

Ses Lokalizasyonu: Temel Bilgiler: Geleneksel Derleme

Sound Localization: The Basics: Traditional Review

^{1b} Aysun PARLAK KOCABAY^a, ^{1b} Gonca SENNAROĞLU^a

^aHacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi, Odyoloji Bölümü, Ankara, Türkiye

ÖZET İşitsel sistem; sesin baş ve dış kulak ile etkileşimi sonucunda oluşan uzamsal ipuçlarını kullanarak ses kaynağını lokalize etmektedir. Bu ipuçları, belirli beyin sapı yollarında analiz edilir ve ardından konumların kortikal temsili oluşturulur. Ses kaynağı; sağ/sol boyut ya da horizontal düzlem, aşağı/yukarı boyut ya da vertical düzlem ve uzak/yakın ya da mesafe boyutu olmak üzere 3 farklı uzamsal boyutta lokalize edilebilmektedir. Kulaklar arası zaman farklılıkları [interaural time differences (ITD)] ve kulaklar arası ses seviyesi farklılıkları [interaural level difference (ILD)], horizontal lokalizasyon için temel ipuçlarını oluşturur. Alçak frekansların lokalizasyonu için ITD bilgileri esas iken, yüksek frekansların lokalizasyonu için ILD bilgileri esastır. Vertical lokalizasyon ise dış kulağın yöne bağlı filtreleme özelliklerinden elde edilen spektral şekilli ipuçlarına dayanır. Bu ipuçlarının ilk analiz yerleri; ITD için “medial superior olive”, ILD için “lateral superior olive” ve spektral şekilli ipuçları için dorsal koklear çekirdektir. Normal işitmeye sahip dinleyiciler, çoğu dinleme koşulunda sesleri hem horizontal hem de vertical boyutlarda birkaç derecelik sapma ile lokalize edebilmektedir. Uzak-yakın ya da mesafe boyutundaki lokalizasyon; çevre akustiğine, ses spektrumuna ve sesin şiddetine aşinalık gibi ek faktörlere bağımlı olduğundan horizontal/vertical düzlemlerdeki lokalizasyondan daha az doğrulukta gerçekleşmektedir. Mesafe boyutundaki lokalizasyon için temel akustik ipuçları; şiddet (yani dinleyicinin kulaklarına ulaşan ses seviyesi), kulaklar arası şiddet seviyesi farkı ve direkt sesin yansıyan sese enerji oranıdır. Bu derlemede; horizontal, vertical ve mesafe boyutundaki ses lokalizasyonuna ilişkin temel bilgilerin verilerek, alandaki kaynak ek-sikliğine katkıda bulunmak amaçlanmıştır.

ABSTRACT The auditory system uses spatial cues produced by the interaction of sound with the head and external ears to determine the locations of sound sources. Those cues are processed in certain brainstem pathways before being integrated into cortical representations of locations. Sound source could be localized in 3 different spatial dimensions: right/left dimension or horizontal plane, front/back dimension or vertical plane and far/near field or distance dimension. Interaural time differences (ITD) and interaural level differences (ILD) are the main cues for horizontal localization. ITD information is essential for localization of low frequencies, while ILD information is essential for localization of high frequencies. Vertical localization rely on spectral shaped cues derived from the directional filtering properties of the external ears. The first analysis sites of these cues are the medial superior olive for ITDs, the lateral superior olive for ILDs, and the dorsal cochlear nucleus for spectral-shaped cues. In most natural listening conditions, normal human listeners can localize sounds within a few degrees of accuracy in both horizontal and vertical dimensions. Localization in the far/near field or distance is much less precise than in the horizontal and vertical dimensions, and the interpretation of the main cues is impacted by additional factors, such as the acoustics of the surroundings and the familiarity with source spectra and levels. Basic acoustic cues for distance-dimensional localization; intensity (i.e., the sound level reaching to listener), the ILD and the energy ratio of direct sound to reflected sound. This review aims to address the lack of source material in the area by providing a fundamental knowledge of horizontal, vertical and distance dimension of sound localization.

Anahtar Kelimeler: Ses lokalizasyonu; horizontal lokalizasyon; vertical lokalizasyon; uzamsal işleme; mesafe algısı

Keywords: Soud localization; horizontal localization; vertical localization; spatial processing; distance perception

Uzamsal işitme; bir dinleyicinin ses kaynağının yerini belirlemesini sağlar, akustik olarak kompleks ortamlarda ve rakip seslerin varlığında belirli bir sesin tanınmasına ve algılanmasına yardımcı olur.¹ Bu fonksiyonlar arasında ses kaynağının lokalizasyonu, mekanizması şu ana kadar en iyi anlaşılan olmuştur ve bu derlemenin ana konusu bu olacaktır.

Normal işitmeye sahip dinleyiciler, çoğu dinleme koşulunda sesleri hem horizontal hem de vertical boyutlarda birkaç derecelik sapma ile lokalize edebilirler.^{2,3}

Lokalizasyon, işitsel sistem için zorlu bir görevdir. Görsel ve somatosensör sistemlerde, uyarının konumu doğrudan retina ve deri gibi duyuşal yüzeylerde

Correspondence: Aysun PARLAK KOCABAY
Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi, Odyoloji Bölümü, Ankara, Türkiye
E-mail: aysunprlk@gmail.com

Peer review under responsibility of Türkiye Klinikleri Journal of Health Sciences.

Received: 21 Mar 2023

Received in revised form: 17 May 2023

Accepted: 25 May 2023

Available online: 30 May 2023

2536-4391 / Copyright © 2023 by Türkiye Klinikleri. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).



haritalanır. İşitme sisteminde ise koklear yüzeyde haritalanan özellik konum bilgisi değil frekans bilgisidir. Sesin konumu, sesin baş ve dış kulak ile fiziksel etkileşimlerinden kaynaklanan uzamsal akustik ipuçlarından çıkarılmalıdır. İki kulaktan gelen bu ipuçları, santral işitsel sistem içinde analiz edilmeli ve işitsel alanın nöral bir temsili oluşturmak için entegre edilmelidir. Bu derlemede, işitsel sistem için oldukça zorlu olan bu görevin, frekansları 3 kHz civarında olan seslerin horizontal lokalizasyonu ve bant genişliği sınırlı bir sesin vertikal lokalizasyonu gibi koşullarda neden başarısızlıkla sonuçlandığından bahsedeceğiz.

Bu derlemede, dinleyicilerin ses kaynağının lokalizasyonu için güvendiği akustik ipuçlarını ve bu ipuçlarının analiz edildiği beyin sapı yollarını ele alacağız. Horizontal düzlem ile vertikal ve sagittal düzlemi ayrı olarak ele alacağız çünkü bu düzlemlerdeki lokalizasyon farklı akustik ipuçlarına dayandığından farklı beyin sapı yollarında işlenmektedir.

LOKALİZASYONLA İLGİLİ GENEL TERİMLER VE TEKNİKLER

Ses lokalizasyonu becerisini değerlendirmenin en iyi yolu, sesleri dinleyiciden uzaktaki çeşitli konumlarda sunmak ve dinleyicinin bu konumlar hakkında bir yargıda bulunmasını istemektir. Ses kaynağının dinleyiciden uzakta olduğu deneysel koşullar “açık alan” koşulları olarak bilinir. Çoğu zaman çalışmacılar, engellerden arınmış ve yansımaların olmadığı “serbest alan” olarak bilinen özel açık alan koşullarında araştırmalarını yürütürler. Bu tür deneyler çoğunlukla sesi absorbe etmek için duvarların, zeminin ve tavanın özel malzemelerle kaplandığı odalarda gerçekleştirilir. Genel olarak serbest alan koşullarında, ses kaynakları dinleyicinin kafasının merkezinden yaklaşık 1 m uzaklıktadır. Belirli akustik ipuçlarına duyarlılık çalışmaları, seslerin kulaklıklar aracılığıyla sunulduğu “kapalı alan” koşullarında gerçekleştirilebilir. Bu tür deneylerde dinleyici, 2 kulak arasında ses seviyesi veya zamanlama farkı olan “dikotik” bir uyarı, seslerin 2 kulakta aynı olduğu “diotik” bir uyarıdan ayırt etmeye çalışır.

HORİZONTAL LOKALİZASYON

“Horizontal lokalizasyon”, bir ses kaynağının orta hat düzlemine göre sola veya sağa lokalizasyonunu ifade

etmektedir. Horizontal lokalizasyon çalışmalarının temeli, İngiliz fizikçi Rayleigh tarafından yapılan araştırmalara dayanmaktadır.⁴ Literatürde Duplex teorisi olarak bilinen bu araştırmaların sonucunda; alçak frekanslı ses lokalizasyonunun kulaklar arası zaman farkına [interaural time differences (ITD)], yüksek frekanslı ses lokalizasyonunun ise kulaklar arası ses seviyesi farkına [interaural level difference (ILD)] dayandığı bildirilmiştir.² Saf ses uyarıların lokalizasyonuna ilişkin ilk serbest alan çalışmaları, ITD bilgisinin kullanılarak frekansları 1,5 kHz'nin altında olan seslerin lokalizasyonunun başarıyla yapılabildiğini rapor etmiştir. Frekansları 4 kHz üzerinde olan seslerde ise ses dalga boylarının kafa çapından daha kısa olması nedeniyle kulaklar arasında belirgin bir ses seviyesi farkı yaratması sonucu lokalizasyon performansının başarılı olduğu bildirilmiştir. Ancak 2-4 kHz frekans bandı aralığında bulunan seslerin lokalizasyonunda kulaklar arası zaman ve şiddet farkları güvenilir ipuçları sağlamamaktadır ve bu nedenle lokalizasyon performansının alçak ve yüksek frekanslı sesler ile karşılaştırıldığında oldukça zayıf olduğu rapor edilmiştir.^{5,6} Dinleyiciler tarafından iyi lokalize edilemeyen bu frekans bandı aralığının -günlük hayatta daha kompleks seslere maruz kaldığı için- günlük ses lokalizasyonu üzerinde çok az etkisi olmaktadır.

Dupleks teorisinin temel unsurları modern psikofiziksel ölçümlerle kanıtlanmış, anatomik ve fizyolojik bağıntıları büyük ölçüde anlaşılmıştır. Rayleigh lokalizasyon ile ilgili çalışmalarını, saf ses uyarıların kullanılarak yürütmüştür.⁴ ITD'lerin ve ILD'lerin sırasıyla alçak ve yüksek frekanslı seslerin lokalizasyonu için kullanıldığına dair gözlemleri, Wightman ve Kistler tarafından geniş bantlı sesler kullanılarak yapılan çalışmalarla desteklenmiştir. Bu yazarlar; alçak frekansları (~2 kHz'nin altında) içeren geniş frekans spektrumlarına sahip seslerde, dinleyicilerin lokalizasyon yargılarına ILD'lerden bağımsız olarak ITD ipuçlarının hakim olduğunu bildirmiştir. Alçak frekanslar filtreleme ile ortadan kaldırıldığında ise ITD hakimiyetinin kaybedildiğini rapor etmişlerdir.⁷ Sonraki yıllarda Macpherson ve Middlebrooks, yüksek frekans (4-16 kHz) seslerin lokalizasyonunda çelişkili ITD ipuçlarının varlığında bile ILD ipuçlarının baskın olduğunu göstererek bu gözlemleri genişletmiştir.⁸

Saf seslerde, ITD'lerin belirlenebilme eşiği yaklaşık 10-20 μ s'dir.⁹ Eşik değerler, 700 ve 1.000 Hz arasındaki frekanslar için minimumdur yani hassasiyet en yüksektir. 700 Hz'den daha alçak frekanslar için eşik değeri yavaşça yükselirken, 1.000 Hz'den yüksek frekanslarda eşikteki yükseliş çok hızlı olur ve 1.400 Hz üzerinde ITD duyarlılığı kaybolur.⁹

Başın boyutlarından daha kısa dalga boylarına sahip sesler için baş akustik bir gölge oluşturur. Ses kaynağına daha yakın olan kulaktaki ses seviyesi diğer kulaktakinden daha fazladır. Ortaya çıkan kulaklar arası ses seviyesi farkı, ses kaynağının konumu için bir ipucu oluşturur. 1 kHz'den daha düşük frekanslardaki seslerin dalga boyları, başın çapından daha uzundur ve bu frekanslardaki ILD'ler ihmal edilebilir düzeydedir. ILD'ler serbest alanda kulak kanalına yerleştirilen minyatür mikrofonlar aracılığıyla ölçülebilir. Orta hatta göre 90°lik konuma sahip bir ses kaynağı kullanıldığında, ILD'ler 4 kHz'de yaklaşık 20 dB'dir ve 10 kHz'de 35 dB'ye kadar çıkmaktadır. Herhangi bir frekansta, ILD'ler kabaca ses kaynağının orta hatta göre açısının sinüsü ile orantılıdır. Yüksek frekanslı bir seste ILD'nin saptanması için eşik değeri ~1 dB'dir.^{3,8}

Santral işitsel sistemde; ses kaynağını yatay düzlemde lokalize etme yeteneği için kritik önemi olan, binaural bilgilerin büyük çoğunluğunun bütünleştiği ilk yapı ponsta bulunan "superior olivary complex"tir. Çıkan yolda bulunan "medial superior olive (MSO)" ve "lateral superior olive (LSO)" nöronları, her iki kulaktan gelen işitsel bilgileri koklear nükleusta işlendikten sonra alırlar ve özellikle iki kulak arasındaki zaman ve şiddet farklarını karşılaştırırlar. MSO'da bulunan nöronlar kulaklar arası sesin varış zamanı farkına duyarlı iken, LSO'da bulunan nöronlar kulaklar arasındaki ses seviyesi farkına duyarlıdır.

MONAURAL DURUMLAR

Bir kulakta işitme kaybı olması, horizontal lokalizasyon için gerekli olan kulaklar arası ipuçlarını bozar. Tek taraflı işitme kaybı olan bireyler, özellikle de işitme kaybı ileri-çok ileri düzeydeyse, gürültüde dinlemenin ve sesi lokalize etmenin zor görevler olduğunu bildirmektedir.¹⁰ Anket çalışmalarından elde edilen veriler, gürültüde konuşmayı anlama ve loka-

lizasyon sorunlarının bu bireyler için günlük yaşam üzerinde minimum etkiye sahip olduğu şeklindeki alışlagelmiş görüşü çürütmektedir.^{11,12}

Normal işiten bir dinleyicinin bir kulağı tıkanırsa, dinleyici tüm sesleri açık olan kulak tarafına lokalize etme eğiliminde olmaktadır. Belirli bir maturasyon evresinden sonra tek kulağında edinsel işitme kaybı olan bireylerin çoğunun sesleri lokalize edemeyecekleri düşünülmektedir. Slattery ve Middlebrooks, bir kulağında konjenital işitme kaybı bulunan ve diğer kulağı normal işiten 5 bireyi monaural lokalizasyon çalışmasına dâhil etmiştir. Çalışmanın sonucunda; 2 bireyin, kulak tıkaçı takan normal işiten dinleyicilere benzer şekilde, tüm sesleri işiten kulak tarafına lokalize ettiği, diğer 3 bireyin ise oldukça iyi bir lokalizasyon performansı sergilediği gözlenmiştir. Bu 3 bireyin; kafanın her iki tarafındaki ses kaynaklarını, normal işiten kontrol grubundaki bireylerin hata faktörlerine oldukça yakın, kulak tıkaçı takan normal işitme grubundaki bireylerin hatalarından ise çok daha iyi bir doğrulukla lokalize edebildikleri rapor edilmiştir.¹³ Bu durumun muhtemel nedeni olarak; başarılı lokalizasyon performansı gösteren tek taraflı işitme kayıplı bireylerin, normal işiten dinleyiciler tarafından vertikal ve ön/arka lokalizasyon için kullanılan spektral ipuçlarını, horizontal lokalizasyon için de kullanmayı öğrenme ihtimalleri üzerinde yorumlar bulunmaktadır.¹⁴

VERTİKAL LOKALİZASYON

Kulaklar arası zaman ve ses seviyesindeki farklılıklar, bir ses kaynağının orta hat düzlemine göre yer değiştirme açısı için etkili ipuçlarıdır. Ses kaynaklarının horizontal düzlemin ön yarısı ile sınırlandırıldığı bir ortamda dinleyiciden saf bir sesi lokalize etmesi istenirse, dinleyici oldukça doğru bir şekilde yanıt verebilir. Kaynak konumu horizontal düzlem boyunca yer değiştirdiğinde, dinleyici ön/arka karışıklığı yaşamaya başlayacaktır. Kaynak yukarı ve aşağı doğrultuda yer değiştirdiğinde ise saf ses lokalizasyonu oldukça güç olacaktır.¹⁴

Ses kaynağı doğadaki birçok ses gibi nispeten geniş ve düz bir spektruma sahipse, vertikal ve ön/arka lokalizasyon becerisi önemli ölçüde iyileşir. Bu durumda önemli olan spektral aralığın 4 kHz ve üzeri frekansları içermesidir. Baş ve pinna tarafından

bu spektral aralıktaki seslerin filtrelenip şekillendirilmesi, vertikal ve ön/arka eksenlerdeki kaynak konumunu belirlemek için gerekli olan temel spektral ipuçlarını sağlar. Pinnada bulunan kıvrımlar, timpanik membrana gelen ses spektrumundaki spektral tepeler ve çentikleri oluşturan rezonans ve antirezonslar ortaya çıkarır. Bu spektral özellikler, sesin pinnaya geliş açısına ve frekansına göre değişir.¹⁴ Spektral-şekillenmiş ipuçlarına genellikle “monaural spektral ipuçları” da denir, çünkü gerekli spektral analiz her bir kulakta ayrı ayrı gerçekleştirilebilir. Spektral-şekillenmiş ipuçları normal işiten bir dinleyicinin her iki kulağında da mevcuttur, ancak ses kaynağı bir kulağa yakın yerleştirildiğinde, lokalizasyon kararındaki büyük ağırlık, kaynakla aynı taraftaki kulaktan gelen spektral ipuçlarına verilir.¹⁵

Başın boyut ve şeklindeki farklılıklar nedeniyle spektral ipuçları bireyseldir. Spektral şekilli ipuçlarının lokalizasyon için başarılı bir şekilde kullanılması, dinleyicilerin kendi kulaklarının filtre özelliklerine aşina olmalarını ve ses kaynağının spektrumunun nispeten geniş ve düz olmasını gerektirir. Dinleyicilerden 1/6- veya 1/3-oktav bant geçişli sesleri lokalize etmeleri istendiğinde, dinleyicilerin uyarının merkez frekansına göre değişen hatalı vertikal ve ön/arka konumlar bildirdikleri rapor edilmiştir.¹⁴ Bu tür dar bant vertikal lokalizasyon deneyleri, dinleyicinin dar bant sesleri, spektral bir tepe oluşturmak amacıyla pinnaları tarafından filtrelenmiş geniş bant sesler olarak yanlış yorumlama eğiliminde -kaynak spektrumunun dar bant olduğu dinleyici için açık olmasına rağmen olduklarını göstermektedir. Aynı zamanda bu sonuçlar, baş ve kulak şeklinin bireyler arasındaki farklılığına rağmen vertikal lokalizasyon tayininin çoğu kişi arasında benzer olduğunu ve santral sistemde kaynak yerine karşılık gelen spektral şablonların dinleyicilerin deneyimine dayalı olarak ince ayar yapıldığını göstermektedir.

Dikey ve ön/arka düzlemde sesin spektral olarak şekillendiği için değişen özellikleri, yatay düzlemde de aynı şekilde değişmektedir. Bu nedenle spektral şekilli ipuçlarının horizontal lokalizasyona da katkıda bulunması beklenebilir. Bir önceki bölümde bahsedildiği üzere, literatürde spektral şekilli ipuçlarının bazı tek taraflı işitme kayıplı bireyler tarafından horizontal lokalizasyon için kullanıldığına

dair bazı kanıtlar vardır.¹³ Bununla birlikte normal binatural işitmeye sahip dinleyicilerde, kulaklar arası fark ipuçlarının (ITD ve ILD) horizontal konumlama kararında dominant olduğu ve spektral şekilli ipuçlarının etkisinin ya çok az ya da hiç olmadığı gözlenmiştir.¹⁵ Kulaklar arası fark ipuçları (ITD ve ILD), ses kaynağının spektrum özelliklerine, spektral şekilli ipuçlarına göre daha az duyarlıdır. Bu noktadan hareketle, işitsel sistemin mevcut olan en güvenilir ipuçlarını tercih ettiğine ulaşılabılır.

Vertikal lokalizasyon için gerekli olan geniş bant spektral şablon eşleştirmesini gerçekleştirebilecek tek bir beyin sapı çekirdeğine işaret etmek zor olmasına rağmen dorsal koklear nükleustaki hücrelerin spektral çentiklere duyarlı olduğuna dair kanıtlar vardır.¹⁶

UZAK-YAKIN YA DA MESAFE BOYUTUNDAKİ LOKALİZASYON

Bu boyuttaki ses lokalizasyonu, horizontal ve vertikal boyutlardaki kadar keskin değildir. Optimum koşullarda (örneğin mesafe <2 m, geniş bant gürültü patlamaları, yansıtıcı oda akustiği) dinleyicilerin bildirdiği mesafeler, gerçek mesafelerle yakından ilişkili olabilir. Optimum koşulların kullanıldığı durumlarda, tahmin ve gerçek mesafe arasındaki korelasyon katsayısının >0,8 olduğunu raporlayan çalışmalar mevcuttur.¹⁷ Elverişsiz koşulların (örneğin uzak alanlar, randomize seviyelerde sunulan kaydedilmiş sesler, yankısız ortam, öndeki hedef) kullanıldığı çalışmalarda, mesafe yargıları şansa dayalı performans düzeylerini göstermektedir.^{18,19} Dinleyiciler, ~ 1,5 m’den uzak mesafeleri daha yakın ve <1,5 m mesafeleri ise daha uzak bulma eğilimindedir.²⁰ Genellikle hem uzak hem de yakın kaynaklar için uzaklık yargıları, orta hat düzlemindeki seslerden çok yanal sesler için daha doğrudur.^{17,21} Mesafe yargıları, ses kaynağının aşinalığından, kaynak ses basınç seviyesinden, kaynak spektrumundan, kaynağın dinleyiciye göre açısından ve çevrenin akustikinden etkilenir. Görsel ipuçları da ses mesafesi yargılarını etkilemektedir.

Mesafe algısı için temel akustik ipuçları; şiddet (yani dinleyicinin kulaklarına ulaşan ses seviyesi), direkt sesin yansıyan sese enerji oranı ve ILD’dır. Bu ipuçlarının önemi, koşullar arasında büyük farklılıklar gösterir. Şiddet ipucu, bir sesin mesafe ile fiziksel

olarak zayıflamasından kaynaklanır. Yankısız koşullarda bir ses kaynağı ses ürettiğinde, dinleyiciye ulaşan ses şiddeti, mesafenin her iki kat artışında 6 dB sönümlenecektir. Yansıtıcı ortamlarda ise sesin sönümlenme oranı daha düşüktür. Basit olarak, dinleyiciye gelen yüksek şiddetler yakın mesafelerdeki, düşük şiddetler ise uzak mesafelerdeki ses kaynağını bildirir. Ancak kaynak seviyeleri hakkındaki belirsizlik nedeniyle şiddet ipucunun kullanımı karıştırılmaktadır. Kaynağa aşinalık, şiddet ipucunu doğru kullanmak için çok önemlidir. Örneğin yakındaki bir hoparlörden gelen düşük seviyedeki bir ses ile uzaktan gelen bir haykırış dinleyiciye eşit şiddette gelebilir, ancak dinleyici sesleri tanıyabilir ve haykırışın düşük şiddetini daha uzun bir mesafedeki zayıflamaya bağlayabilir.¹⁸ Dinleyiciler, yansıma koşullarının zayıf ve ILD ipuçlarının önemsiz olduğu orta hat düzlemindeki kaynakların uzaklıkları için şiddet ipuçlarına oldukça önem verirler.²¹

Direk sesin yansıyan sese (D/Y) enerji oranı, ofiste ya da sınıf büyüklüğündeki odalarda muhtemelen en güvenilir mesafe ipuçlarıdır. Böyle bir odada, bir dinleyici sesi doğrudan kaynaktan ve dolaylı olarak birden fazla oda yüzeyindeki yansımalarından alacaktır. Öncesinde bahsedildiği gibi doğrudan enerji; mesafe arttıkça azalma eğilimi gösterirken, dinleyiciye ulaşan yansıyan enerji büyük ölçüde kaynak-dinleyici mesafesinden bağımsızdır. Bu nedenlerden dolayı D/Y enerji oranı artan kaynak mesafesi ile azalma eğilimindedir. Belirli bir kulaktaki D/Y oranı, ipsilateral ses kaynakları için maksimum olma eğilimindedir, orta hat kaynak konumları için azalır ve kontralateral konumlar için daha da düşer.^{17,21} Kopčo ve Shinn-Cunningham, küçük bir sınıfta bulunan uzamsal ipuçlarını simüle eden bir çalışmada, 15-170 cm aralığında kaynaklar için mesafe yargılarının D/Y ipuçlarıyla diğer herhangi bir potansiyel ipucundan daha fazla ilişkili olduğunu göstermiştir.¹⁷

ILD'ler esas olarak 1 m'den büyük mesafelerden bağımsızdır, ancak horizontal kaynaklar ~ 1 m'den daha yakına yaklaştıkça ILD'ler belirgin şekilde artabilir. ILD'ler, mesafeden bağımsız olarak orta hat kaynakları için ihmal edilebilir düzeydedir.

Yakın alandaki ILD'ler, alçak frekanslarda bile mevcuttur. Mesafe değerlendirmeleri için ILD'nin kullanılması, potansiyel olarak kaynağın horizontal konumu hakkındaki belirsizlikle karıştırılabilir. Bununla birlikte bu karışıklık, ITD ipuçları ile horizontal konumun tanımlanmasıyla çözülebilir; ITD ipuçları, mesafeden büyük ölçüde bağımsız olarak horizontal konum için güvenilirdir.²² Çalışmalar, ILD'lerin yakındaki kaynakların mesafe yargıları için dominant ipuçları olduğunu ve bunun yankısız koşullar için neredeyse kesinlikle doğru olduğunu ileri sürmüştür.^{14,22} Bununla birlikte çalışmalar, oda yansımaları mevcut olduğunda D/Y ipuçlarının mesafe yargılarına hakim olduğunu göstermektedir.¹⁷

Yukarıda ILD analizinin muhtemel yeri olarak tartışılan LSO dışında özellikle mesafe ipuçlarına duyarlı hiçbir beyin sapı yapısı tanımlanmamıştır.

SONUÇ

Günlük hayatımızda sadece ses kaynağını lokalize etmemize değil aynı zamanda gürültülü ve akustik açıdan kompleks durumlarda da kullandığımız lokalizasyon becerisine yönelik temel bilgiler alana sunulmuştur.

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 üyesi veya üyeleri ile ilişkisi, danışmanlık, bilirkişilik, herhangi bir firmada çalışma durumu, hissedarlık ve benzer durumları yoktur.

Yazar Katkıları

Fikir/Kavram: Aysun Parlak Kocabay, Gonca Sennaroğlu; **Tasarım:** Aysun Parlak Kocabay; **Denetleme/Danışmanlık:** Gonca Sennaroğlu; **Kaynak Taraması:** Aysun Parlak Kocabay; **Makalenin Yazımı:** Aysun Parlak Kocabay; **Eleştirel İnceleme:** Gonca Sennaroğlu.

KAYNAKLAR

1. Keating P, King AJ. Sound localization in a changing world. *Curr Opin Neurobiol.* 2015;35:35-43. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
2. Yost WA, Loisel L, Dorman M, Burns J, Brown CA. Sound source localization of filtered noises by listeners with normal hearing: a statistical analysis. *J Acoust Soc Am.* 2013;133(5):2876-82. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
3. Agterberg MJ, Hol MK, Van Wanrooij MM, Van Opstal AJ, Snik AF. Single-sided deafness and directional hearing: contribution of spectral cues and high-frequency hearing loss in the hearing ear. *Front Neurosci.* 2014;8:188. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
4. Rayleigh L. XII. On our perception of sound direction. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science.* 1907;13(74):214-32. [[Crossref](#)]
5. Stevens SS, Newman EB. The localization of actual sources of sound. *The American Journal of Psychology.* 1936;48(2):297-306. [[Crossref](#)]
6. Sandel TT, Teas DC, Feddersen W, Jeffress LA. Localization of sound from single and paired sources. *The Journal of the Acoustical Society of America.* 1955;27(5):842-52. [[Crossref](#)]
7. Wightman FL, Kistler DJ. The dominant role of low-frequency interaural time differences in sound localization. *J Acoust Soc Am.* 1992;91(3):1648-61. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
8. Macpherson EA, Middlebrooks JC. Listener weighting of cues for lateral angle: the duplex theory of sound localization revisited. *J Acoust Soc Am.* 2002;111(5 Pt 1):2219-36. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
9. Brughera A, Dunai L, Hartmann WM. Human interaural time difference thresholds for sine tones: the high-frequency limit. *J Acoust Soc Am.* 2013;133(5):2839-55. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
10. Firszt JB, Reeder RM, Holden LK. Unilateral hearing loss: understanding speech recognition and localization variability-implications for cochlear implant candidacy. *Ear Hear.* 2017;38(2):159-73. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
11. Gatehouse S, Noble W. The Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale (SSQ). *Int J Audiol.* 2004;43(2):85-99. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
12. Gatehouse S, Akeroyd M. Two-eared listening in dynamic situations. *Int J Audiol.* 2006;45 Suppl 1:S120-4. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
13. Slattery WH 3rd, Middlebrooks JC. Monaural sound localization: acute versus chronic unilateral impairment. *Hear Res.* 1994;75(1-2):38-46. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
14. Middlebrooks JC. Sound localization. *Handb Clin Neurol.* 2015;129:99-116. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
15. Macpherson EA, Sabin AT. Binaural weighting of monaural spectral cues for sound localization. *J Acoust Soc Am.* 2007;121(6):3677-88. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
16. Imig TJ, Bibikov NG, Poirier P, Samson FK. Directionality derived from pinnae spectral notches in cat dorsal cochlear nucleus. *J Neurophysiol.* 2000;83(2):907-25. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
17. Kopčo N, Shinn-Cunningham BG. Effect of stimulus spectrum on distance perception for nearby sources. *J Acoust Soc Am.* 2011;130(3):1530-41. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
18. Gardner MB. Distance estimation of 0 degrees or apparent 0 degree-oriented speech signals in anechoic space. *J Acoust Soc Am.* 1969;45(1):47-53. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
19. Holt RE, Thurlow WR. Subject orientation and judgment of distance of a sound source. *J Acoust Soc Am.* 1969;46(6):1584-5. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
20. Zahorik P, Brungart DS, Bronkhorst AW. Auditory distance perception in humans: A summary of past and present research. *ACTA Acustica United with Acustica.* 2005;91(3):409-20. [[Link](#)]
21. Zahorik P. Assessing auditory distance perception using virtual acoustics. *J Acoust Soc Am.* 2002;111(4):1832-46. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
22. Algazi VR, Duda RO, Morrison RP, Thompson DM. Structural composition and decomposition of HRTFs. *IEEE.* 2001:103-6. [[Link](#)]