

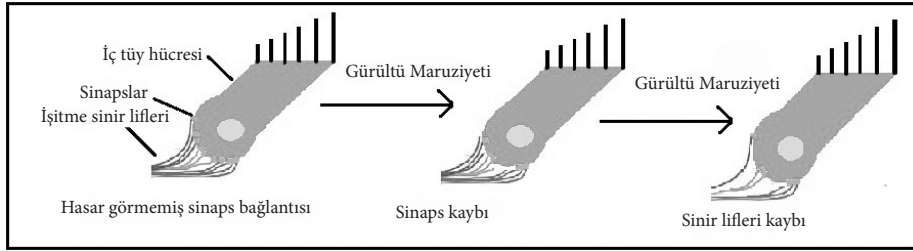
Bölüm 3

GÜRÜLTÜYE BAĞLI GİZLİ İŞİTME KAYBINDA DAVRANIŞSAL DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

Bünyamin ÇILDIR¹

GİRİŞ

Sensörinöral işitme kayıpları dünya genelinde 320 milyon insandan daha çoğunun etkilendiği gürültü maruziyetine bağlı işitme güçlüğü'nün en yaygın nedenlerinden birisidir (1). Sensörinöral işitme kaybı iç kulağın iç ve dış tüy sensör hücrelerinin ve/veya sipiral gangliyon nöranlarının bozulduğu edinilmiş işitme bozukluğudur (2). Bu hücreler sentral işitsel yollardaki akustik bilginin fark edilmesi, kodlanması ve iletilmesinden sorumludur (3). İşitsel hassasiyetleri normal olan insanlar üzerinde yapılan çalışmaların birçoğunda bu bireylerin gürültüde anlama güçlüğü yaşadıkları ve algısal bir bozukluğunun bulunduğu belirtilmiştir (3). Bu tip algısal bozukluğa sentral işitsel yollardaki bozukluğa tanılamada çok önemli olan işitsel işleme bozukluğu adı verilir (4). Gürültü maruziyeti sonrası işitsel işlevi etkileyebilecek en önemli etki tüy hücre kaybı veya hasarıdır (5). Gürültü maruziyeti sonrası koklear iç tüy hücre ve işitme sinir lifleri arasındaki sinaps kaybının örneği Şekil 1 de gösterilmiştir.



Şekil 1. Gürültü maruziyeti sonrası koklear iç tüy hücre ve işitsel sinir liflerindeki iç tüy hücreleri arasındaki sinaps kaybını

Anlık gürültü maruziyetleri sonrası işitme eşiklerinde herhangi bir anatomik değişiklik olmaksızın 24 saat süren ve işitme duyarlılığının geri kazanıldığı geçici eşik kaymaları veya işitme duyarlılığının bozulduğu kalıcı eşik kaymaları meydana gelebilmektedir (6). Gürültü maruziyeti sonrası çoğu durumda geçici eşik kayması

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi Dil ve Konuşma Terapisi Bölümü, bunyamin.cildir@gmail.com

ile birlikte iç tüy hücreleri ile tip 1 aferent sinir lifleri arasında *ribbon sinapsının* bozulmasına neden olmaktadır (7). Ribeye olarak adlandırılan bir proteinden oluşan ribbon; memeli kokleasında iç tüy hücreleri ile spiral ganglion nöronları arasındaki presinaptik bağlantılar ile karakterize edilmesi sebebiyle ribbon sinaps olarak adlandırılır. Sinapslar hasar gördüğünde sinir lifleri dejenere olur ve bu süreç koklear sinaptopati veya gizli işitme kaybı olarak adlandırılır. Literatürde gizli işitme kaybının mekanizması ve tanılanması açısından birçok değerlendirme aracı kullanılmıştır (8-10). Alçak ve yüksek frekans odyometre testleri, gürültüde ayırt etme testleri ve modülasyon fark etme testleri gibigürültüde odyolojide kullanılan davranışsal değerlendirme yöntemleri kullanarak gizli işitme kaybının tanılanmasına çalışılmıştır (8, 11).

Gürültü Maruziyeti Sonrası Gizli İşitme Kayıpları

Gürültü, yaş, periferik nöropati ve ototoksik ilaç kullanımı sonrası periferik işitme sisteminde meydana gelen değişiklikler iç kulak tüy hücrelerinin sinir liflerinde iletilen uyarıların bozulmasına neden olsa da, işitsel hassasiyet normal kalmasına rağmen algısal işitmede (özellikle arka plan gürültüsünde) bozulmalar meydana gelebilmektedir (12). Gürültüye bağlı işitme kayıpları dünya genelinde görülen en önemli mesleki sağlık sorunlarından birisidir (13). Yüksek şiddetteki seslerin koklear tüy hücrelerinde bozulmalara yol açmasına ve bu bozukluğun bireylerin işitme eşiklerinde meydana gelmeyip işitsel hassasiyeti bozduğu belirtilmiştir (14). Gizli işitme kaybı yapılan hayvan çalışmalarında (fare, sıçan ve kobay faresi), anlık üretilen orta şiddette (2 saat için 100 dB SPL) gürültü maruziyetinin işitme eşiklerinde geçici bir değişim olduğu ve birkaç gün veya hafta içerisinde kendiliğinden düzeldiği belirtilmiştir (7, 15-17). Çalışanların sağlığının korunması açısından maruz kalıp tolere edebilecekleri gürültü şiddet ve süreleri dB (A) skalasına göre Tablo 1’ de verilmiştir (18).

Tablo 1. İnsanların maruz kaldıkları gürültü düzeyleri ve günlük en çok çalışma süreleri

En yüksek gürültü düzeyi	80	90	95	100	105	110	115
Çalışma süresi (Saat/Gün)	8	4	2	1	0.5	0.25	0.125

Geçici eşik değişimi sonrası eşik üstü ses seviyelerinde koklear tepkiler önemli ölçüde değişir ve işitsel sinir liflerinin sayısının veya ateşleme hızının kalıcı olarak azalmasıyla birlikte işitsel beyin sapı cevaplarının I. dalga genliğinde azalmalar meydana gelir (19-21). Bu azalma genel olarak orta ve yüksek şiddet uyarıların cevaplarında görülür (22). Yapılan bir deney hayvanı çalışmasında, 100 dB SPL şid-

detinde 2 saat gürültü maruziyeti sonrası (8- 16 kHz frekanslarda) iç tüy hücreleri ve işitme sinir lifinde % 50 oranında sinaps kayıp meydana geldiği belirtilmiştir (22, 23), farklı bir deneysel çalışmada ise %80 'den fazla işitsel sinir liflerinin kaybı olmadan işitme eşiklerini etkilemeyeceği belirtilmiştir (12). Gürültüye bağlı gizli işitme kaybı sonrası azalmış nöral ateşlenme, arka alan gürültüsünde sesleri algılama yeteneğindeki bozukluğun yanı sıra eşik üstü seslerin zamansal özelliklerinin kodlanmasını değiştirebileceği belirtilmiştir (16). İşitsel sinir liflerindeki kayıp benzer odyograma sahip kişiler arasında özellikle gürültülü ortamlarda sensörinöral işitme kayıplarında yaygın bir şikâyet olan farklı konuşma anlama becerilerine sahip olduklarını açıklar. Aynı zamanda merkezi sinir sistemine giden bilgi yollarında azalma meydana geldiği için sessiz ortamlarda herhangi bir sorun yaşamazken, arka alan gürültüsü olan daha karmaşık sesleri anlamlandırmada zorluk yaşadıkları belirtilmiştir (24). Yapılan çalışmaların birçoğunda gürültü maruziyeti sonrası hem hayvanların hem de insanların gizli işitme kaybına sahip olabileceğini göstermiştir (25, 26). İnsanlarda yapılan çalışmalarda, yüksek şiddette gürültü maruziyeti sonrası bireylerin işitme eşiklerinin normal sınırlara yakın olmasına rağmen, gürültüde ayırt etme testlerinde gürültü maruziyeti olmayan bireylere göre daha büyük zorluklar yaşadıkları ve skorlarının düşük olduğu belirtilmiştir (8, 27). Koklear *synaptopaty* birçok *rodent* türü modellerinde gösterilmiştir. Yüksek şiddetli seslerde hasara uğrayan koklear dış tüy hücre bozukluğunu tespit etmede odyogram kullanılsa da, kokleadaki iç tüy hücre ve nöral bozukluklarını tam olarak yansıtmadığı belirtilmiştir (12, 23). Gürültü maruziyeti sonrası ortaya çıkan gizli işitme kaybının temelinde yaşam boyu gürültü maruziyeti hakkında yanlış bilgilendirilme, yaş ve zaman içerisinde merkezi sinir sistemindeki değişiklikler bu kaybın fizyolojik ve davranışsal işitme üzerinde birçok neden olabilir.

Gizli İşitme Kaybında Davranışsal Değerlendirme

Yüksek Frekans Odyometre Testleri

Odyolojide kullanılan normal saf ses işitme eşikleri, gürültü maruziyeti, yaşa bağlı koklear tüylü hücre kaybı gibi koklea da veya sinoptopati gibi merkezi işitme sistemindeki nörodejenarasyonunu belirlemede yetersizdir. Ancak, bazı çalışmalar gürültüye maruz kalma, ototoksisite ve yaşa bağlı nöral kayıpların etkili davranışsal testlerden birisi yüksek frekans odyometre testidir (28-31). Sessiz ortamda konuşmayı algılamakta gerekli fonetik bilgiyi anlamak için 6 kHz altındaki frekanslara ihtiyaç duyulsa da, konuşma anlaşılabilirliğinin etkileyebileceği en önemli bilgilerin yüksek frekans bölgelerinde olduğunu belirtilmiştir (30-32). Gürültüye maruz kalmış kişilerde gizli işitme kaybını değerlendirmek için birçok araştırma-

cı yüksek frekans eşiklerinin değerlerindeki değişimi gösterilerek araştırılmıştır (8, 33, 34). Liberman ve ark. gürültü maruziyeti olan bireylerde 8-16 kHz arası yüksek frekans odyometrik eşiklerde düşüş olduğunu belirtmiştir (8). Yapılan bu araştırmalara göre, yüksek ve düşük frekans bölgesinde daha az sayıda işitsel sinir lifi bulunduğunu ve bu bölgelerde *ribbon sinaps* sayısının çok fazla olduğunu bu nedenle yüksek frekans eşiklerinde kayıplar meydana gelebileceği belirtilmiştir (35). Gürültüye bağlı gizli işitme kaybının özellikle koklear iç tüylü hücreler ile işitsel sinir lifleri arasındaki *sinaps* kaybına neden olması sebebiyle bu bozukluğu değerlendirmek için yapılacak test bataryasına yüksek frekans odyometrenin de eklenmesi tanının güvenilirliğini artıracacağı için önerilmiştir.

Modülasyonu Fark Etme Testi

Modülasyon genel olarak, bir taşıyıcı dalganın uyarının şiddetine göre genlik, frekans ve faz gibi bazı özelliklerini değiştirme işlemidir. İletilecek uyarının modüle edilmeden önceki ilk halini, uyarının genlik, frekans ve faz açısı ile değiştirerek farklı uyarın dalgalarını elde edebiliriz. Genlik modülasyonu ve frekans modülasyonu en çok tercih edilen ve kullanılan modülasyon yöntemleridir (36). Genlik modülasyonunda, taşıyıcı uyarının frekansı sabit kalırken, genliği değiştirilir. Frekans modülasyonunda ise genlik sabit kalırken taşıyıcı frekans modülasyon süresince değişir (37). Modülasyon fark etme testleri, gürültüye maruziyet sonrası veya yaşa bağlı olarak gizli işitme kaybının etkilerini değerlendirmek için kullanılmıştır. Bharadwaj ve ark. (2015) çınlaması olan ve olmayan normal işitme eşiğine sahip bireylerde genlik modülasyonu fark etme testini kullanarak temporal kodlama becerilerinin davranışsal ölçümleri üzerine performansla ilişkili bireysel farklılıklar olduğunu belirtmişlerdir (3). Prendergast ve ark. (2017) genlik modülasyon fark etme eşikleri ile gürültüye maruz kalma arasında ters bir ilişkinin olduğunu belirtse de, bu durumun gürültünün karakteristiğine ve süresine göre değiştiği belirtilmiştir (14). Paul ve ark. (11), yüksek şiddette gürültüye maruz kalan bireyler için genlik modülasyon fark etme eşiklerinin azaldığını ve gürültüye maruz kalma süresinin artmasıyla modülasyon fark etme eşiklerinin arttığını belirtmiştir. Ayrıca, çınlaması olan bireylerde yüksek spontane işitsel sinir liflerindeki *sinaps* kaybı nedeniyle özellikle çınlama frekanslarında genlik modülasyon fark etme eşisinin tespit etmenin çok zor olduğunu belirtmiştir (38). Gürültüye maruz kalan bireylerin davranışsal değerlendirmelerinde genlik modülasyonların daha düşük kortikal kodlamaya sahip olması sebebiyle gizli işitme kayıplı bireylerin tespitinde kullanılması önerilmiştir. Ancak genlik modülasyon fark etme testlerinin bazı sınırlılıklarının olması sebebiyle kullanılan uyarılara arka alan gürültüsü, daha düşük modülasyon derinliği, rasgele modülasyonlar gibi bazı zorluklar eklenerek

değerlendirme yapılabilir. Düşük modülasyon derinlikleri, yüksek spontane oranlı sinir liflerinin devreye girmesini engelleyecektir. Genlik modülasyon fark etme testinde kullanılan gürültü seviyesinin 40 dB spektrumu olması yüksek spontane oranlı sinir liflerinin katkısını azaltmak ve düşük spontane oranlı sinir liflerine bağlanan işitsel sistemdeki kodlama zarfını engellemek için seçilmiş ortalama bir seviye olabilir (39).

Gürültüde Konuşma Testleri

Gürültü maruziyeti veya yaşa bağlı işitme kayıplarında gürültü arka planında konuşma anlaşılabilirliğinin azalması, nöral ve sensor kayıpların en yaygın bulgusudur. Gürültüde konuşma anlaşılabilirliği için Türkçe matris testi, gürültüde işitme testi veya gürültüde konuşma algısı testi gibi kullanılan birçok test bulunmaktadır. Tanıma görevinde karmaşık konuşma, geniş bant gürültüsü ve konuşma şeklindeki gürültü gibi farklı gürültü türleri kullanılmıştır (40, 41). Megarbane ve Fuente ve Grose, gürültü maruziyeti sonrası çalışma belleği ve dikkat gibi gürültülü konuşma ile ilişkili işitsel olmayan bazı faktörlerde daha iyi olan bireylerin gürültüde konuşma algısı test eşiklerinin daha iyi olduğu ancak gürültü maruziyeti olan bireylerle olmayan bireyler arasında anlamlı bir farklılığın olmadığı belirtilmiştir. Gizli işitme kayıplı araştırmaların birçoğunda gürültüye maruz kalmış bireylerin gürültülü arka planında veya karmaşık konuşma görevlerinde konuşma ayırt etme skorlarının bozulduğu ve bu durumun yüksek eşige sahip ve düşük spontane oranlı sinir liflerinden kaynaklandığı belirtilmiştir. Gürültüde konuşma anlaşılabilirliğindeki bozukluk gizli işitme kaybı veya santral nöral bozukluklar gibi zamansal işlemelemedeki bir bozukluk ile ilişkilidir (42). Bu nedenle, gizli işitme kaybının değerlendirilmesinde yüksek duyarlılığa sahip olması sebebiyle gürültüde konuşma testlerinin de kullanılması gerektiği önerilmiştir.

Kulaklar Arası Faz Farkı

Gelen sesler periyodik ve sürekli ise işitme sistemi, lateralizasyon ve lokalizasyon için kullanılan kulaklar arası zaman farklılıklarını veya kulaklar arası faz farklılıklarını ayırt edebilir. Kulaklar arası faz farklılıkları, *bilateral* zamansal işlemelemin keskinliği ve duyarlılığı için önemlidir (43). Kulaklar arası zaman ve faz farklılıkları, zamansal ve faz ipuçlarının kodlanması, nöral aktivitenin uyarıcı dalga formuyla ilişkili olduğu için zamansal kodlama becerisinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Aynı zamanda, bu testin konuşma veya konuşma sesleri gibi uyarıcıların arka plan gürültüsündeki seslerden algısal olarak ayrılmasına katkıda bulunduğu düşünülmektedir (44). Prendergast ve ark. farklı gürültü maruziyeti olan guruplarda kulaklar arası faz farkına bakarak, yüksek frekansta gürültüye maruz

kalan grupta kulaklar arası faz farkı eşiklerinin yüksek eşikler bulurken, düşük frekansta gürültüye maruz kalan grupta eşiklerin daha düşük olduğunu bulmuştur (14). Grose ve ark. yaptıkları çalışmalarında gürültüye maruziyet miktarlarına göre (daha az maruziyet ve daha fazla maruziyet) grupların kulaklar arası faz farklılığı eşikleri arasında anlamlı bir ilişki olmadığını belirtmişlerdir(19). Ancak tüm çalışmalarda, farklılıklar ortaya çıkması test protokollerinin birbirinden farklı olmasından kaynaklanabileceği düşünülmüş ve bu durumda kulaklararası zaman ve faz farkı üzerine daha fazla çalışma yaparak standart bir test bataryası haline getirilmesi gerekmektedir. Sonuç olarak gürültü maruziyeti sonrası meydana gelebilecek olası bir işitme kaybı durumunu ortaya çıkara bilmek için bu davranışsal testlerin bir arada yapılması daha güvenilir sonuçların elde edilmesine yardımcı olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Olusanya BO, Neumann KJ, Saunders JE. The global burden of disabling hearing impairment: a call to action. *Bulletin of the World Health Organization*. 2014;92:367-73.
2. Starr A, Sininger YS, Pratt H. The varieties of auditory neuropathy. *Journal of basic and clinical physiology and pharmacology*. 2000;11(3):215-30.
3. Bharadwaj HM, Masud S, Mehraei G, Verhulst S, Shinn-Cunningham BG. Individual differences reveal correlates of hidden hearing deficits. *Journal of Neuroscience*. 2015;35(5):2161-72.
4. Chermak GD. *Central auditory processing disorders*. 1997.
5. Chen G-D, Fechter LD. The relationship between noise-induced hearing loss and hair cell loss in rats. *Hearing research*. 2003;177(1-2):81-90.
6. Durch JS, Joellenbeck LM, Humes LE. *Noise and military service: Implications for hearing loss and tinnitus*: National Academies Press; 2006.
7. Song Q, Shen P, Li X, Shi L, Liu L, Wang J, et al. Coding deficits in hidden hearing loss induced by noise: the nature and impacts. *Scientific reports*. 2016;6(1):1-13.
8. Liberman MC, Epstein MJ, Cleveland SS, Wang H, Maison SF. Toward a differential diagnosis of hidden hearing loss in humans. *PloS one*. 2016;11(9):e0162726.
9. Manis PB, Campagnola L. A biophysical modelling platform of the cochlear nucleus and other auditory circuits: from channels to networks. *Hearing research*. 2018;360:76-91.
10. Seth AK, Barrett AB, Barnett L. Granger causality analysis in neuroscience and neuroimaging. *Journal of Neuroscience*. 2015;35(8):3293-7.
11. Paul BT, Bruce IC, Roberts LE. Evidence that hidden hearing loss underlies amplitude modulation encoding deficits in individuals with and without tinnitus. *Hearing Research*. 2017;344:170-82.
12. Lobarinas E, Salvi R, Ding D. Insensitivity of the audiogram to carboplatin induced inner hair cell loss in chinchillas. *Hearing research*. 2013;302:113-20.
13. Johnson TA, Cooper S, Stamper GC, Chertoff M. Noise exposure questionnaire: A tool for quantifying annual noise exposure. *Journal of the American Academy of Audiology*. 2017;28(1):14-35.
14. Prendergast G, Guest H, Munro KJ, Kluk K, Léger A, Hall DA, et al. Effects of noise exposure on young adults with normal audiograms I: Electrophysiology. *Hearing research*. 2017;344:68-81.

Güncel Odyoloji ve Dil Konuşma Bozuklukları Çalışmaları

15. Shi L, Chang Y, Li X, Aiken SJ, Liu L, Wang J. Coding deficits in noise-induced hidden hearing loss may stem from incomplete repair of ribbon synapses in the cochlea. *Frontiers in neuroscience*. 2016;10:231.
16. Lobarinas E, Spankovich C, Le Prell CG. Evidence of “hidden hearing loss” following noise exposures that produce robust TTS and ABR wave-I amplitude reductions. *Hearing research*. 2017;349:155-63.
17. Hickox AE, Larsen E, Heinz MG, Shinobu L, Whitton JP. Translational issues in cochlear synaptopathy. *Hearing research*. 2017;349:164-71.
18. OSHA ONE. Hearing Conservation Amendmend. *Federal Register*. Occupational Safety and Health Administration (OSHA). 1983;48:9738-83.
19. Grose JH, Buss E, Hall Iii JW. Loud music exposure and cochlear synaptopathy in young adults: Isolated auditory brainstem response effects but no perceptual consequences. *Trends in hearing*. 2017;21:2331216517737417.
20. Johannesen PT, Buzo BC, Lopez-Poveda EA. Evidence for age-related cochlear synaptopathy in humans unconnected to speech-in-noise intelligibility deficits. *Hearing research*. 2019;374:35-48.
21. Marmel F, Cortese D, Kluk K. The ongoing search for cochlear synaptopathy in humans: masked thresholds for brief tones in threshold equalizing noise. *Hearing research*. 2020;392:107960.
22. Lin HW, Furman AC, Kujawa SG, Liberman MC. Primary neural degeneration in the Guinea pig cochlea after reversible noise-induced threshold shift. *Journal of the Association for Research in Otolaryngology*. 2011;12(5):605-16.
23. Kujawa SG, Liberman MC. Adding insult to injury: cochlear nerve degeneration after “temporary” noise-induced hearing loss. *Journal of Neuroscience*. 2009;29(45):14077-85.
24. Chambers AR, Resnik J, Yuan Y, Whitton JP, Edge AS, Liberman MC, et al. Central gain restores auditory processing following near-complete cochlear denervation. *Neuron*. 2016;89(4):867-79.
25. Hickman T, Smalt C, Bobrow J, Quatieri T, Liberman M. Blast-induced cochlear synaptopathy in chinchillas. *Scientific reports*. 2018;8(1):1-12.
26. Bressler S, Goldberg H, Shinn-Cunningham B. Sensory coding and cognitive processing of sound in Veterans with blast exposure. *Hearing research*. 2017;349:98-110.
27. Kujala T, Shtyrov Y, Winkler I, Saher M, Tervaniemi M, Sallinen M, et al. Long-term exposure to noise impairs cortical sound processing and attention control. *Psychophysiology*. 2004;41(6):875-81.
28. Tange R, Dreschler W, Van der Hulst R. The importance of high-tone audiometry in monitoring for ototoxicity. *Archives of oto-rhino-laryngology*. 1985;242(1):77-81.
29. Pienkowski M. On the etiology of listening difficulties in noise despite clinically normal audiograms. *Ear and Hearing*. 2017;38(2):135.
30. Badri R, Siegel JH, Wright BA. Auditory filter shapes and high-frequency hearing in adults who have impaired speech in noise performance despite clinically normal audiograms. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2011;129(2):852-63.
31. Le Prell CG, Spankovich C, Lobarinas E, Griffiths SK. Extended high-frequency thresholds in college students: effects of music player use and other recreational noise. *Journal of the American Academy of Audiology*. 2013;24(08):725-39.
32. Moore D, Hunter L, Munro K. Benefits of extended high-frequency audiometry for everyone. *The Hearing Journal*. 2017;70(3):50-2.
33. Saunders GH, Haggard MP. The clinical assessment of obscure auditory dysfunction--1. Auditory and psychological factors. *Ear and hearing*. 1989;10(3):200-8.
34. Schaette R, McAlpine D. Tinnitus with a normal audiogram: physiological evidence for hidden hearing loss and computational model. *Journal of Neuroscience*. 2011;31(38):13452-7.

Güncel Odyoloji ve Dil Konuşma Bozuklukları Çalışmaları

35. Viana LM, O'Malley JT, Burgess BJ, Jones DD, Oliveira CA, Santos F, et al. Cochlear neuropathy in human presbycusis: Confocal analysis of hidden hearing loss in post-mortem tissue. *Hearing research*. 2015;327:78-88.
36. Frenzel LE. *Principles of electronic communication systems*: McGraw-Hill (Boston); 2007.
37. Marsch P, Penttinen J. Modulation and Demodulation. *The Telecommunications Handbook: Engineering Guidelines for Fixed, Mobile and Satellite Systems*. 2015:261-80.
38. Paul BT, Waheed S, Bruce IC, Roberts LE. Subcortical amplitude modulation encoding deficits suggest evidence of cochlear synaptopathy in normal-hearing 18–19 year olds with higher lifetime noise exposure. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2017;142(5):EL434-EL40.
39. Zilany MS, Bruce IC, Carney LH. Updated parameters and expanded simulation options for a model of the auditory periphery. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2014;135(1):283-6.
40. Hutcherson RW, Dirks DD, Morgan DE. Evaluation of the speech perception in noise (SPIN) test. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery*. 1979;87(2):239-45.
41. Nilsson M, Soli SD, Sullivan JA. Development of the Hearing in Noise Test for the measurement of speech reception thresholds in quiet and in noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 1994;95(2):1085-99.
42. Ruggles D, Bharadwaj H, Shinn-Cunningham BG. Why middle-aged listeners have trouble hearing in everyday settings. *Current Biology*. 2012;22(15):1417-22.
43. Wightman FL, Kistler DJ. The dominant role of low-frequency interaural time differences in sound localization. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 1992;91(3):1648-61.
44. Moore BC, editor *The importance of temporal fine structure for the intelligibility of speech in complex backgrounds*. *Proceedings of the International Symposium on Auditory and Audiological Research*; 2011.