sugasawa K, Iwasaki S, Fujimoto C, Kinoshita M, Inoue A, Egami N, et al. Diagnostic usefulness of multifrequency tympanometry for Ménière's disease. *Audiol Neurotol.* 2013;18(3):152-60. [Crossref] [PubMed]
22. Miani C, Bergamin AM, Barotti A, Isola M. Multifrequency multicomponent tympanometry in normal and otosclerotic ears. *Scand Audiol.* 2000;29(4):225-37. [Crossref] [PubMed]
23. Ozer F, Ozer C, Erbek S, Ozluoglu LN. Middle-ear resonance frequency and eustachian tube function in players of wind instruments. *Folia Phoniatr Logop.* 2021;73(6):586-94. [Crossref] [PubMed]
24. Sezin RK, Hizal E, Erbek S, Özlüoğlu LN. [Normative values of middle ear resonance frequency in normal hearing adults]. *Kulak Burun Bogaz İhtis Derg.* 2013;23(6):331-5. Turkish. [Crossref] [PubMed]
25. Oğut F, Serbetcioglu B, Kirazli T, Kirkin G, Gode S. Results of multiple-frequency tympanometry measures in normal and otosclerotic middle ears. *Int J Audiol.* 2008;47(10):615-20. [Crossref] [PubMed]
26. Kaya Ş, Karabulut M, Keseroğlu K, Er S, Dağlı M, Korkmaz H. [Middle ear resonance frequency with multi-frequency tympanometry in healthy adults: clinical normative values]. *KBB-Forum.* 2020;19(1):27-33. [Link]
27. de Moraes TF, Macedo Cde C, Feniman MR. Multifrequency tympanometry in infants. *Int Arch Otorhinolaryngol.* 2012;16(2):186-94. [Crossref] [PubMed] [PMC]
28. Hanks WD, Rose KJ. Middle ear resonance and acoustic immittance measures in children. *J Speech Hear Res.* 1993;36(1):218-22. [Crossref] [PubMed]
29. André KD, Sanches SG, Carvallo RM. Middle ear resonance in infants: Age effects. *Int Arch Otorhinolaryngol.* 2012;16(3):353-7. [Crossref] [PubMed] [PMC]
30. King JC. Physiology of pregnancy and nutrient metabolism. *Am J Clin Nutr.* 2000;71(5 Suppl):1218S-25S. [Crossref] [PubMed]
31. Dag EK, Gulumser C, Erbek S. Decrease in middle ear resonance frequency during pregnancy. *Audiol Res.* 2016;6(1):147. [Crossref] [PubMed] [PMC]
32. Iacovou E, Vlastarakos PV, Panagiotakopoulou A, Chrysostomou M, Kandiloros D, Adamopoulos G, et al. Effect of type I tympanoplasty on the resonant frequency of the middle ear: comparison between chondrotympoplasty and temporalis fascia grafting. *J Otolaryngol Head Neck Surg.* 2012;41(1):14-9. [PubMed]
33. Colletti V, Fiorino FG, Sittori V, Policante Z. Mechanism of the middle ear in otosclerosis and stapedoplasty. *Acta Otolaryngol (Stockh).* 1993;113(5): 637-41. [Crossref] [PubMed]
34. Konukseven O, Kaya S, Oğuzturk S, Gezgin B. External and middle ear resonance frequency of forty patients with tympanoplasty and mastoidectomy. *Clin Otolaryngol.* 2020;45(4):622-5. [Crossref] [PubMed]
35. Iacovou E. Effect of the type I tympanoplasty on the resonant frequency of the middle ear: comparison between chondrotympoplasty and temporalis fascia grafting. *J Otolaryngol Head Neck Surg.* 2012;41(1):14-9.
36. Biasi D, Fiorino F, Carletto A, Caramaschi P, Zeminian S, Bambara LM. Middle ear function in rheumatoid arthritis: a multiple frequency tympanometric study. *Clin Exp Rheumatol.* 1996;14(3):243-7. [PubMed]
37. Frade C, Martin C. Diagnostic value of the multifrequency tympanometry in active rheumatoid arthritis. *Auris Nasus Larynx.* 1998;25(2):131-6. [Crossref] [PubMed]
38. Giannini P, Marciano E, Saulino C, Strano CG, Alessio M, Marcelli V, et al. Middle ear involvement in children with chronic rheumatoid juvenile arthritis. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 1997;254 Suppl 1:S30-3. [Crossref] [PubMed]
39. Ferekidis E, Vlachou S, Douniadakis D, Apostolopoulos N, Adamopoulos G. Multiple-frequency tympanometry in children with acute otitis media. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 1999;121(6):797-801. [Crossref] [PubMed]
40. Shahnaz N, Polka L. Standard multifrequency tympanometry in normal and otosclerotic ears. *Ear Hear.* 1997;18(4):326-41. [Crossref] [PubMed]
41. Nakashima T, Ueda H, Furuhashi A, Sato E, Asahi K, Naganawa S, et al. Air-bone gap and resonant frequency in large vestibular aqueduct syndrome. *Am J Otol.* 2000;21(5):671-4. [PubMed]
42. Colletti V. Multifrequency tympanometry. *Audiology.* 1977;16(4):278-87. [Crossref] [PubMed]
43. Wilson RH, Shanks JE, Kaplan SK. Tympanometric changes at 226 Hz and 678 Hz across 10 trials and for two directions of ear canal pressure change. *J Speech Hear Res.* 1984;27(2):257-66. [Crossref] [PubMed]
44. Vanhuyse VJ, Creten WL, Van Camp KJ. On the w-notching of tympanograms. *Scandinavian Audiology.* 1975;4(1):45-50. [Crossref]
45. Shanks JE. Tympanometry. *Ear Hear.* 1984;5(5):268-80. [Crossref] [PubMed]
46. Calandruccio L, Fitzgerald TS, Prieve BA. Normative multifrequency tympanometry in infants and toddlers. *J Am Acad Audiol.* 2006;17(7):470-80. [Crossref] [PubMed]
47. Margolis RH, Van Camp KJ, Wilson RH, Creten WL. Multifrequency tympanometry in normal ears. *Audiology.* 1985;24(1):44-53. [Crossref] [PubMed]
48. Raut M, Vanaja CS. Efficacy of multicomponent tympanometry in identifying middle ear disorder. *Indian J Otolaryngol Head Neck Surg.* 2019;71(Suppl 2):1485-9. [Crossref] [PubMed] [PMC]
49. Shahnaz N, Miranda T, Polka L. Multifrequency tympanometry in neonatal intensive care unit and well babies. *J Am Acad Audiol.* 2008;19(5):392-418. [Crossref] [PubMed]
50. American Academy of Audiology. Audiologic Guidelines for the Assessment of Hearing in Infants and Young Children. 2012:23-28.
51. McKinley AM, Grose JH, Roush J. Multifrequency tympanometry and evoked otoacoustic emissions in neonates during the first 24 hours of life. *J Am Acad Audiol.* 1997;8(3):218-23. [PubMed]
52. André KD, Sanches SG, Carvallo RM. Middle ear resonance in infants: Age effects. *Int Arch Otorhinolaryngol.* 2012;16(3):353-7. [Crossref] [PubMed] [PMC]
53. Sprague B, Wiley T, Goldstein R. Tympanometric and acoustic-reflex studies in neonates. *J Speech Hear Res.* 1985;28:265-72. [Crossref] [PubMed]
54. Shahnaz N, Bork K, Polka L, Longridge N, Bell D, Westerberg BD. Energy reflectance and tympanometry in normal and otosclerotic ears. *Ear Hear.* 2009;30(2):219-33. [Crossref] [PubMed]