

Wide band acoustic immittance

Geniş bant akustik immitansmetre

Birgül GÜMÜŞ¹, Merve TORUN TOPÇU²

ABSTRACT

Acoustic Immittance comprise recording the reflected pure tone sound from the eardrum sent which was delivered from the probe at the outer ear canal. It provides objective information about the condition of the middle ear. Traditional 226 Hz and 1000 Hz probe tone tympanometries are usually used in clinics but it's not enough to identify middle ear disorders. Wideband Tympanometry (WBT) uses click stimuli covering a broad frequency range (226 Hz-8000 Hz). WBT measures sounds that are reflected back from the middle ear and absorbed by the middle ear. The sound that is reflected back from the middle ear is called reflectance, the sound that is absorbed by the middle ear is called absorbance. It is the purpose of this study to explain the superiority of WBT and its differences from traditional tympanometry.

Keywords: Acoustic immittance, absorbance, wide band tympanometry

ÖZ

Akustik immitansmetri ölçümü dış kulak kanalından verilen saf sesin kulak zarından yansdıktan sonra kaydedilmesiyle oluşur. Bu kayıt sonucunda orta kulağın durumu hakkında objektif bilgiler elde edilir. Standart olarak kliniklerde geleneksel immitansmetri olarak isimlendirilen 226 Hz ve 1000 Hz prob ton uyaran verilen immitansmetri kullanılmaktadır. Fakat bu yöntem orta kulağın durumu ile ilgili bilgi sağlamada yeterli olmamaktadır. Geniş Bant Timpanometri ölçümü ile (GBT), dış kulak kanalından geniş bir frekans aralığını (226-8000 Hz) kapsayan klik uyaran verilerek ölçüm yapılmaktadır. Bu sırada orta kulakta absorbe edilen ve orta kulaktan yansıyan ses miktarı ölçülmektedir. Orta kulaktan yansıyan ses Reflektans, orta kulak tarafından soğurulan ses Absorbans olarak tanımlanır. Bu makalenin amacı, geniş bant timpanometrinin geleneksel timpanometriye göre üstün yönleri ve farklılıkları açıklamaktır.

Anahtar kelimeler: Akustik immitansmetri, absorbans, geniş bant timpanometri

GİRİŞ

Kulak kepçesi tarafından toplanan akustik uyaranlar dış kulak yolu ile orta kulağa iletilir. Orta kulak, gelen akustik enerjiyi mekanik enerjiye çevirerek iç kulak sıvılarına iletir. İç kulağa gelen bilgi işlenip daha üst merkezlere iletilerek sesin algılanması sağlanır. Orta kulak hava ortamın bulunduğu dış kulak ile sıvı ortamın bulunduğu iç kulak arasında bağlantıyı sağlamaktadır. Ses dalgaları hava ortamdan sıvı ortama geçerken ortamlar arası direnç farklılığından dolayı enerjisini kaybeder. Orta kulağın görevi ortamlar arası direnç farklılığını gidererek sesin düzgün bir şekilde iç kulağa ulaşmasını sağlamaktır¹. Orta kulağın bu önemli görevi düşünüldüğünde, işitmenin düzgün bir

şekilde sağlanması için orta kulak fonksiyonunun değerlendirilmesi önemlidir.

Orta kulağın fonksiyonunun değerlendirilmesi için girişimler 1800'lü yıllarda başlamasına rağmen, bilinen ilk yayınlanmış çalışma 1946 yılında Otto Metz tarafından yapılmıştır. 1960'lı yılların başında Danimarkalı Terkildsen ve Thomsen tarafından akustik immitans kaydı yapan elektroakustik impedans cihazı geliştirilmiş ve dünyaya tanıtılmıştır².

American National Standards Institute 1987 yılında yaptığı standardizasyon ile akustik immitansı akustik impedans, akustik admitans veya her ikisini birden içeren kulak ölçümlerinin genel adı olarak tanımla-

24.06.2016 tarihli "Bebeklerde ve Küçük Çocuklarda Geniş Bant Timpanometri Ölçümleri ile Normatif Verilen Sağlanması" isimli yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Received: 25.01.2018

Accepted: 19.04.2018

¹Eskişehir Osmangazi University, Faculty of Medicine, Audiology Department, Eskişehir, Turkey

²Istanbul Medeniyet University, Faculty of Health Sciences, Department of Audiology, İstanbul, Turkey

Yazışma adresi: Birgül Gümüş, Eskişehir Osmangazi University, Faculty of Medicine, Audiology Department, Eskişehir, Turkey

e-mail: birgulag@gmail.com

mıştır. Akustik impedans, akustik enerjiye karşı orta kulak sistemin gösterdiği direnci, Akustik admitans ise orta kulağın geçirgenliğini ölçer. Bu iki kavram bir-biri ile ters orantılıdır³.

Akustik immittansmetre, kulak zarı, orta kulak yapıları ve beyin sapı düzeyine kadar işitme yolları hakkında klinisyene objektif bilgi veren bir ölçüm yöntemidir. Pratik, düşük maliyetli ve invaziv olmayan bir ölçüm yöntemi olmasının yanı sıra ölçümde hastanın katılımına gereksinim duyulmaz. Ölçüm sırasında hastanın sabit durması yeterlidir. Akustik immittansmetri, diğer objektif ve subjektif odyolojik testlerin kontrolünü sağlaması nedeniyle odyolojik test bataryasının önemli bir parçasıdır.

Akustik immittansmetri, timpanometri ve akustik stapedial refleks olmak üzere iki değerlendirmeyi kapsamaktadır. Timpanometri ölçümünde dış kulak yoluna hoparlör, mikrofon ve basıncı ayarlayabilmek için pompa sistemin yer aldığı bir prob yerleştirilir. Prob aracılığıyla, dış kulakta oluşturulan basınç değişikliğine bağlı olarak akustik uyarının kulak zarından yansması kaydedilir. İmpedansmetrede, sesin yansıma miktarı "Timpanogram" adı verilen iki boyutlu grafik ile gösterilir. Admittansmetrede ise zardan yansıyan ses şiddeti sabit tutulur. Pompa basıncına bağlı olarak hoparlörden çıkan sesin şiddetindeki değişiklik "timpanogram" olarak kaydedilir.

Klinikte kullanılan klasik immittansmetreler genellikle tek frekansta (226 Hz veya 1 kHz) orta kulak sisteminin değişen basınçta admitansını ölçer. Geniş bant akustik immittansmetrenin çalışma prensibi ve ölçüm süresi klasik immittansmetreler ile aynıdır. Ancak klasik immittansmetrelerden farklı olarak geniş bant immittansmetrede 226-8000 Hz frekans aralığına sahip klik uyarı kullanılarak geniş bir frekans aralığında orta kulak sisteminden yansıyan ve emilen enerji miktarı ölçülür. Bu yöntem sayesinde istenildiğinde tüm frekanslarda timpanogram eğrisi elde edilebilir. Ayrıca absorbands grafiği, rezonans frekans değeri ve geniş bant averajlanmış timpanogramlar elde edilebilir.

1. Geniş Bant Reflektans

Orta kulağa gelen akustik enerjinin bir kısmı absorbe

edilirken bir kısmı dış kulak yoluna geri yansır. Yansıyan enerji miktarına reflektans, iç kulağa iletilen enerji miktarına absorbands denilir. Geniş bant timpanometreler (GBT) bu iki kavram üzerinden sınıflandırılır. Ölçümde reflektansı baz alan cihazlar geniş bant reflektans timpanometri olarak adlandırılırken, absorbandsı baz alan cihazlar ise geniş bant absorbands timpanometri olarak adlandırılır^{4,5}.

Geniş Bant Reflektans sistemleri ilk olarak basınçlı immittans sistemlerini kullanan çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir⁶⁻¹⁰. Klasik immittansmetrelerin aksine enerji reflektansı orta kulak ve kulak kanalı özelliklerinden (yetişkinlerde) etkilenmeden orta kulaktan yansıyan enerji miktarını vermektedir. Orta kulaktan yansıyan enerjinin oranı geniş bir frekans aralığını (250-8000 Hz) kapsamaktadır¹⁰⁻¹².

Reflektans değeri 0 ile 1 arasında değişir. Ambient (0 daPa) basınçta, sağlıklı yetişkinlerde, alçak frekanslarda yüksek, orta frekanslarda (1000 ve 4000 Hz aralığında) ise düşük değerlere sahiptir¹³. Reflektans ile absorbands değerleri birbirinin tersi ifadelerdir. Ölçümlerde reflektans kullanıldığında elde edilen grafik, tepe olarak değil çentik şeklinde gösterilir. Bu gösterimin timpanogram parametrelerini 3 boyutlu olarak görmeye olanak vermemesi nedeniyle absorbands ölçümünü gösteren timpanometrelerin kliniklerde kullanımı yaygınlaşmıştır.

Enerji reflektans ölçümü ilk olarak yetişkinlerde 0 daPa'da Stinson ve ark.⁹ tarafından yapılmıştır. Daha sonra Hudde enerji reflektansını dinamik basınç noktalarında ölçmüştür. Fakat uygulamanın daha pratik bir duruma getirilmesi gerekiyordu⁶. Keefe ve ark.⁷ da geniş bant enerji reflektansı ve admitans sonuçlarını içeren 0 daPa basınç altında ölçüm yapılan bir sistem tanımlamıştır. İlerleyen yıllarda Mimosa Acoustics, Middle Ear Power Analyzer (MEPA) olarak isimlendirilen bu sistemi geliştirmiş ve FDA onayı almıştır. Bu sistem ambient basınçta 200-6000 Hz aralığında ölçüm yapabilmektedir.

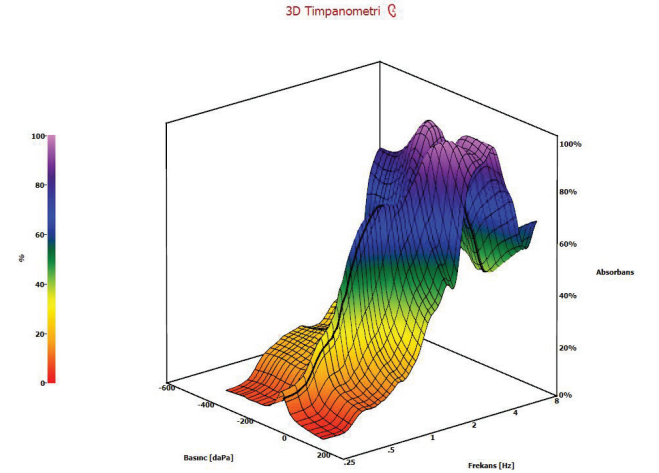
Geniş bant enerji reflektansı ile ambient basınç altında birçok çalışma yayınlanmıştır¹⁴⁻¹⁸. Beers ve ark.¹⁴ farklı ırktan okul çağındaki çocuklarla yaptığı çalışmada, 0 daPa basınçta reflektans sonuçlarını saptamıştır.

Bu çalışmada, reflektansın minimum ve maksimum noktaları ve frekanslara göre dağılımı değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın yanı sıra insan kadavrasında kemik zincir bozuklukları, bebeklerde normatif değerler, otosklerozlu kulaklarda pre ve post operatif sonuçlar değişik araştırmacılar tarafından çalışılmıştır¹⁵⁻¹⁸. Keefe ve Levi tarafından enerji reflektansını yetişkin ve küçük çocuklarda basıncın bir fonksiyonu olarak ölçebilen bir geniş bant reflektans timpanometri sistemi geliştirilmiştir¹⁹. Ayrıca geniş bant reflektans ölçümleri yetişkinlerde 10 kHz ve bebeklerde 20 kHz'e kadar test edilebilmektedir. Yetişkinler ve bebekler arasındaki bu farkın nedeni bebeklerde daha küçük kulak kanalı çapı ve daha küçük kulak kanalı çapı belirtilmiştir¹¹.

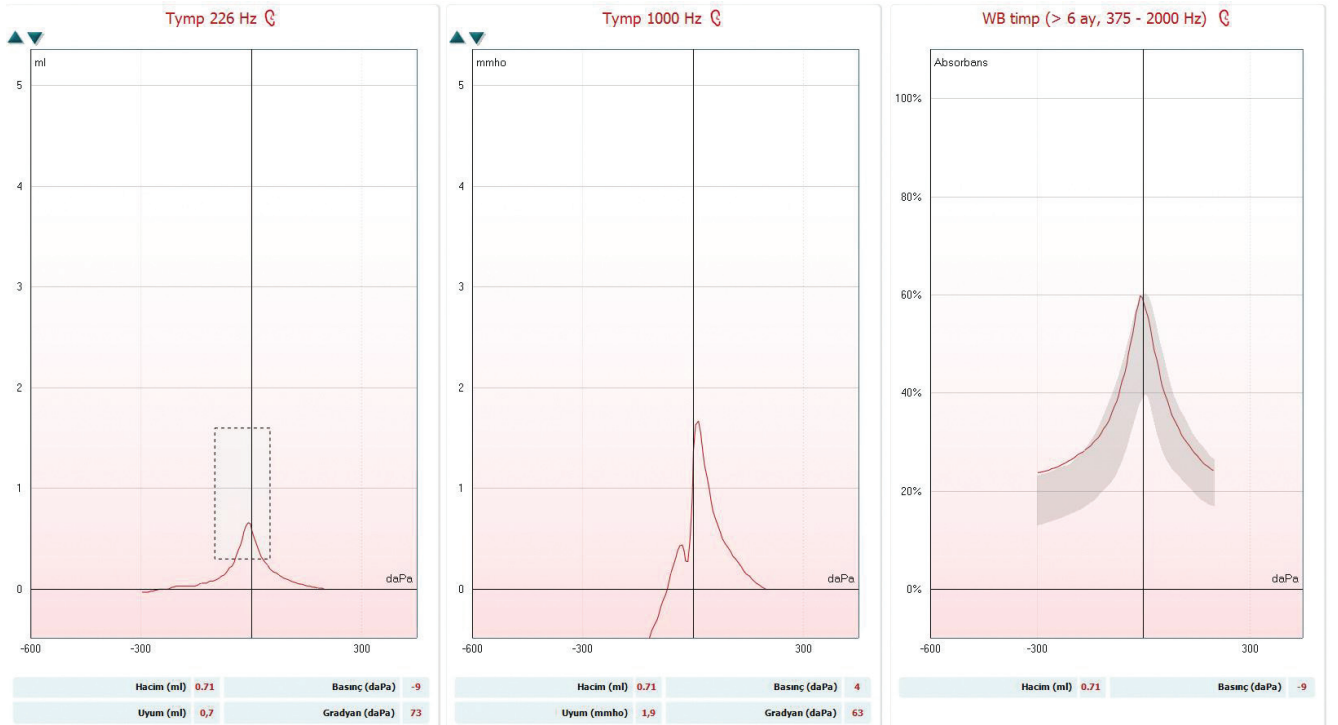
1. 1. Geniş Bant Timpanometri

Geniş bant timpanometri sistemi Interacoustics tarafından Titan platformunda ticari olarak ortaya çıkarılmıştır. Bu sistem, belirli frekans ve farklı basınç noktalarında, enerji absorbansını 3 boyutlu olarak göstermektedir. Ayrıca reflektans/absorbans ölçümünü ambient (0 daPa) ve dinamik basınç noktalarında gerçekleştirebilmektedir. Geniş bant timpanometri

diğer 200-2000 Hz arasında orta kulağın admittans karakterini değerlendiren multifrekanslı timpanometrelere göre probun kulak kanalına yerleşiminden etkilenmediği (özellikle yüksek frekans ölçümde) bilinmektedir^{9,10,20}. Ayrıca standart 226 Hz timpanometri ile karşılaştırıldığında klik uyarın kullanması nedeniyle geniş bir frekans aralığında tek seferde sonuç sağlayabildiği için orta kulak sorunları ve iletim tipi işitme kayıplarını değerlendirmede daha hassas



Figür 1. Üç boyutlu geniş bant timpanogram (Interacoustics/Titan - Medeniyet Üniversitesi KBB kliniği).



Figür 2. Averajlanmış timpanogram örneği (Interacoustics/Titan - Medeniyet Üniversitesi KBB kliniği).

olduğu belirtilmektedir^{4,14,19,21,22}. Geniş bant timpanometrinin sahip olduğu bu farklılıklar, multifrekans ve standart timpanometriye kıyasla orta kulak değerlendirmesinde üstünlük sağlamaktadır.

Geniş bant timpanometri çalışma prensibi açısından geleneksel timpanometri ile benzer özellikte olup, kullanılan uyaran tipinin farklı olması nedeniyle ayrılmıştır. Ayrıca aynı anda 226 Hz ve 1000 Hz timpanometri ölçümlerini de yapabildiğinden, normatif ve klinik bulguların karşılaştırılmasına olanak sağlamaktadır. Geleneksel 226 ve 1000 Hz timpanometri ölçümünde dış kulak kanalına yerleştirilen probta saf ses uyaran kullanılırken, GBT'de 226 Hz-8000 Hz aralığını kapsayan klik uyaran kullanılmaktadır ve sonuçlar 3 boyutlu (3B) timpanogramla gösterilmektedir (Figür 1). Üç boyutlu timpanogram üzerinde x eksenı basınç değerlerini, y eksenı orta kulağın absorbens miktarını, z eksenı frekans değerlerini belirtmektedir.

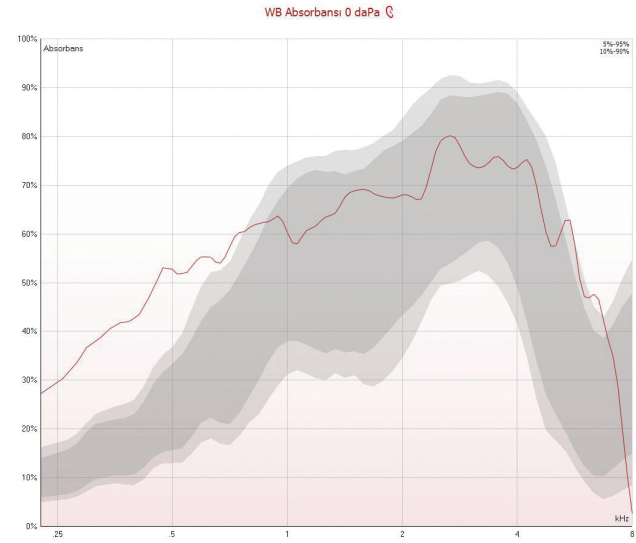
Geniş bant timpanometri ile aynı anda 226 Hz ve 1 kHz timpanogram ölçümünün yanı sıra 375-2000 Hz arası frekanslardan elde edilen timpanogramları da birleştirerek iki boyutlu averajlanmış timpanogram grafiği gösterilebilmektedir (Figür 2).

1.2. Absorbans Grafiği

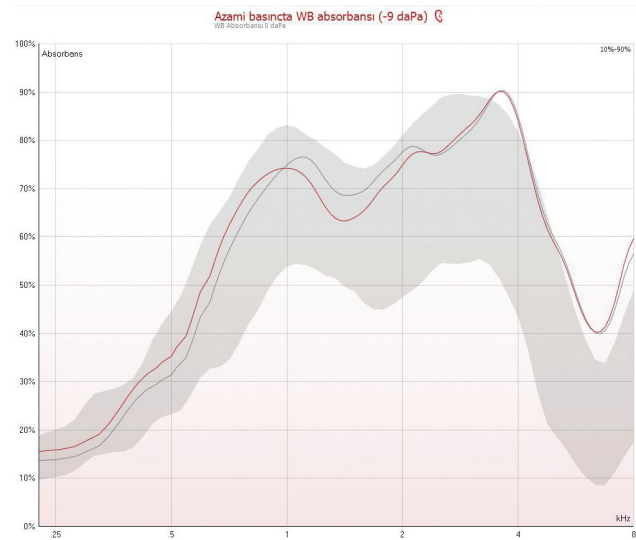
Geniş bant absorbens ölçümleri 107 frekans noktasındaki basınçlı ve basınçsız absorbens değerlerini elde etme olanağı sağlar ve buna göre bir normatif alan oluşturulur. Basınçsız absorbens değeri perfor kulakların da değerlendirilmesine olanak sağlar. Ayrıca orta kulak cerrahisi sırasında basınçsız absorbens ölçümüyle operasyon sırasında monitorizasyon yapılabilmesine (intra-op ölçümlere) olanak sağlar.

Absorbans grafiğine, frekansın orta kulak basıncındaki fonksiyonu olarak bakılması gerektiği önerilmiştir. Absorbans grafikleri farklı patolojilere özgü normatif veriler doğrultusunda değerlendirilirse anlamlı olacaktır^{21,23-25}. Absorbans grafiği sonuçlarıyla semisirküler kanal dehisanı, otoskleroz, osiküler zincir bozuklukları, flastik kulak zarı ve özellikle bebeklerdeki negatif orta kulak basıncı ve orta kulak efüzyonu daha açık bir şekilde ortaya koyulabilmektedir.

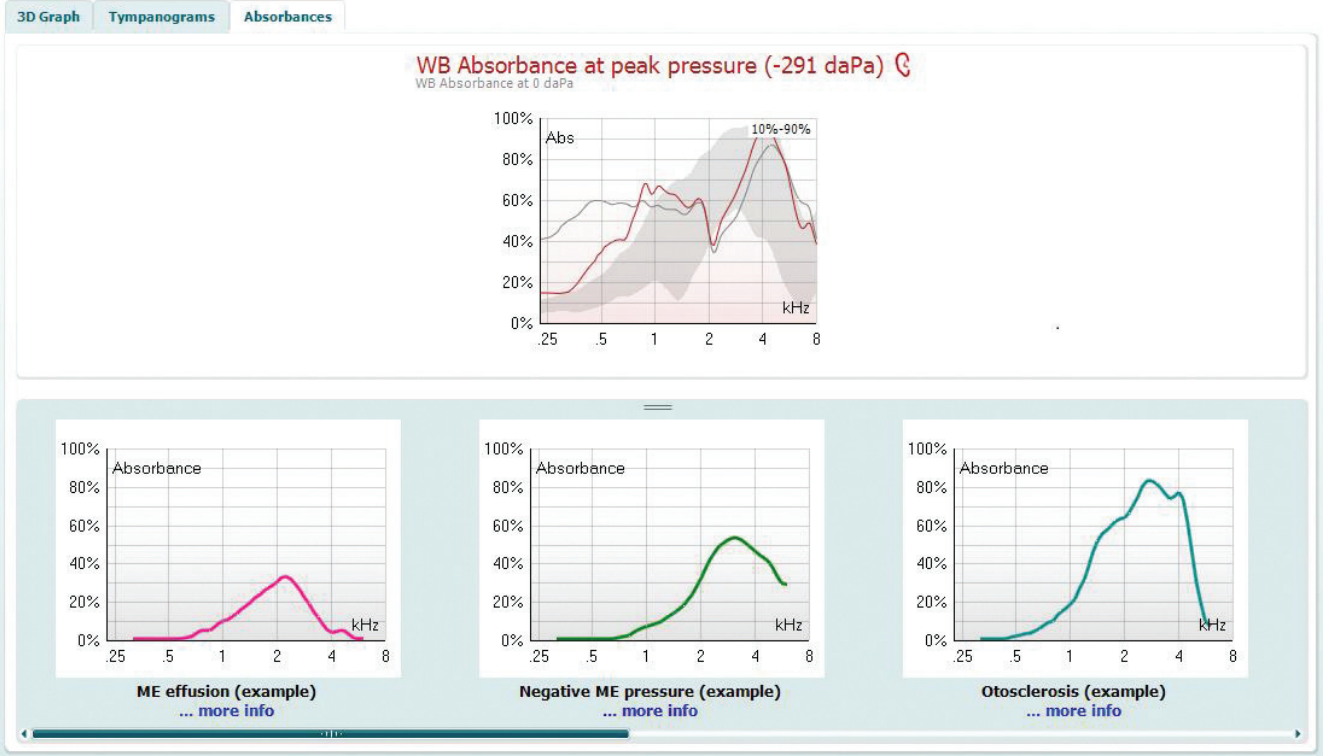
Absorbans ve reflektans ilişkisinin birbiriyle ters orantıda olması nedeniyle reflektans değerinin en büyük değer aldığı noktada absorbens değeri en küçük değerini alacaktır. Basınçlı absorbens grafiğinde, frekanslara bağlı olarak, timpanometrik tepe basıncındaki absorbens miktarı görülmektedir. Basınçsız absorbens grafiğinde ise normal atmosfer basıncındaki absorbens değerleri gösterilmektedir (Figür 3). Karşılaştırma yapılabilmesi için aynı grafikte olacak şekilde basınçlı ve basınçsız absorbens ölçümü (Figür 4) gösterilebilmektedir. Orta kulakta efüzyon varlığın-



Figür 3. Basınçsız absorbens grafiği örneği (Interacoustics/Titan - Medeniyet Üniversitesi KBB kliniği).



Figür 4. Sağlıklı orta kulakta basınçlı ve basınçsız absorbens grafiği örneği (Interacoustics/Titan - Medeniyet Üniversitesi KBB kliniği).



Figür 5. Orta kulak efüzyonunda basınçlı ve basınçsız absorbens grafiği örneği. 2 kHz çevresinde çentik şeklinde bir düşüş ve alçak frekans bölgesinde basınçlı ve basınçsız absorbens değerlerinde farklılık görülmektedir (Interacoustics/Titan - Medeniyet Üniversitesi KBB kliniği).

da basınçlı ve basınçsız absorbens değerlerinde farklılık Figür 5'te gösterilmektedir.

1.3. Rezonans Frekans Timpanogramı

Rezonans frekans timpanogramı orta kulağın rezonans frekansındaki absorbens hakkında bilgi almamızı sağlamaktadır. Rezonans frekansı, kütle ve sertlik değerlerinin birbirine eşit olduğu ve orta kulak admitansının en yüksek olduğu noktada elde edilen frekans değerini göstermektedir. Bu değerde sistem yalnızca sürtünme etkisi altındadır. Orta kulak kemikçiklerinde oluşan sorunların saptanmasında rezonans frekans değeri önem taşır. Orta kulağın rezonans frekansı kütleye bağlı patolojilerde (Örn. kemik zincir bozukluklarında) daha alçak frekanslarda, sertliğe bağlı patolojilerde (Örn. otoskleroz) daha yüksek frekanslarda elde edilmektedir. Rezonans frekansını da diğer orta kulak elemanlarını değerlendirdiğimiz şekilde kendi normatif alanında değerlendirmek gereklidir, normatif veri grubu oluşturulması amacıyla yapılan çalışmalar sonucunda birçok farklı yanıt elde

edildiği belirtilmiştir^{26,27}. Bu çalışmalara ek olarak rezonans frekansının osiküler zincir bozukluklarının flastit kulak zarından ayrılmasında öngörü sağlayabileceği görülmüştür^{21,23-25}. Maturasyona bağlı değişimlerin etkisi de rezonans frekansı ile belirlenebilir. Topçu., M.²⁸ 0-2 yaş grubu bebeklerde ve küçük çocuklarda yaptığı çalışmada, rezonans frekans değerlerini incelemiştir. Buna göre yaş büyüdükçe rezonans frekansının artma eğiliminde olduğu görülmüştür. Rezonans frekansındaki bu değişimin, orta kulağın kütle etkisinden çıkıp esneklik etkisine girmesiyle ilişkili olduğu düşünülmektedir. Yukarıda belirtilen nedenlere bağlı olarak patolojik durumların belirlenmesi ve maturasyonun etkisinin incelenmesi için geniş bant immitansmetri ölçümleri önemli bir yer aldığı görülmektedir.

SONUÇ

Günlük yaşamda duyduğumuz sesler birçok frekansa oluşmaktadır. Kulağımıza ulaşan sesler birçok frekans içerirken, orta kulağı tek frekansta değeri-

dirmek orta kulak fonksiyonu hakkında klinisyene sınırlı bilgi verir. Geniş frekans aralığında ölçüm yapan geniş bant immitans sistemleri orta kulak fonksiyonu hakkında klinisyene tek ölçümde daha fazla bilgi sağlamanın yanı sıra farklı orta kulak patolojilerinin tanısına yardımcı olur. Günümüzde yeni bir teknolojik gelişme olarak kabul edilen geniş bant immitansmetrenin odyolojik test bataryasındaki önemi, patolojilere ve yaşa özgü normatif veriler zenginleştikçe daha çok artacaktır.

KAYNAKLAR

1. Musiek FE, & Baran JA. The auditory system: anatomy, physiology and clinical correlates. Allyn & Bacon. 2007.
2. Hall JW. Introduction to Audiology Today. Pearson Higher Ed. 2013.
3. Katz J. Basic Principles of Acoustic Immittance Measures. Handbook of Clinical Audiology, 2002;11:159-73.
4. Feeney MP, Hunter LL, Kei J, Lilly DJ, Margolis RH, Nakajima HH, ... & Schairer KS. Consensus statement: Eriksholm workshop on wideband absorbance measures of the middle ear. Ear and Hearing. 2013;34:78-9. <https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e31829c726b>
5. Rosowski JJ, Stenfelt S, & Lilly D. An overview of wideband immittance measurements techniques and terminology: You say absorbance, I say reflectance. Ear and Hearing. 2013;34(0 1):9. <https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e31829d5a14>
6. Hudde H. Measurement of the eardrum impedance of human ears. Journal of the Acoustical Society of America. 1983;73:242-7. <https://doi.org/10.1121/1.388855>
7. Keefe D, Ling R, & Bulen J. Method to measure acoustic impedance and reflection coefficient. Journal of the Acoustical Society of America, 1992;91:470-85. <https://doi.org/10.1121/1.402733>
8. Lynch TJ, III, Peake WT, & Rosowski JJ. Measurements of the acoustic input impedance of cat ears: 10 Hz to 20 kHz. Journal of the Acoustical Society of America. 1994;96:2184-2209. <https://doi.org/10.1121/1.410160>
9. Stinson MR, Shaw EAG, & Lawton BW. Estimation of acoustic energy reflectance at the eardrum from measurements of pressure distribution in the human ear canal. Journal of the Acoustical Society of America. 1982;72:766-773. <https://doi.org/10.1121/1.388257>
10. Voss SE, & Allen JB. Measurement of acoustic impedance and reflectance in the human ear canal. Journal of the Acoustical Society of America. 1994;95:372-84. <https://doi.org/10.1121/1.408329>
11. Keefe DH, Bulen JC, Arehart KH, & Burns EM. Ear-canal impedance and reflection coefficient in human infants and adults. Journal of the Acoustical Society of America. 1993;94:2617-38. <https://doi.org/10.1121/1.407347>
12. Shaw EAG, & Stinson MR. Network concepts and energy flow in the human middle ear. Journal of the Acoustical Society of America. 1981;69(Suppl.1):43. <https://doi.org/10.1121/1.386273>
13. Shahnaz N, & Bork K. Wideband reflectance norms for Caucasian and Chinese young adults. Ear and Hearing. 2006;27(6):774-88. <https://doi.org/10.1097/01.aud.0000240568.00816.4a>
14. Beers A, Shahnaz N, Westerberg B, Kozak FK. Wideband reflectance (WBR) in normal Caucasian and Chinese school-aged children and in children with otitis media with effusion (OME). Ear and Hearing. 2010;31:221-233. <https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e3181c00eae>
15. Feeney MP, Grant IL, & Mills DM. Wideband energy reflectance measurements of ossicular chain discontinuity and repair in human temporal bone. Ear and Hearing. 2009;30:391-400. <https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e3181a283ed>
16. Hunter LL, Tubauha L, Jackson JA, & Propes S. Wideband middle ear power measurement in infants and children. Journal of the American Academy of Audiology. 2008;19:309-24. <https://doi.org/10.3766/jaaa.19.4.4>
17. Shahnaz N, Longridge N, & Bell D. Wideband energy reflectance patterns in preoperative and post-operative otosclerotic ears. International Journal of Audiology. 2009;48:240-7. <https://doi.org/10.1080/14992020802635317>
18. Margolis RH, & Keefe DH. Reflectance tympanometry. In: Abstracts of the Midwinter Research Meeting of the Association for Research in Otolaryngology, St. Petersburg Beach, FL. 1997.
19. Keefe DH, & Levi E. Maturation of the middle and external ears: acoustic power-based responses and reflectance tympanometry. Ear and hearing. 1996;17(5):361-73. <https://doi.org/10.1097/00003446-199610000-00002>
20. Huang GT, Rosowski JJ, & Peake WT. Relating middle ear acoustic performance to body size in the cat family: Measurements and models. Journal of Comparative Physiology. 2000;186:447-465. <https://doi.org/10.1007/s003590050444>
21. Keefe DH, & Simmons JL. Energy transmittance predicts conductive hearing loss in older children and adults. The Journal of the Acoustical Society of America. 2003;114(6):3217-38. <https://doi.org/10.1121/1.1625931>
22. Piskorski P, Keefe D, Simmons J, & Gorga M. Prediction of conductive hearing loss based on acoustic ear canal response using a multivariate clinical decision theory. Journal of the Acoustical Society of America. 1999;105:1749-1764. <https://doi.org/10.1121/1.426713>
23. Liu YW, Sanford CA, Ellison JC, Fitzpatrick DF, Gorga MP. et al. Wideband absorbance tympanometry using pressure sweeps: System development and results on adults with normal hearing, J Acoust Soc Am. 2008;124:3708-19. <https://doi.org/10.1121/1.3001712>
24. Sanford CA, Keefe DH, Liu Y, Fitzpatrick DF, McCreery RW. et al. Sound conduction effects on DPOAE screening outcomes in newborn infants: Test performance of wideband acoustic transfer functions and 1-kHz tympanometry. Ear Hear. 2009;30:635-52. <https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e3181b61cdc>
25. Voss SE, Merchant GR, Horton NJ. Effects of middle-ear disorders on power reflectance measured in cadaveric ear canals. Ear Hear. 2012;33(2):195-208. <https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e31823235b5>
26. Koç C. Kulak Burun Boğaz Hastalıkları ve Baş-Boyun Cerrahisi, Ankara: Güneş Kitabevi, 2004; 52-6.
27. Shanks J, & Shohet J. Tympanometry in clinical practice. Handbook of clinical audiology. 2009; 157-88.
28. Torun Topçu M. Bebeklerde ve Küçük Çocuklarda Geniş Bant Timpanometri Ölçümleri ile Normatif Verilerin Sağlanması. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). 2016.