KBB ve BBC Dergisi 23 (3):126-35, 2015

Diyapazonlar: Tarihi, Özellikleri ve Günümüz KBB Uygulamalarındaki Güvenilirliklerinin Incelenmesi

Tuning Forks: Review of History, Technical Properties and Reliability in Current ORL Practice

Dr. Mustafa YÜKSEL, Dr. Yusuf K. KEMALOĞLU

Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi, Kulak Burun Boğaz Hastalıkları AD, Odyoloji BD, Ankara

ÖZET

Günümüzde kullanılan diyapazonlar her ne kadar 18. yüzyılda müzikal amaçlarla icat edilmiş olsalar da, zaman içerisinde, sağlık alanında, başta işitmenin muayenesi olmak üzere nörolojik ve ortopedik değerlendirmelerde için de kullanılır olmuşlardır. Ancak zaman içinde odyometri teknikleri ve standartlarının ilerlemesiyle işitmenin değerlendirilmesi için kullanılmaları dahi tartışılır olmuştur. Bu derleme çalışmasında, diyapazonların tarihçesi, fiziksel özellikleri ve farklı kullanım alanları, özellikle de işitmenin değerlendirilmesindeki yeri ve doğru kullanım teknikleri vurgulanarak tartışılmıştır.

Anahtar Sözcükler
Tıp tarihi; işitme kaybı;
odyoloji; nöroloji; ses

ABSTRACT

Although tuning forks currently in use were originally invented for musical purposes, in years, they have been imported to the health sciences, primarily for evaluation of hearing, and further for neurologic and orthopedic examinations. However, by time, their practical use for hearing assessment has been arguable in parallel to improvements in the audiometry technics. In this review, history of tuning forks, their physical properties, and indications and recommended principals for use of tuning fork tests in medicine, in particular for hearing assessment were presented.

Keywords
History of medicine; hearing loss;
audiology; neurology; sound

Çalışmanın Dergiye Ulaştığı Tarih: **14.04.2015** Çalışmanın Basıma Kabul Edildiği Tarih: **08.06.2015**

≈

Yazışma Adresi

Dr. Yusuf K. KEMALOĞLU
Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi,
Kulak Burun Boğaz Hastalıkları AD, Odyoloji BD,
Ankara, TÜRKİYE
E-posta: yusufk@gazi.edu.tr

GİRİŞ

Diyapazonlar, muayene odası şartlarında hastanın işitmesinin değerlendirilmesine olanak veren aletlerdir ve bu özellikleriyle de çok uzun zamandır Kulak Burun Boğaz (KBB) muayenesinin bir rutinidirler.[1-10] Hinchcliff'in (1987) naklettiğine göre diyapazon testlerini, gözlem ve fısıltı testiyle birlikte topluca ele alıp 100 olgu üzerinde elde ettiği sonuçları ilk yayınlayan 1886'da Eitelberg'dir.[7] Günümüzdeki odyolojik testlerle karşılaştırıldıklarında güvenilirliklerinin daha düşük olduğu gösterilmiş olsa da,[11,12] halen daha işitme kaybının tipi ve tarafı konusunda önbilgi sağlayan muayene aletleri olarak önerilmektedirler. [8,10,13,14] Ancak Ng ve Jackler (1993)'ın belirttiği gibi, ilk kullanıma girdiklerinden bu yana bu cihazlarla yapılan testlere güvenen olduğu kadar güvenmeyen de çok sayıda otolog olagelmiştir; özellikle odyometrenin kliniğe girmesinden sonra tek başına tanı koydurucu testler olmaktan çıkmış, bir ön tanı ve belli oranda da ayırıcı tanı testleri haline dönüşmüşlerdir.[15]

Bu makalenin amacı, diyapazonların ne şekilde ve hangi amaçlarla geliştirildiğini ve kullanıma girdiklerini incelemek ve bu bağlamda da günümüzdeki kullanım alanları, olası kullanım hataları ve bu alanda yapılabilecek araştırmalar konusunda KBB hekimlerini bilgilendirmektir.

TANIMI VE ETİMOLOJİSİ

Diyapazon teknik olarak saf ses elde etmek için kullanılan akustik bir rezonatördür. Günümüzde çevirim içi olarak kullanılabilen basit bir yazılım ile veya bir çok farklı ses yazılım programı aracılığıyla (ör. Praat, Online Tone Generator, Adobe Audition, Logic Pro X, Cubase SX 6) dijital ortamda saf ses elde etmek son derece kolay olsa da; elektrik, elektronik ve bilgisayar teknolojisi kullanılmadan, özellikle de muayene odası veya hasta başı şartlarında, saf ses elde etmek son derece zordur. Çünkü ses ancak titreşen bir cismin varlığında elde edilir ve bir cisim titreştiğinde kendi rezonansı ya da üretilen titreşimin/sesin neden olduğu ikincil etkileşimlerle başka titreşimlere/seslere de neden olur. Farklı frekanslardaki ses ve titreşimlerin, başta kulak ve derin duyu olmak üzere insan vücudunu uyarması ve sonucunda da beyinde yarattığı algı farklılıklar gösterir. Standart test için standart test cihazı gerekir ve bu bağlamda da diyapazonlar saf sese en yakın sesi üretmek üzere tasarlanmışlardır.[7,16-18]

Diyapazon titreştirildiği zaman temel bir frekans (fundamental frequency) ve en az bir tane, harmonik olan ya da olmayan ilave frekanslar üretir. Diğer frekanslardaki titreşim ve sesler, diyapazonun özgün dizaynı (çatallar ve sap) gereği ilk bir kaç yüz milisaniyede şiddetini (amplitude) kaybeder ve geriye sadece temel frekanstaki ses kalır; bu nedenle de üretilen bu ses, saf ses olarak kabul edilir.[17,18]

Kelime tarihi (etimoloji) yönünden bakıldığında; diyapazon, İngilizce'de akort çatalı anlamına gelen "tuning fork"un ülkemizde kullanılan karşılığıdır ve dilimize muhtemelen Latince ya da Yunanca'dan girmiştir. Latince'de diyapazon "tüm oktav" anlamına gelirken, Yunancada "dia" boyunca ve "pason" hepsi, her anlamına geldiği için birlikte "hepsi boyunca" manasını taşımaktadır.[19]

TARİHÇE

Diyapazonların tarihi KBB yönünden incelendiğinde, aletin gelişim tarihini ve tınlama ve titreşim yaratan bir aletle işitmenin değerlendirilmesini amaçlayan testlerin tarihini birbirinden ayırmak gerekir.

Gerek diyapazon ve gerekse de telli çalgılarda sesin nasıl üretildiğinin prensipleri, dünya tarihinin bilinen en eski bilim insanlarından birisi olan Pisagor'un çalışmalarına dayanmaktadır.[16] Diyapazon, Ng ve Jackler (1993)'ün naklettiğine göre; Yunan, Roman ve Germanik kabileler tarafından kullanıldığı bilinen ve günümüzde de kullanılmaya devam edilen masa çatalları, akort çatalının öncülüdür.[15] Diyapazon ya da "tuning fork" diye bilinen cihazların ilk olarak ortaya çıkması, müzisyenlerin talebiyle olmuştur; müzikal enstrümanların akort edilmesi veya ses sanatçılarının belirli notaları elde etmeleri amacıyla geliştirilmiş ve kullanılmışlardır.[18] Bugünkü şekil ve anlamıyla akort çatalı veya diyapazon 1711'de Londra'da, bir müzisyen olan John Shore tarafından, önemli klasik batı müziği bestecilerinden George Frederick Handel (1685-1759) ve Henry Purcell (1659-1695) için icat edilip geliştirilmiştir.[15, 20-22] Çelikten üretilen bu diyapazonun titreşim frekansı 423.5 Hz'dir. Zaman içinde müzik için kullanılan referans frekans değiştikçe diyapazonların ürettikleri frekanslar da değişmiştir. Diyapazonun müzikal amaçlarla kullanımı ve tanımını içeren ilk yayın, keşfinden 35 yıl sonra 1746 yılında William Tansur tarafından yayınlanan "A New Musical Grammar"dır.[23]

Titreşen bir cismin insan vücuduna temasıyla işitmenin test edilebileceği fikrinin ilk ne zaman ortaya çıktığı tam olarak bilinmemektedir. Ancak; Pisagor'un ses fiziği çalışmalarından daha eski olmasa da; aletin geliştirilmesi tarihinden çok daha eskidir. İtalyan bir anatomi profesörü olan ve "stapes"i ilk kez tanımlayan Giovanni Philippo Ingrassia (1510-1580); titreyen bir çatalın dişe bastırılması durumunda işitilebildiğini ve dolaylı olarak da kemik yolu iletimini gösteren ilk bilim insanıdır.[24] Ancak Ingrassia'nın 1546 yılında yaptığı bu gözlem 1603 yılına kadar yayınlanmadığı için, kemik yolu iletimin keşfi Girolamo Cardano'ya atfedilmektedir.[15] Cardano 1550 yılında yayınladığı "De Subtilitate"de kemik yolu iletimden ilk defa bahsetmiştir. Hekim, matematikçi ve felsefeci olan Cardano dişlerin arasında tutulan mızrağın ucunun, sesi titreşim ile kulağa ilettiğini fark etmiştir. Kemik yolunun tanısal önemini ilk olarak ortaya koyan kişi ise Hieronymus Capivacci'dir (1523-1586). Capivacci, 30-40 telli ud benzeri bir enstrüman olan "zither"i hastaların dişlerine değdirerek değerlendirme yapmıştır. Eğer hasta, enstrüman çalınırken sesi duyabiliyorsa sorunun kulak zarında olduğu sonucuna varılmaktadır. Eğer hasta bu şart altında da duyamıyorsa sinirde bir lezyon olduğu sonucuna varılmaktadır. Bu açıdan iletim tipi ve sensörinöral tip işitme kayıpları arasında ayrım yapan ilk kişinin Capivacci olduğu söylenebilir.[15] Titreştirilen bir yemek çatalının vücudun orta hattındaki değişik yerlere konulması durumunda, sesin iletim tipi işitme kaybı olan tarafa lateralize olduğunu ilk bulan ise Guntther Schelhammer (1684)'dir. Havada yayılan sesin yönünün nasıl anlaşılabildiğinin ilk izahını İtalyan hekim Venturi 1802'de yapmış ve 1827'de Alman hekim Tourtual aynı prensiplerin kafa kemikleriyle olan yayılım için de geçerli olduğunu bir saat kullanarak ispatlamıştır. Saat sesinin oklüzyon uygulanan kulağa yöneldiğini tespit etmiştir.[7]

Shore'un 1711'de ilk diyapazonu üretmesinin ardından bu alet özellikle Avrupa müzik camiasında hızla yaygınlaşmış ve Bickerton ve Barr'ın (1987) naklettiğine göre bu cihaz o yıllarda, Handel tarafından yeni kurulan ve Avrupa'nın ilk çocuk hastanesi olarak bilinen Londra'daki Foundling Hastanesine de verilmiştir. Ancak burada ne şekilde kullanıldığına dair bilgi yoktur. Bilimsel olarak tıbbi kaynaklarda görünür olması, ancak 100 yıl sonra ve diyapazonun titreşim özelliklerinin ilk kez sistematik olarak incelenmesinden (Friedrich Chladni, 1800'ler) sonra olabilmiştir.[22] Shore diyapazonunu, tıbbi amaçlarla ilk kez kullandığı bilinen hekim ise 1827'de Sir Charles Wheatstone'dur; diyapazonlar ile özellikle oklüzyon etkisini gösteren çalışmalar yapmıştır. Müteakiben 1834'de Weber, 1855'de Rinne ve Scwabach testleri ortaya çıkmış; 20. Yüzyıl başında da bu testlere yenileri eklenmiştir (Tablo 1).[7,15,21,25-27] Ancak bu testler hemen otolojik muayenenin bir parçası haline gelmemişlerdir. Tarihi belgeler incelendiğinde, bu testleri tanımlayanların da başlangıçta bugünküne benzer bir uygulama amaçları olmadığı görülmektedir:[7,15,21,26,27] Weber'in amacı vestibul ve semisirkuler kanalların havada yayılan sesi, kokleanın da kemik yoluyla yayılan sesi algıladığını ispatlamaya çalışmaktır. Rinne ise kemik iletiminin suda yaşayan memeliler için önemli olduğunu, hava ortamında yaşayan insan ve memelilerde kemik iletiminin ihmal edilebileceğini ispatlamaya çalışmaktayken bu testlerden bahsetmektedir. Daha sonra Weber testi olarak bilinecek olan testi ilk kez otolojide kullanan ise 1855'de Schmalz isimli bir Alman hekimdir ve bu önerisi zamanın hekimlerinin ilgisini çekmemiştir. Rinne testini kliniğe sokan ise 1880'de bir diğer Alman hekim Lucae'dir. Ancak Huizing (1975) bu testin prensiplerini ilk kez 1842'de Polansky'nin tanımladığını bildirmektedir.[4] Hinchcliffe (1987), Huizing'in bu saptamasına izafeten, Scott-Brown's Otolaryngology kitabında, bu testi "Polansky-Rinne testi" olarak isimlendirmiştir.[7] Bu kitapta Weber testi, "Schmalz-Weber" adıyla da anılmaktadır. Bu testlerin otolojide rutin kullanıma girmesinde Eitelberg'in 1886'daki yayınının aslen etkili olduğu ifade edilmekle birlikte, Ng ve Jackler'in (1993) de işaret ettiği gibi, otologlar hiç bir zaman da bu testlerin güvenirliliği ve klinikte yol gösterici olduğu konusunda tam olarak hemfikir olamamışlardır.[15]

Feldman'ın naklettiğine göre (1997) 19. yüzyıl sonlarında Politzer, Kölng ve Gradenigo gibi otoloji tarihinin öncü hekimleri diyapazonların güvenilirliğini arttırmak ve standart kullanımını sağlamak için çalışmalar yapmışlardır.[21,26,27] Helmholtz 1863'de elektromanyetik diyapazonu geliştirmiş ve 1920'lerden itibaren de odyometre cihazları kullanıma girmiştir.[7,21] Günümüzde odyometre cihazlarında elde edilen saf seslerle diyapazon testleri yapılabilmektedir (Ör. Odyoloji kliniklerinde kemik vibratör ile Weber testi yaygın bir şekilde uygulanmaya devam etmektedir).

TEKNİK ÖZELLİKLER

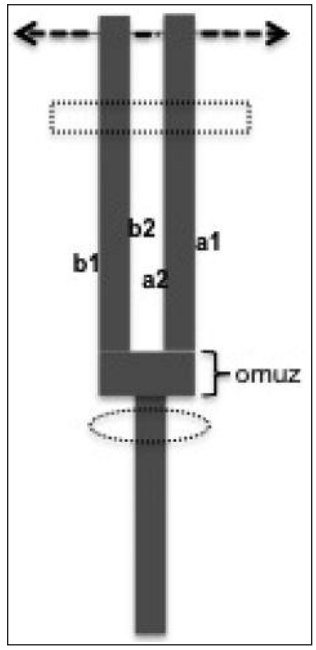
Diyapazonlar altta bir sap ile birleşen iki uçlu bir çataldır. Çatalın iki ucu "omuz" olarak da ifade edilen kısımla sapa bağlanır. Çatallar dört köşe bir yapıya

Tablo 1. Otolojik Diyapazon Testleri.

Testin adı	Tarihçe	Amaç	Uygulama Şekli	Normal cevap	Patolojik cevap
Teal testi	Teal, 1918	Organik olmayan işitme kayıplarının ayırt edilmesi: İTİK olmadığının ispatı	Daha önce titreşen diyapazon mastoide yerleştirilerek işittiği saptanan hastanın gözü kapatılır ve aynı anda titreşen diyapazon DKY önüne, titreşmeyen diyapazon mastoide yerleştirilir.	İTİK olan birey diyapazon sesini işitmez ya da daha önceki deneyimine göre daha hafif işittiğini söyler.	İTİK olduğunu iddia eden ancak işitmesi normal olan birey sesi duyduğunu ifade eder ve aynı anda iki diyapazon kullanıldığını fark etmez.
Maskesiz Kemik İletimi Testi	Lierle ve Reger, 1946	Organik olmayan işitme kayıplarının ayırt edilmesi: Tek taraflı organik İK'nın olmadığının ispatı	titreştirilen diyapazon önce işiten sonra da İK olan kulak mastoidine yerleştirilir	İK olan taraftaki mastoide yerleştirildiğinde karşı kulaktan duyar.	İK olan taraftaki mastoide yerleştirildiğinde hiç duymadığını söyler.
Stenger testi	Stenger, 1900		Hastanın gözleri kapalıyken önce tek bir diyapazonla ayrı ayrı her iki kulakta işitip işitmediği test edilir. Daha sonra aynı anda iki diyapazon titreştirilir; İK olan taraftaki diyapazon daha yakında işiten kulak tarafındaki daha uzakta tutulur.	İK olan tarafta ses duyulmadığı için iyi işiten kulak tarafındaki sesi algılayacaktır.	Her iki kulak da iyi işittiği için sesi İK olduğunu iddia ettiği kulakta işitecek ama hiç işitmediğini iddia edecektir.
Chimani-Moos testi	Moos, 1869		Titreştirilen diyapazon orta hatta konur ve işitmesi normal olan tarafta kulak tıkanır.	Hasta sesi tek işiten kulakta oklüzyon öncesi ve sonrasında işitmeye devam eder.	Hasta oklüzyon sonrasında işiten kulağındaki esin de kaybolduğunu söyler.
Weber (Schmalz-Weber) testi	Weber, 1834; Schmalz, 1855	İşitme ve/veya işitme kaybında asimetri olduğunun ispatı: Özellikle tek taraflı (ve bazen asimetrik çift taraflı) İK'larında lateralizasyonun test edilmesi	Titreştirilen diyapazon kafatasının orta hattında, glabella ya da diş üzerine yerleştirilir	Orta hat ya da iki taraflı simetrik	Bir tarafa lateralize: Lateralize tarafta İTİK ya da diğer tarafta SNİK; veya o tarafta daha az SNİK ya da daha fazla hava-kemik yolu açıklığı
Rinne testi		Hava yolu ve kemik yolu iletim sürelerinin karşılaştırılması	Titreştirilen diyapazon önce mastoid kemiğe konur; ses kaybolunca dky önüne getirilir	Hava iletimi kemik iletiminden uzun	Hava iletimi kemik iletiminden uzun değil
Schwabach testi	Schwabach, 1885	Kemik iletiminin süresinin normalle karşılaştırılması	Titreştirilen diyapazon önce hastanın mastoidine konulur; hasta duyamadığını söylediği anda hekim diyapazonu kendi mastoidine koyar. Daha sonra test önce hekimin sonra hastanın mastoidine konarak tekrarlanır.	Hasta ve hekim aynı sürede duyar	Hastanın duyma süresi hekimden kısaysa SNİK; uzunsa İTİK.
ABC (Pomeroy) testi	Pomeroy, 1883; Halpike, 1927	DKY oklüzyonunun kemik iletimine etkisinin test edilmesi	Schwabach testinden farkı, DKY'nin tıkanmasıdır.		İTİK'de hasta hekim arasında fark yok; SNİK'de hasta daha kısa süre duyar.
Bing testi	Bing, 1891		Titreşen diyapazon mastoide konulur ve hasta işittiğini söylediğinde kulak tıkanarak işitmenin artıp artmadığı ya da azalıp azalmadığı sorulur.	DKY oklüzyonu ile ses şiddeti artar; normal kulakta daha iyi işittiğini söyler.	İTİK'de DKY oklüzyonu ile ses şiddeti artmaz; hasta işitmede değişiklik olmadığını söyler.
Lewis testi	Lewis, 1925		Titreşen diyapazon mastoide (orjinal tanımda zigoma köküne) konulur; ses kaybolunca tragus önüne getirilir ve bu arada dky tıkanır.	İşitme devam eder. (SNİK'de de işitme devam eder)	İTİK'de ve özellikle kemikçik fiksasyonu varsa, işitme olmadığı söylenir.
Gelle testi	Gelle, 1881	dky'a basınç uygulanarak stapes tabanının fiksasyonununsağlanıp sağlanmadığının incelenmesi	Titreşen diyapazon mastoide konulur ve hasta işittiğini söylediğinde Siegel otoscope vb bir aletle basınç uygulanır. işitmenin artıp artmadığı ya da azalıp azalmadığı sorulur.	İşitme azalır. (SNİK'de de ve teorik olarak kemikçik devamlılığı bozulmamış İTİK'de de işitme azalır.)	Kemikçik fiksasyonu yada kemikçik kaybı olması durumunda işitme değişmez
Bonnier testi	Bonnier, 1900?	Otosklerozda artmış kemik iletiminin incelenmesi	Titreşen diyapazon vücudun herhangi bir yerindeki kemiklere (genelde patella) konulur.	Fark edilmez	Otosklerozda titreşim hasta kulağa lateralize olur.
Wollaston testi	Wollaston, 1820	İTİK daha çok alçak frekanslarda, SNİK daha çok yüksek frekanslarda olur ön kabulüne dayanan bir testtir. Farklı frekanslardaki diyapazonlarla bir tür odyometrik değerlendirme yapılmaya çalışılır.			
Chander testi	Chandler, 1958	Koklear İK'da gürlük rekrutmanını test etmek için kullanılır.	Diyapazon işitme eşiğine yakın değerde titreştirilir; hasta ve sağlam kulağa sırayla dinletilir. Sağlam kulakta daha iyi duyduğunu söylerse, diyapazon maksimum gürlükte titreştirilerek sırayla her iki kulağa da dinletilir. Eğer iki kulakta da eşitse rekrutman lehinedir.		
Parakuzi ve Diplaakuzi testleri	Itard (1821)'dan bu yana tarif edilen farklı parakuzi ve diplakuziler için farklı diyapazon testleri geliştirilmişlerdir. (Gruber, 1888; Gradnigo, 1892; Daae, 1894; Shambough, 1935, 1940; vb)				
Corradi testi	Corradi, 1890; Stephens, 1970	Anormal işitsel adaptasyonu test etmek için yapılır	Hastanın sesin kaybolduğu zamanı iaşret etmesi istenir; süre tutularak kantitatif olarak hesaplanır.		

sahiptirler, yüzeyleri birbirine paraleldirler ve genellikle de iki çatal arası 1 cm'dir. Çatalların birbirine bakan yüzeyleri "iç normal yüzeyler" ve birbirlerini görmeyen dış yüzeyler ise "dış normal yüzeyler" olarak adlandırılır. Diyapazonunun akustik aksı, bu yüzeylerden geçen hattır. Çatalların bu iki yüzeye dik olan diğer yüzeyleriyse "paralel yüzeyler" olarak isimlendirilmektedir (Şekil 1).[7]

Çatallar asıl titreşimin üretildiği yerlerdir ve çatal dış paralel yüzeylerinden birisine dik olarak uygulanan bir kuvvetle titreşmeye/tınlamaya başlar. Titreşmeye/tınlamaya başlayan bir diyapazonda bir temel ("fundamental") titreşim oluşur ve işitilen sesin asıl elementi bu temel ("fundamental") frekansta ortaya çıkan sestir.[16] Diyapazonlarda temel frekansın nasıl oluştuğu konusunda birden çok teori (Euler-Bernoulli, Rayleigh, Shear ve Timoshenko teorileri) vardır.[28] Temel frekans çatalların kalınlığının karesiyle düz, uzunluğun karesiyle ve kullanılan malzemenin yoğunluğuyla ters orantılıdır.[7,16,28] Dolayısıyla da daha uzun çatallar, daha yavaş titreşirler ve bu nedenle de daha pes tonlar ortaya çıkarırlar.

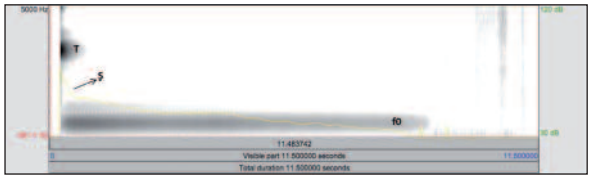


Şekil 1. Diyapazonun ideal şekilde titreştirildiğinde akustik aks, a1-a2-b2-b1 aksı üzerinde ve her iki yöne doğrudur. a1 ve b1 yüzeyleri, "dış normal yüzeyler" a2 ve b2 yüzeyleri "dış normal yüzeyler" olarak adlandırılır. Bir diyapazon ile ideal titreşim elde edilmesi için vurulması gereken kısım (1/3 üst-2/3 alt birleşim yeri) kesikli dikdörtgen ile işaretlenmiştir. Kuvvet bu bölgeye, ya a1 ya da b1 yüzeyinden dik olarak ve tek yönlü uygulanmalıdır. Diyapazonun ideal tutma yeri ise "omuz" olarak adlandırılan kısma en yakın yerdir (kesikli oval ile işaretlenmiştir); ancak parmaklar "omuz"a temas etmemelidir.

Ancak bir diyapazon titreştiğinde bütün özgün dizaynına rağmen, ana frekansın dışında, farklı frekanslarda da sesler oluşur. Bunun sebebi titreştirildiğinde ortaya çıkan ilave titreşim modlarıdır.[16,28] Diyapazonlar uygun bir şekilde titreştirildiklerinde boynuzlar birbirlerine doğru ve birbirlerinin aksi yönünde hareket etmeye başlarlar ve sonuçta temel frekans ve en az bir (harmonik olan ya da olmayan) üst ton içeren bir ses oluşur. Çatallardaki titreşim her bir çatalın gövdeyle birleştiği yerde belli bir noktada en azdır ve bu noktalar arasındaki kısımda titreşim uzun sapa geçer; sap vertikal yönde titreşmeye başlar ve bir piston olarak işlev görür. Bu şekilde titreşim tabana yayılır. Böylece diyapazon hem çatalların akustik aksı hem de tabanı üzerinden aynı frekansta ses yayarken sap kısmından (özellikle de sapın çatallara yakın üt kısmından) tutuluyor olması titreşimi engellemez.[7,16]

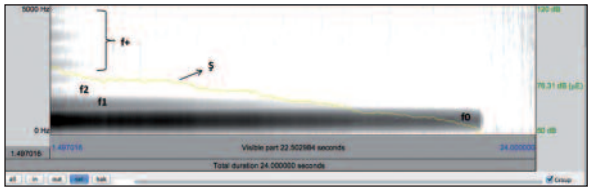
Diyapazonların üzerinde meydana gelen titreşimlerin hareket yönleri ve biçimleri ("titreşim modları") dört ana gruba ayrılarak incelenmektedir: (a) diyapazon çatallarının birbirine paralel olduğu düzlemdeki simetrik hareketleri; (b) diyapazon çatallarının birbirine paralel olduğu düzlemdeki asimetrik hareketleri; (c) diyapazon çatallarının birbirine paralel olduğu düzlemin dışındaki yönlerde oluşan simetrik hareketler ve (d) diyapazon çatallarının birbirine paralel olduğu düzlemin dışındaki yönlerde oluşan asimetrik hareketler.[16] Bu farklı titreşim modları farklı frekansların meydana gelmesine yol açsa da, ideal bir diyapazonda temel frekans dışındaki diğer tüm frekanslar çok hızlı bir şekilde sönümlenir ve geriye çatallarının birbirine paralel olduğu düzlemdeki simetrik hareketleriyle oluşan temel mod kalır (Şekil 2a).[16] Temel mod sonucunda ortaya çıkan frekans diyapazonun üzerinde yazan ve diyapazonun fiziksel özelliklerinin neticesinde meydana gelen frekanstır. Buradaki hareket simetrik bir harekettir, çatallar birbirleri ile benzer şekilde (ayna yansıması gibi) hareket ederler. Diyapazon testleri sırasında hastaya duyurulması gereken saf ses de bu sestir. Standart bir diyapazonda ses şiddetinin hava ve kemik yolunda 3'er dB azalması için gereken süre A ve B değerleri olarak diyapazon üzerinde yazıyor olmalıdır.[7] Ancak günümüzde piyasada satılan pek çok diyapazonda bu değerler belirtilmemektedir.

Ancak; diyapazonların teknik özellikleri ve elde edilen ses dalgalarıyla ilgili olarak genelde gözden kaçan en önemli hususlardan birisi, bir diyapazon titreştirildiğinde çatallarının birbirine paralel olduğu düzlemdeki simetrik hareketleriyle aslında iki ayrı ses



Şekil 2a. Yukarıda görülen kayıt 512 Hz (C) diyapazonun psiform kemik üzerinde ideal şekilde (Şekil 3) titreştirilmesiyle elde edilen kayıttır. Kayıt mikrofonu, titreştirme yerinden yaklaşık 50 cm uzakta tutulmuş ve diyapazon titreştirildikten sonra kayıt mikrofonuna 2.5 cm uzaklıkta olacak şekilde yaklaştırılmıştır. Bu şekilde tınlama modunun (Şekil 2b) kayıt üzerine yüksek şiddeti nedeniyle yaratacağı dijital kayıt hatası önlenmeye çalışılmıştır. Diyapazon testleri uygulanırken de diyapazon avuçta titreştirildikten sonra hasta kulağına benzer bir sürede getirilmesi ve tınlama modunun test kalitesini etkilemesinin önüne geçilmesi gerekmektedir.

f0: diyapazonun temel frekansını oluşturan titreşim (542.37 Hz; sönümlenme süresi: 21.56 sn); f1: diyapazonun birinci üst tonu (1033 Hz; sönümlenme süresi: 13.76 sn); f2: diyapazonun birinci üst tonu (2715 Hz; sönümlenme süresi: 2.53 sn) f+: diğer üst tonlar. Ş: Diyapazon titreştirildikten sonsa duyulan sesin toplam şiddeti (dB-SPL; maksimum şiddet: 86.51 dB-SPL).



Şekil 2b. Yukarıda görülen kayıt 512 Hz (C) diyapazonun psiform kemik üzerinde ideal şekilde (Şekil 3) titreştirilmesiyle elde edilen kayıttır. Ancak tınlama modunun temel frekans ve üst tonlarla olan ilişkisinin görülebilmesi için kayıt preamplifikatörünün kazanç değeri düşürülmüştür. Bu bağlamda kaydedilen sesin şiddeti daha düşük ve süresi daha kısa görülmektedir. Buna karşın tınlama modunun (t) temel frekansla (f0) olan zamansal ilişkisi açıkça görülmektedir. Görüldüğü üzere tınlama modu 3357.62 Hz'de elde edilmekte (fundemental frekansın 6.19 katı) ve temel frekansa göre bariz olarak daha kısa sürede sönümlenmektedir.

Şekil 3. Diyapazonun psiform kemik üzerinde titreştirilmesi. Bu sırada diyapazonunun üst 1/3-alt 2/3 kısımlarının avuç kenarına vurulmasına dikkat edilmelidir. Diyapazon şekilde görüldüğü gibi sap kısmının olabildiğince çatallara yakın bölgesinden tutulmalı ancak parmaklar çatallara değmemelidir.

dalgasının oluştuğudur. Bunlardan birisi yukarıda bahsedilen temel moddaki ses ve diğeri de tınlama ("clang") modudur (Şekil 2b). Tınlama modu, diyapazona uygulanan güç neticesinde, ilk anda ortaya çıkan yüksek amplitüdlü ve yaklaşık olarak temel mod'un 6.26 kat üzerinde bir sestir (ve oldukça yüksek bir amplitüde sahiptir). Bu ses/titreşim vurma tarzından ve hangi materyale vurulduğundan etkilenir ve çok hızla sönümlenir. Buradaki hareket de temel mod gibi simetriktir ve diyapazon düzlemindedir.[29] Rossing ve ark. (1991) 384 Hz'lik bir diyapazonda temel modda 383 Hz, tınlama modunda 2346 Hz; düzlemdeki diğer simetrik modlarda 6391 Hz, 12075 Hz ve 19339 Hz; düzlemdeki asimetrik modlarda ise 1250 Hz, 3650 Hz, 7650 Hz, 12309 Hz ve 19225 Hz'de titreşimler olduğunu göstermişlerdir.[16]

Watson (2011) en ideal titreşim yerinin avuç içinde psiform kemik (Şekil 3) olduğunu belirtirken,[30] Hinchcliffe (1987) diyapazonu titreştirmek için çatalının 1/3 üst - 2/3 orta kısmına denk gelen bölgesinin vurulması gerektiğine işaret etmiştir.[7] Stevens ve Pfannenstiel (2015) özellikle 256 ve 512 Hz diyapazonların ahşap ya da metale vurulmasıyla harmonik olmayan ilave frekans miktarının arttığını bildirmektedir; bu çalışmada 1024 Hz diyapazonda vurulan yüzeylerin özellikleri yönünden bir fark bulunamamıştır.[14] Bu çalışmada yazarlar diyapazonların farklı titreşim modlarını değerlendirmeye katmamışlardır. Burada "istenmeyen ek frekanslar" olarak işaret edilen ek ses tınlama modu neticesinde ortaya çıkan frekanslardan oluşmaktadır (tınlama/temel frekans oranı olarak kabul edilen 6/1 oranıyla uyumlu bir şekilde 256 Hz için 2179 ve 512 Hz için de 3117 Hz ek frekansları elde edilmiştir).

Her ne kadar orijinal diyapazonlar çelikten üretilmiş olsalar da; çelik diyapazonlar yoğunlukları yüksek olduğu için özellikle düşük frekanslarda ses üretmekte ve aynı zamanda ağır ve paslanabilir özellikte olmaktaydılar. Paslanmayı önlemek için nikel kaplı çelik diyapazonlar kullanılmaya başlanmış, ancak kaplamanın zamanla dökülmesi ve sesi etkilemesi neticesinde de çelik diyapazonların kullanımını kısıtlanmıştır. Sonraki yıllarda pirinç, magnezyum veya alüminyumdan imal edilen diyapazonlar piyasaya çıkmıştır. Zaman içerisinde en çok kullanılan ve kabul edilen diyapazonlar alüminyum diyapazonlar olmuşlardır.[15]

Kullanılan malzemelerin uygulama ile ilgili avantajları hususunda bilindiği kadarıyla çok fazla araştırma yapılmamıştır. MacKechnie, Greenberg, Gerkin, McCall, Hirsch, Durrant et al., (2013) Rinne testinde 512 Hz'lik çelik ve alüminyum diyapazonları karşılaş-

tırmışlar ve neticesinde çelik diyapazonların hava ve kemik iletimde sesi aynı şiddette ilettiklerini ancak alüminyum diyapazonların kemik yolunda az miktarda da olsa sesi daha düşük bir şiddette ilettiklerini ve çelik diyapazonların söz konusu hava-kemik farkı ile daha uyumlu olacak şekilde daha çok negatif Rinne ortaya çıkardıklarını bulmuşlardır.[31] Diyapazonun metalden yapıldığı ve özellikle devinimsel iş yüküne maruz kalan metallerin (özellikle de alüminyumdan üretilmiş malzemelerin) zaman içinde yorgunluk gösterdiği bilinmesine karşın,[32] kullanıma bağlı olarak diyapazonların fiziksel ve akustik özelliklerinde değişim olup olmadığı hiç araştırılmamıştır.

Diyapazonun sesinin devamlılık süresi, diyapazonlar kullanılarak yapılan pek çok otolojik ve odyolojik test için son derece önemli olmakla birlikte bu alanda çok fazla çalışma yapılmamıştır. Miller (1979) oluşan tınlama sesinin çabuk kaybolmaması için mastoid kemiğe temas kuvvetinin de aşırı olmaması gerektiğini belirtmiştir.[33]

UYGULAMA ALANLARI

International Organization for Standardization-ISO (1975), enstrümanların akortlarının yapılması için la (A) notasının temel frekans olduğu 440 Hz'nin kullanılması gerektiğini belirtmiştir.[34] Bu nedenle müzikal amaçlarla kullanılan diyapazonlar 440 Hz frekansına sahiptirler. Sağlık alanında do (C) notasının oktavlarında (256, 512 ve 1024 Hz) ses üreten diyapazonlar kullanılmakta ve özellikle de 512 Hz diyapazon testi KBB muayenesinin temel standardı olarak kabul edilmektedir.[7,8] Sağlık alanında diyapazonlar işitmenin değerlendirilmesi dışında, derin duyu hissinin takibi amacıyla nörolojide ve kemik kırıklarının saptanmasında alternatif bir yöntem olarak ortopedi de kullanılmaktadır.[22]

Kaynaklarda diyapazonun sadece müzikte ya da tıpta değil; Albert Michelson'un ışığın hızı ile ilgili tarihi deneylerinden, saatlerin içerisindeki minik kuvartz diyapazonlara kadar birçok farklı alanda da kullanıldıkları görülmektedir.[35,36]

Otoloji (ve Odyoloji) Alanındaki Uygulamalar ve Uygulama Hataları

Diyapazon testleri, aslında odyologlar tarafından çok tercih edilen araçlar değildirler ve hekimin hasta muayenesi sırasında işitmeyi değerlendirmesi için kullanılmaktadırlar. Ancak gerek modern gerekse en temel odyolojik değerlendirmelerin altında yatan temel prensiplerin anlaşılması açısından önem taşımaktadırlar. Saf ses odyometrisi 1800'lü yıllarda uygulanmaya konulan diyapazon testlerinin dayandığı ilkelerden yola çıkılarak geliştirilmiştir.[18] Odyoloji pratiği içerisinde diyapazonlar yerlerini çoğunlukla kemik vibratörlere bırakmıştırlar. Özellikle Weber veya Rinne testlerinin dengi olan odyometrik değerlendirmeler kemik vibratörlerle yapılmaya devam edilmekte ve modern odyometrelerin sağladığı imkanlar ile farklı frekanslarda, farklı şiddetlerde uygulanabilmektedirler.[36]

KBB pratiğinde diyapazon testlerinin birincil hedefi, işitme kaybının var olup olmadığını; eğer işitme kaybı var ise iletim bileşeninin olup olmadığının belirlenmesidir.[37] Modern elektronik odyometrelerin gelişiminden önce, işitmenin niteli ve nicel değerlendirilmesine yönelik 20 farklı diyapazon testinin geliştirilmiş olduğu bilinmektedir.[15] Bu testlerden kaynaklarda mevcut olanlar Tablo 1'de özetlenmiştir.

Görüleceği üzere bu testlerin kullanımı 3 temel noktaya yönlenmektedir: Birinci amaç işitme kaybı taklidi yapan ya da psikojenik işitme kaybından şikâyet eden hastaların, organik işitme kayıplarından ayırt edilmesidir. İşitme fizyolojisinin eşsiz özellikleri olan oklüzyon, etkisi, kemik iletimi ve yön belirleme ilkelerinden hareketle, diyapazon kullanarak işitme kaybı taklidi yapan ya da işitme kaybı olduğu zannına kapılmış bir bireyi organik rahatsızlıklardan ayırmak mümkündür. Özellikle İTİK yapabilecek bir dış kulak yolu-kulak zarı-orta kulak problemi olan olgularda (örneğin ikincil kazanç beklentisi olan travma olgularına düzenlenecek özür oranı belirleme raporları vb.) mevcut kaybının derecesini ve ayrıca travmaya bağlı oluşabilecek SNİK olasılığını bu şekilde ayırt etmek mümkündür.

Diyapazon testlerinin pratik uygulamada, özellikle birinci basamak hekimlikte, en önemli uygulanma alanlarından birisi de SNİK ile İTİK'in ayırt edilmesidir. Her ne kadar kaynaklar Rinne testiyle İTİK ortaya çıkması için 15-20 dB işitme kaybı olması gerektiğini ifade etmekteyse de; Bing ve oklüzyon testleriyle 9 dB'lik hava-kemik aralığının dahi fark edilebileceği söylenmektedir.[7] Bu bağlamda ani başlayan işitme kaybı yakınmasıyla gelen ya da akustik travmaya maruz kalan[38] ve özellikle de dış kulak yolunda buşon ya da normal olmayan bir kulak zarı görünümü olan olgularda, muayene odası şartlarında ani başlangıçlı SNİK işitme kaybının atlanmaması için diyapazon testleri son derece önemlidir. Bu gibi olgularda, pratisyen hekimlere ve acil

tıp uzmanlarına önerilen işitme kaybı yakınması olan ancak diyapazon testleriyle İTİK saptanmayan olguların muhakkak, acilen, otolojik ve odyolojik değerlendirmeye yönlendirilmesidir.

Bunun dışında diyapazon testlerinin özellikle kemikçik fiksasyonu olan olguların ayırt edilmesinde, saf ses odyogramlarla bile elde edilemeyecek bir avantajı vardır (Lewis ve özellikle Gelle testi). Ayrıca özellikle 512 Hz diyapazonla yapılan Rinne testinde negatiflik elde edilmesinin otoskleroz cerrahisine karar vermedeki önemi,[39] karşı görüşler olsa da,[40] pek çok klinisyence hala daha paylaşılmaktadır.

Diyapazon testlerinin sonuçlarının güvenilirliğini azaltan en önemli faktörün kullanım hataları olduğu ve özellikle deneyimsiz hekimlerin elinde diyapazon testlerinin değerinin azaldığı pek çok müellifçe bildirilmiştir.[7-9,11,12,14,30,31] Bu bağlamda öne çıkan en önemli hususlar, diyapazonun titreştirme tekniği (diyapazonun neresinin, hangi yönde vurulacağı ve bu sırada nereden tutulması gerektiği), bu maksatla kullanılan zemin, her hâlükârda ortaya çıkacak olan tınlama modunun hastaya zarar vermemesinin nasıl sağlanacağı son derece önemlidir. Yüksek bir amplitüde ve frekansa sahip olan ve hızla kaybolan tınlama modu hastaya dinletilmemelidir. Tecrübeli hekimler diyapazonun tınlatıldığı andaki yüksek ses kaybolup ideal saf sesinin başladığı anda (yaklaşık 7-10 sn) diyapazonu hastaya yaklaştırır. Hastanın Şekil 2a'da sunulan sesi algılayabilmesi için diyapazon yaklaşık 50 cm uzakta titreştirilmeli ve sonra kulağa yaklaştırılmalıdır. Aksi taktirde Şekil 2b'de görülen tınlama modu hasta tarafından işitilecek ve hastanın işitsel algısını ve testi olumsuz etkileyecektir.

Diyapazon psiform kemiğe ideal şekilde vurularak titreştirilmiş dahi olsa, henüz tınlama sesi devam ederken diyapazonun hastaya yaklaştırılması, hastada farklı (ve rahatsız edici) ses algısına yol açabilir ya da özellikle işitme kaybı olan hastalar bu sesin kaybolmasını testin cevabı olarak kabul edebilirler. Ayrıca test tekniklerini doğru bilme, hastanın diyapazon sesine adaptasyon geliştirme olasılığı, hekimin kendi işitme düzeyinden haberdar olması ve gürültüsüz ortam da son derece önemlidir.

Derin Duyu ("Proprioception") Hissinin İncelenmesi İçin Diyapazon Testlerinin Kullanılması

Pearce (1998)'ın da belirttiği gibi, diyapazonlar 20. yüzyılın başından bu yana derin duyu algısının değerlendirilmesi için nörologlar ve dahiliye hekimleri tarafından kullanılmaktadır.[22]

Spinal kordun arka kolonunda medial lemnisküs yoluyla iletilen duyulardan birisi olan derin duyu hissinin vibrasyonla fark edilmesi durumuna *palestezi* adı verilmektedir[41] ve palestezinin değerlendirilmesi için, yine do (C) notasının harmoniği olan ama titreşim hissini daha iyi yaratan 64 veya 128 Hz diyapazonlar tercih edilmektedir. Özellikle aksonal nöropatinin değerlendirilmesi için 64 Hz diyapazonların kullanılması önerilmektedir.[42] Ancak Lai, Ahmed, Bollineni, Lewis ve Ramchandren (2014) tarafından yapılan çalışmada bu iki farklı frekanstaki diyapazonun aksonal nöropatiyi değerlendirmedeki isabetlilikleri ile ilgili istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunamamıştır.[43]

Değerlendirme, titreştirilen diyapazon kemik veya kemik prominans üzerine dokundurularak titreşim hissi ile ilgili hastadan geri bildirim alınması üzerin kurulu-dur. Hastadan gözlerini kapatması istenilir ve genellikle ekstremite uçlarında bir kemik üzerine titreştirilen diyapazon konulur. Uygulama için parmaklar, malleoller, tibia, sakrum, sternum gibi bölgeler kullanılabilir.[41] Hastanın bu bölgelerde titreşimi algılayıp algılamadığı ve algılıyor ise ne kadar süre ile algıladığı göz önüne alınır. Ardından vücudun diğer yarısındaki aynı bölgede değerlendirme tekrar edilir. Böylelikle distal-proksimal ve sağ-sol karşılaştırmaları yapılabilir.

Bu bağlamda diyapazonların en çok kullanıldığı yerlerden birisi de Diabetes Mellius (DM)'dur. DM'nin en önemli komplikasyonlarından birisi olan periferal nöropatinin takip edilmesi için 128 Hz'lik veya 64 Hz Rydel-Seiffer diyapazonu ile vibrasyonun (ayak başparmağı veya ayak bileği yan kemik üzerinden) değerlendirilmesi önerilen başlıca takip yöntemlerinden birisidir.[43]

Kırık Saptanmasında Diyapazon Testlerinin Kullanımı

Her ne kadar mevcut sağlık uygulamalarında kırıkların belirlenmesi görüntüleme teknikleri ile kolay bir şekilde gerçekleştirilebiliyor olsalar da; görüntülemenin mümkün olmadığı bazı özel durumlarda farklı yöntemlerin kullanılması elzem bir hal alabilir. Bu yöntemlerden bir tanesi de diyapazon testleridir.

Kırıkların belirlenmesinde diyapazonların kullanımı, aslında günümüzde genelde tercih edilemeyecek bir yol olan, kişilerin ağrı-acılarının yorumlanması ile gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla iki farklı yöntem geliştirilmiştir: Birinci yöntemde titreştirilen diyapazon doğrudan kırık şüphesi olan bölgenin üstüne veya çok yakınına yerleştirilir. Kırık bölgesinde periosteum sinirsel olarak ciddi şekilde uyarıldığı için mekanik titreşimler ağrıya yol açar. İkinci yöntemde ise titreştirilen

diyapazon kırık şüphesi olan bölgenin kemik kısmının distaline yerleştirilir. Ardından kırık bölgesinin proksimaline stetoskop yerleştirilerek diyapazonun sesi dinlenir. Sağlam olan taraf ile kırık şüphesi olan bölgeden duyulan sesin şiddeti karşılaştırılır. Eğer bir azalma söz konusu ise kırık şüphesi güçlenir.[44]

Ancak bu değerlendirmelerden özellikle birincisinin, kişilerin farklı ağrı-acı eşiklerine sahip olmaları nedeniyle güvenilir olmadıkları da literatürde belirtilmektedir.[45] Mugunthan, Doust, Kurz ve Glasziou (2014) yaptıkları derlemede 6 farklı çalışmadan elde ettikleri verileri değerlendirmişler ve diyapazon ile kırık değerlendirmesinin düşük bir tanısal isabetliliğe sahip olduklarını göstermişlerdir.[44]

KBB alanında bu şekilde değerlendirmenin tek bir yeri maksillofasiyal ve özellikle de mandibuler kırıklardır. Özellikle bilinci yerinde olan ve ağrılı uyaranlara tepki veren bir baş-boyun travmasında, acil şartlarda yapılan ön muayene sırasında hasta görüntüleme birimlerine yollanmadan önce mandibulanın olası kırık alanlarına diyapazon uygulanarak, görüntüleme süresince risk oluşturabilecek bir kırık olup olmadığını tahmin etmek ve hastayı buna göre mobilize etmek acil şartlarda kullanılabilecek bir yöntemdir.

SONUÇ

Diyapazonlar Pisagorun temel ses fiziği ilkelerine göre çalışan ve yaklaşık 300 yıldır değişik amaçlarla tıp ve müzik başta olmak üzere farklı alanlarda kullanılan aletlerdir. Özellikle tıptaki diyapazon kullanımı işitme fizyolojisinin öğrenilmesiyle paralel gitmiş, işitme fizyolojisinin pek çok temel prensibi ya diyapazonlar kullanılarak saptanmış ya da bu şekilde ispatlanarak klinik problemlerle bağıntıları ortaya konulmuştur. Odyolojinin gerek cihaz ve gerekse testle bağlamında temel prensiplerinin gelişmesinde diyapazon testleriyle elde edilen bilgi birikiminin önemli yeri vardır. Ancak günümüzde odyolojik testlerin varlığı ve pratik ve güvenilir şekilde işitsel tanıyı sağlaması her geçen gün diyapazon testlerinin kullanımın azaltmaktadır. Diyapazon testlerinin özellikle yeni başlayan hekimlerce uygulanmasının zorluğu ve hataya daha fazla açık olması da diyapazon testlerinin kliniklerde rutin kullanılmasını olumsuz etkileyen diğer bir önemli faktördür.

Ancak bu makalede görüldüğü üzere diyapazon testleri basit kullanım ilkelerine uyulduğu takdirde, özellikle muayene odası içinde hastanın değerlendirilerek sonraki adımların doğru belirlenmesi açısından son derece yaralı ve elzemdir. Organik işitme kaybının varlığı, özellikle akut olaylarda SNİK olasılığını değerlendirilmesi ve orta kulak cerrahisi planlanan olgularda kemikçik fiksasyonu mevcudiyetinin ameliyat öncesinden saptanabilmesi bağlamında klinik önemleri hala daha devam etmektedir.

Ayrıca, diyapazon testleri temel prensiplerinden klinik uygulamalara kadar pek çok yönüyle hala daha tam olarak araştırılmamıştır. Özellikle günümüzde mevcut teknoloji ve alternatif test teknikleriyle diyapazon testlerinin sonuçlarının sağlıklı ve işitme kayıplı bireylerde incelenmesi, önü açık araştırma alanlarıdır.

KAYNAKLAR

1. Allen GW, Fernandez C. The mechanism of bone conduction. Ann Otol Rhinol Laryngol 1960;69:5-28.
2. Tonndorf J. A new concept of bone conduction. Arch Otolaryngol 1968;87(6):49-54.
3. Huizing EH. The early descriptions of the so-called tuning fork tests of Weber and Rinne. I. The “Weber test” and its first description by Schmalz. ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec 1973;35(5):278-82.
4. Huizing EH. The early descriptions of the so-called tuning fork tests of Weber, Rinne, Schwabach and Bing. II. The “Rhine test” and its first description by Polansky. ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec 1974;37(2):88-91.
5. Huizing EH. The early descriptions of the so-called tuning fork tests of Weber, Rinne, Schwabach and Bing. III. The development of Schwabach and Bing Tests. ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec 1975;37(2):92-96.
6. Khanna S, Tonndorf J, Queller J. Mechanical parameters of hearing by bone conduction. J Acoust Soc Am 1976;60(1):139-54.
7. Hinchcliffe R. Chapter 6: The clinical examination of aural function. In: Kerr, AG, Groves, J, Booth, JB, eds. Scott-Brown’s Otolaryngology. 5th ed. London: Butterworth International; 1987. p.203-43.
8. Akyıldız N. İşitme ve Denge Organının Anatomik ve Fonksiyonel Değerlendirilmesi. Cilt 1. Akyıldız N. editör. Kulak Hastalıkları ve Mikrocerrahisi. 1. Baskı. Ankara: Bilimsel Tıp Yayınevi; 1997. p.129-224.
9. Burkey JM, Lippy WH, Schuring AG, Rizer FM. Clinical utility of the 512-Hz Rinne tuning fork test. Am J Otol 1998; 19(1):59-62.
10. Corbridge RJ. Chapter 1: The ENT history and examination. In: Essential of ENT. 2nd ed. London: Taylor & Francis Group, CRC Press; 2011. p.1-11.

11. Stankiewicz JA, Mowry HJ. Clinical accuracy of tuning fork tests. Laryngoscope 1979; 89(12):1956-63.
12. Jacob V, Alexander P, Nalinesha KM, Nayar RC. Can Rinne's test quantify hearing loss? Ear Nose Throat J 1993;72(2):152-3.
13. Hall CM, Croutch C. Tuning forks revisited: Theory, use, and interpretation of results. Hearing Review 2010;17(3):26-30.
14. Stevens JR, Pfannenstiel TJ. The Otologist's Tuning Fork Examination Are You Striking It Correctly? Otolaryngol Head Neck Surg 2015;152(3): 477-9.
15. Ng M, Jackler RK. Early history of tuning-fork tests. Am J Otol 1993;14(1):100-5.
16. Rossing TD, Russell DA, Brown DE. On the Acoustics of tuning forks. Am. J. Phys 1992; 60 (7):620-6.
17. Alm JF, Walker JS. Time frequency analysis of musical instruments. SIAM Review 2002; 44(3):457-76.
18. Martin FN, Clark JG. The human ear and simple tests of hearing. In: Introduction to Audiology. 8th ed. New York: Pearson Education; 2003. p.16-17.
19. Soukhanov, AH. The American Heritage Dictionary of the English Language. 3rd ed. New York: Houghton Mifflin; 1992. p.98
20. Bickerton RC, Barr GS. The origin of the tuning fork. J R Soc Med 1987;80(12):771-3.
21. Feldmann H. History of the tuning fork. I: Invention of the tuning fork, its course in music and natural sciences. Pictures from the history of otorhinolaryngology, presented by instruments from the collection of the Ingolstadt German Medical History Museum. Laryngorhinootologie 1997;76(2):116-22.
22. Pearce JMS. Early days of the tuning fork. J Neurol Neurosurg Psychiatry 1998;65(5):728-33.
23. Tans'ur W. A New Musical Grammar or The Harmonical Spectator. London: 1746. p.65. Erişim tarihi: 24 Mayıs 2015, https://books.google.com.tr/
24. Johnson EW. Tuning forks to audiometers and back again. Laryngoscope 1970; 80(1):49–68.
25. Davis H, Silverman SR. Hearing and Deafness. 3rd ed. United States of America: Rinehart and Winston; 1970. p.182-4.
26. Feldmann H. History of the tuning fork. II: Evolution of the classical experiments by Weber, Rinne and Schwabach. Laryngorhinootologie 1997;76(5):318-26.
27. Feldmann H. History of the tuning fork. III: On the way to quantitative pure-tone measurement. Pictures from the history of otorhinolaryngology, represented by instruments from the collection of the Ingolstadt German Medical History Museum. Laryngorhinootologie 1997;76(7):428-34.
28. Han SM, Benaroya H, Wei T. Dynamics of Transversely Vibrating Beams Using Four Engineering Theories. J Sound Vibration 1990;225(5):935-88.
29. Russell DA. On the sound field radiated by a tuning fork. Am J Physics 2000;68(12):1139-45.
30. Watson DA. How to make a tuning fork vibrate: the humble pisiform bone. Med J Aust 2011;195 (11-12):732.
31. MacKechnie CA, Greenberg JJ, Gerkin RC, McCall AA, Hirsch BE, Durrant JD, et al. Rinne revisited: steel versus aluminum tuning forks. Otolaryngol Head Neck Surg 2013;149(6):907-13.
32. Bhat S, Patibandla R. Metal fatigue and basic theoretical models: a review. In: Morales EV, ed. Alloy Steel - Properties and Use; 2011. DOI: 10.5772/28911. Erişim Tarihi: 24 Mayıs 2015 http://www.intechopen.com/books/alloy-steel-properties-and-use
33. Miller GW. Tuning fork decay. Laryngoscope 1979;89(3): 459-72.
34. ISO 16: 1975: Acoustics – Standart Tuning Frequency (Standart musical pitch), 2011-12-22. International Organization for Standardization. Switzerland. Erişim Tarihi: 24 Mayıs 2015 http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=3601
35. Fickinger W. Miller's Wave: An informal scientific biography. United States of America: Xlibris Corporation;2011.p.63.
36. Stach BA. The audiologist's assessment tools: pure tone audiometry. In: Stach BA, ed. Clinical audiology: an introduction. 2nd ed. New York: Delmar Cengage Learning; 2010. p.265-6.
37. Harrell RW. Puretone evaluation. In: Katz J, Burkard RF, Medwetsky L, eds. Handbook of clinical audiology. 5th ed. United States of America: Lippincott Williams & Wilkins. 2002. p.79.
38. Kemaloğlu YK, Tutar H. Gürültüye bağlı işitme kayıpları ve akustik travma. Türkiye Klinikleri J E.N.T.-Special Topics 2013;6(1):44-54.
39. Meyerhoff WL, Paparella MM. Management of otosclerosis. In: Paparella MM, Shumerick DA, eds. Volume 3. Otolaryngology. 2nd ed. London: 1980. p.1645-55.
40. Gordon MA, Silverstein H, Willcox TO, Rosenberg SI. A reevaluation of the 512-Hz Rinne tuning fork test as a patient selection criterion for laser stapedotomy. Am J Otol 1998;19(6): 712-7.
41. Campbell WW, DeJong RN. The Exteroceptive sensation. In: Campbell WW, ed. DeJong's the neurologic examination. 7th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2012. p.447-8
42. Kastenbauer T, Sauseng S, Brath H, Abrahamian H, Irsigler K. The value of Rydel-Seiffer tuning fork as a predictor of diabetic polyneuropathy compared with a neurothesiometer. Diabet Med 2004;21(6):563-7.
43. Lai S, Ahmed U, Bollineni A, Lewis R, Ramchandren S. Diagnostic accuracy of qualitative versus quantitative tuning forks: outcome measure for neuropathy. J Clin Neuromuscul Dis 2014;15(3):96-101.
44. Mugunthan K, Doust J, Kurz B, Glasziou P. Is there sufficient evidence for tuning fork tests in diagnosing fractures? A systematic review. BMJ Open 2014;4. DOI: 10.1136 Erişim Tarihi: 2 Haziran 2015 http://bmjopen.bmj.com/content/4/8/e005238.full?rss=1
45. Moore MB. The use of a tuning fork and stethescope to identfy fractures. J Athl Train 2009;44(3):272-4.