

Farklı frekanslardaki ve şiddetlerdeki işitsel uyaranların insanda basit reaksiyon zamanına etkileri

The effects of auditory stimuli with varying frequency and intensity on human simple reaction time

Binboğa E, Pehlivan M, Çelebi G

Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı, İzmir

Özet

İşitsel, görsel ve taktıl uyaranlara reaksiyon zamanı (RZ) üzerinde birçok çalışma yapılmıştır. Ancak basit reaksiyon zamanının (BRZ) değişik şiddet düzeylerinde ve frekanslardaki işitsel uyaranlardan nasıl etkilendiği iyi bilinmemektedir. Özellikle, ses frekansının BRZ'ye etkisi ile ilgili çalışmalar nadirdir. Bu çalışma ile hangi frekans ve şiddet düzeyindeki ses uyaranlarının BRZ'yi en çok etkilediğini saptamayı amaçladık. Bu amaçla denekler cinsiyete ve yaşa göre gruplandırıldı. Her grup için ses şiddet düzeyi ve frekansı değiştirilerek BRZ'ler ölçüldü. Deneye sağlıklı, erişkin ve bilinen bir işitsel rahatsızlığı olmayan yaşları 17-24 arasında değişen 20 kadın ve 20 erkek denek (her iki grupta ortalama yaş: 20.65) dahil edildi. Ses uyaranları olarak, insan kulağının en duyarlı olduğu frekans aralığında yer alan 1kHz, 2kHz ve 4kHz frekanslı saf ses tonları ile bu aralığın dışında kalan 500 Hz frekanslı saf ses tonu kullanıldı. Her ses üç değişik şiddet düzeyinde (60, 70 ve 80 dB) uygulandı. BRZ'nin şiddet düzeyi artışıyla anlamlı ölçüde kısaldığı görüldü. BRZ'nin frekansa göre de anlamlı olarak değiştiği saptandı. Şiddet düzeyi ve cinsiyet ayırımına gidilmeden tüm verilerin genel ortalaması alındığında BRZ'nin en kısa 500 Hz'de, en uzun 2 kHz'de olduğu gözlemlendi. Kullanılan uyaranlar arasında 500 Hz - 80 dB şiddet düzeyli sesin insanda işitsel uyaranlara reaksiyon vermede en etkili uyaran olduğu sonucuna varıldı. Tüm deneklerin tüm uyaranlara reaksiyon zamanları 160- 190 ms aralığında bulundu. Bu reaksiyon zamanı aralığı benzer çalışmalardan elde edilen değerlerle uyumludur.

Anahtar sözcükler: İşitsel reaksiyon zamanı, işitme eşiği, ses frekansı, ses şiddet düzeyi.

Summary

Several studies have been performed on the reaction time stimuli of different modalities in man. However, studies concerned with how 'Simple Reaction Time' (SRT) is affected by auditory stimuli with different intensities and frequencies are rare. In this study, we aimed at determining the pure sound tone of which frequency and intensity affects SRT the most. For this purpose, the subjects were classified according to age and sex and SRTs were measured by changing the sound intensity and frequency one at a time. Healthy male and female adults, aged between 17 and 24 (mean age: 20.65 yrs in both groups) were included in the study. Sound frequencies used were 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz and 4 kHz. Each pure tone was applied at three different intensities; 60, 70 and 80 dB. It was observed that SRT gets shorter statistically significantly as the stimulus intensity is increased and that SRT changes significantly with frequency. The mean reaction time of all subjects regardless of sex for all intensities was calculated. It was shortest for 500 Hz and longest for 2 kHz. It has been concluded that among the stimuli used in this study the tone beep with a frequency of 500 Hz and intensity level 80 dB is the most effective stimulus which causes the shortest auditory reaction time in our subjects. Simple reaction times of all subjects regardless of gender to all stimuli fell in the range of 160- 190 ms.

Key words: Auditory reaction time, hearing threshold, sound frequency, sound intensity level.

Yazışma adresi: Erdal BINBOĞA, Ege Üniversitesi Biyofizik Anabilim Dalı, İzmir

Makalenin geliş tarihi : 10.10.2006; kabul tarihi : 15.01.2007

Giriş

Ses, düşünsel beceri ve hızlı karar vermeyi gerektiren durumlarda, özellikle uyarı sinyali olarak kullanıldığında önemli bir uyarandır. Özellikle saniyeler hatta milisaniyeler düzeyinde istemli davranış gerektiren durumlarda sesin türü, frekansı ve şiddet düzeyi performans üzerinde etkilidir [1,2,3,4]. Bu gibi durumlar için karar verme mekanizmalarının ses uyarılarından nasıl etkilendiğini araştırmak performansı geliştirmek açısından önemli bilgiler sağlamaktadır [5]. Reaksiyon zamanı (RZ), karar vermenin ve eyleme başlama hızının bir ölçüsüdür [6] ve söz konusu bilgileri elde etmenin en iyi yollarından biridir [7,8]. Uyarının verildiği an ile kişinin buna istemli olarak verdiği yanıtın başlangıcı arasında geçen süre RZ olarak tanımlanır. Refleks zamanı (hızlı bileşen) ve şartlı refleks zamanı (yavaş bileşen) olarak iki bileşene sahiptir [8,9]. RZ üç tiptir, bunlardan biri basit reaksiyon zamanıdır (BRZ) [6,7,8].

Pek çok araştırmacı değişik amaçlarla RZ'yi ölçmüşlerdir. Bu çalışmaların bir bölümü işitsel ve görsel uyarı şiddet düzeylerinin RZ'yi nasıl etkilediği ile ilgilidir [10,11]. Bazı çalışmalarda, RZ'nin yaş ile nasıl değiştiği incelenmiş [12], kiminde ise yorgunluğun RZ üzerindeki etkisi araştırılmıştır [13]. Ayrıca sigara ve alkol gibi maddelerin [4,14,15] ve çeşitli hastalıkların [16,17,18,19] RZ üzerindeki etkilerini araştırmaya yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda işitsel, görsel veya iki tip uyarı kombine olarak uygulanmıştır. Sadece işitsel uyarıların kullanıldığı durumlar nadir olup kullanılan şiddet düzeyleri ve frekanslar da bir çalışmadan diğerine oldukça farklıdır. Ses frekansının RZ'yi etkilemesi ile ilgili araştırmalarda birbiriyle çelişkili görüşler bildirilmektedir [10,19,20]. Özellikle insan kulağının en duyarlı olduğu 1 - 4 kHz aralığında bulunan frekansların [21,22] RZ'yi ne şekilde etkilediği yeterince aydınlatılmamıştır. Dolayısıyla bu aralıktaki ses frekansları ile RZ arasındaki ilişki araştırılmalıdır.

Bu çalışmadaki amacımız, genç erişkin kadın ve erkeklerde insan kulağının en duyarlı olduğu frekans aralığında frekansın ve şiddet düzeylerinin BRZ'yi nasıl etkilediğini araştırmaktır.

Gereç ve Yöntem

Çalışma, yaşları 17-24 arasında değişen 20 erkek ve 20 kadın (her iki grupta yaş ortalaması: 20.65) gönüllü öğrenci üzerinde yapıldı. 2002 Helsinki sözleşmesi gereği araştırma kapsamına alınan deneklerin hakları deney öncesi kendilerine anlatılarak sözlü ve yazılı onamları alındı. Yapılan kulak muayenelerinde deneklerin hiçbirinde işitme sorunu saptanmadı. Deneklerden, deneyden 1 gün öncesinde yorgunluğa neden olacak fiziksel egzersiz yapmamaları ve deney gününden önce en az 8 saat uyumaları istendi. Sigara veya alkol kullanan veya

herhangi bir ilaç tedavisi altında olan bireyler deneylere dahil edilmedi. Çalışmada 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, ve 4 kHz frekanslarında olmak üzere 4 ayrı ses tonu kullanıldı. Her frekanstaki sesler 60, 70 ve 80 dB olmak üzere 3 ayrı şiddet düzeyinde uygulandı. BRZ ölçümleri ses geçirimi minimum olan loş bir odada gerçekleştirildi. Ses uyarıları deneye bir kulaklık üzerinden, dik oturur pozisyonda ve uyarana en kısa zamanda yanıt vermek üzere devamlı olarak kullandığı elin işaret parmağı dokunma ile aktive olan bir anahtarın metal plakasına basmaya hazır halde beklerken verildi. Uyarılar rasgele anlarda 4 ile 10 s aralıkla uygulandı. Uyarının uygulandığı an ile buna verilen cevap arasında geçen süre BRZ olarak kaydedildi. Her uyarının süresi (bip) 200 ms idi ve her uyarana reaksiyon zamanı 20 kez ölçüldü ve ortalamaları alındı.

Ses uyarıları IBM uyumlu bir bilgisayarda DASYLab 5.02.00 (Dasytec USA, 11 Eaton Road, PO box 748, Amherst, NH 03031-0748 USA) çok amaçlı laboratuvar paket programı ile amaca uygun şekilde üretildi ve sistem, ses şiddet düzeyleri bir desibelmetre ile kulaklık çıkışlarından ayrı ayrı ölçülerek kalibre edildi. Deneklerin verdiği yanıt sinyalleri de aynı programla bilgisayar ortamına kaydedildi. Frekans ile cinsiyet ve şiddet düzeyi ile cinsiyet arasındaki ilişki tekrarlanan ölçümler için varyans analizi ile değerlendirildi. Şiddet düzeyleri ve frekanslar arasındaki istatistiksel önemlilik düzeyleri Bonferroni testi ile araştırıldı.

Bulgular

Her iki cinsiyet için aynı frekansta fakat farklı şiddet düzeylerindeki seslere BRZ'ler anlamlı derecede farklı bulundu ($p < 0,001$) (Tablo 1). Tüm frekanslar için şiddet düzeyleri arttırıldıkça BRZ'nin anlamlı derecede kısaldığı saptandı ($p < 0,001$).

Tablo 2, her iki cinsiyet için BRZ'nin hangi frekansta ve şiddet düzeyinde maksimum ve minimum olduğunu göstermektedir.

Her iki cinsiyet için aynı şiddet düzeyinde fakat farklı frekanstaki seslere BRZ'nin istatistiksel olarak anlamlı derecede farklı olduğu görüldü ($p < 0,05$). Şiddet düzeyi aynı frekansları farklı olan seslerin BRZ'ye etkileri, erkekler ve kadınlarda 500 Hz – 1 kHz, 500 Hz – 2 kHz, 500Hz – 4 kHz, 1 kHz – 2 kHz ve 1 kHz – 4 kHz aralıklarında anlamlı derecede farklı bulundu ($p < 0,05$). Ancak 2 kHz – 4 kHz arasındaki BRZ farkı istatistiksel olarak anlamlı değildi ($p > 0,05$). Frekans 500 Hz den 2 kHz'e kadar arttırıldığında BRZ'de artış görüldü ($p < 0,05$). Ancak frekans 2 kHz'den 4 kHz'e çıkartıldığında BRZ'deki değişim; kadınlarda tüm şiddet düzeyleri için azalma, erkeklerde ise 80 dB'de düşme, 60 dB ve 70 dB'de ise sabit kalma eğilimindeydi ($p > 0,05$).

Tablo 1. Her iki cinsiyet için farklı frekans ve şiddet düzeylerinin BRZ'ye etkilerinin istatistiksel olarak anlamlılık düzeyleri.

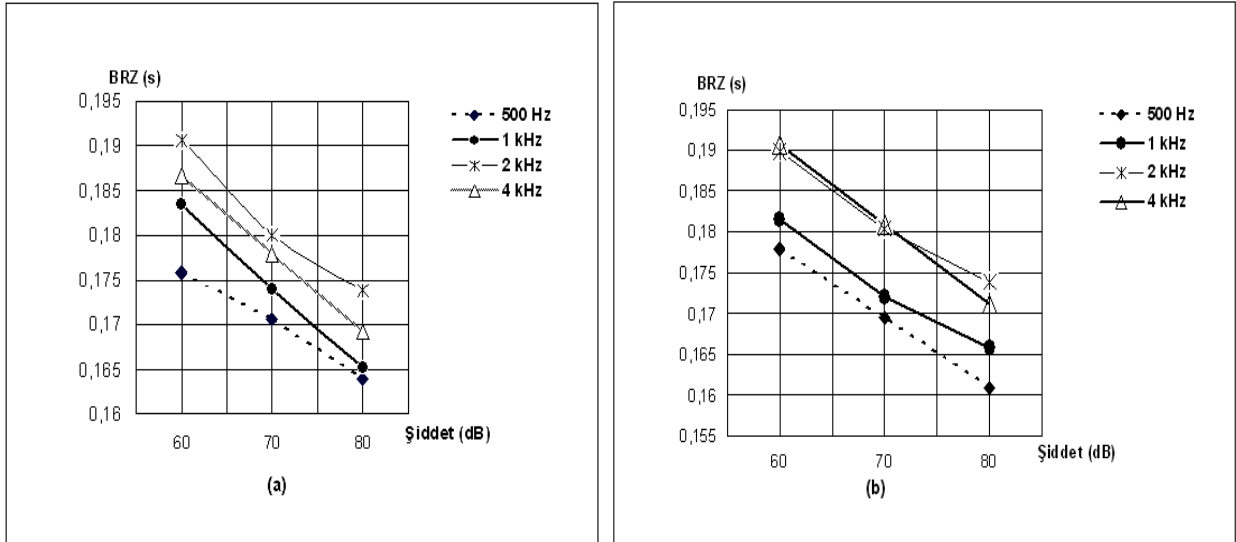
İstatistiksel Değişkenler	Şiddet Düzeyleri Arası İlişki		Frekanslar Arası İlişki		
	P	Şiddet Düzeyi (dB)	P	Frekans (kHz)	P
Frekans	P<0,001	60 - 70 arası	P<0,001	0,5 - 1 arası	P<0,05
Frekans*Cinsiyet	P>0,05	60 - 80 arası	P<0,001	0,5 - 2 arası	P<0,001
Şiddet Düzeyi	P<0,001	70 - 80 arası	P<0,001	0,5 - 4 arası	P<0,001
Şiddet Düzeyi * Cinsiyet	P>0,05		1 - 2 arası	P<0,001	
			1 - 4 arası	P<0,01	
			2 - 4 arası	P>0,05	

Tablo 2. Tüm veriler bazında BRZ'nın kadınlardaki ve erkeklerdeki uç değerleri.

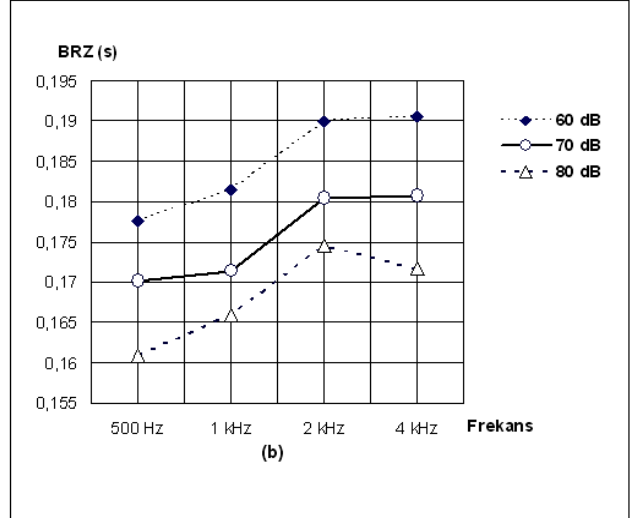
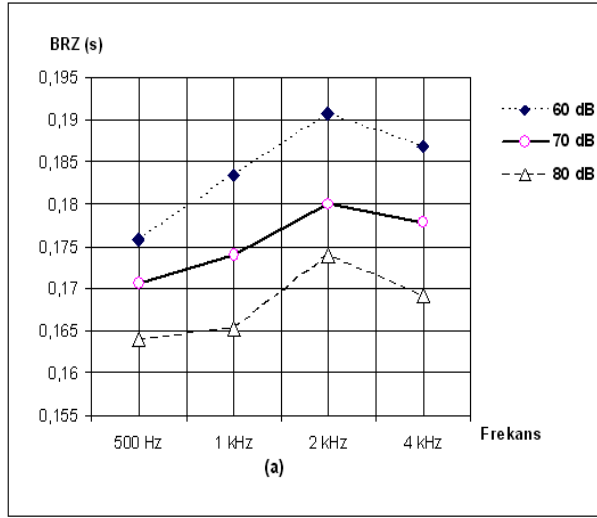
	Minimum		Maksimum	
	Frekans - Şiddet Düzeyi	BRZ _{ort} (ms)	Frekans - Şiddet Düzeyi	BRZ _{ort} (ms)
Kadınlar	500 Hz - 80 dB	163,94	2 kHz - 60 dB	190,68
Erkekler	500 Hz - 80 dB	160,94	4 kHz - 60 dB	190,66

Hem şiddet düzeyi sabit tutulup frekans değiştirilirken hem de frekans sabit tutulup şiddet düzeyi değiştirilirken ölçülen reaksiyon zamanlarının cinsiyetle istatistiksel

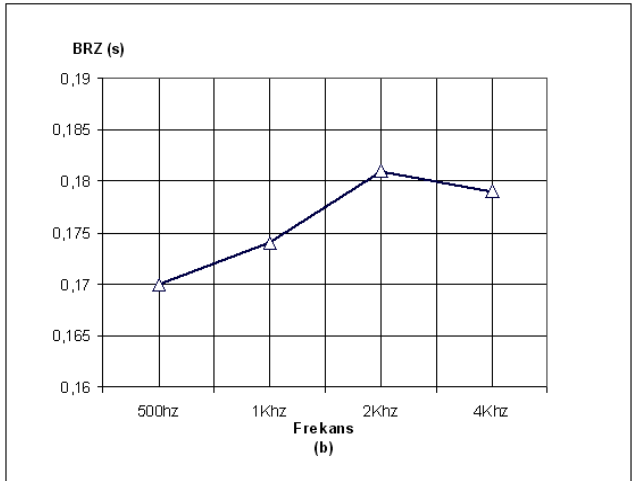
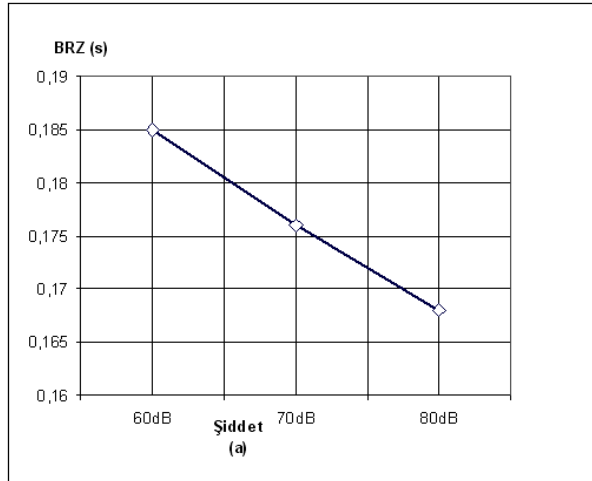
olarak anlamlı derecede değişmediği görüldü (p>0,05) (Tablo 1). Ses şiddet düzeyi, frekansı ve BRZ arasındaki ilişkiler Şekil 1, 2 ve 3'deki grafiklerde gösterilmiştir.



Şekil 1. Kadınlarda (a) ve erkeklerde (b) frekans sabit tutulurken şiddet düzeyindeki artışın BRZ'ye etkisi.



Şekil 2. Kadınlarda (a) ve erkeklerde (b) şiddet düzeyi sabit tutulurken frekanstaki artışın BRZ'ye etkisi.



Şekil 3. Kadın ve erkek tüm denekler için şiddet düzeyinin (a) ve frekansın (b) ortalama BRZ'ye etkisi.

Tartışma

Önceki çalışmalarda düşük şiddet düzeyli işitsel uyarılara BRZ'nin uzun olduğu, şiddet düzeyinin artırılması ile BRZ'nin kısaldığı bildirilmiştir [10,11,23]. Bizim çalışmamızda BRZ'nin şiddet düzeyi artışıyla anlamlı derecede kısaldığı ve bunun literatürdeki bulgularla uyumlu olduğu görülmüştür. Kullanılan ses şiddet düzeyleri aralığında en kısa BRZ değerinin 80 dB'de en uzununun ise 60 dB'de olduğu saptanmıştır (Şekil 1). BRZ'nin şiddet düzeylerindeki artışla kısalması yüksek şiddet düzeyinin periferde daha çok sayıda işitme reseptörünü aktive etmesine atfedilebilir. Böylece yüksek şiddet düzeyli sesler düşük şiddet düzeyli seslere göre daha hızlı algılanmakta ve daha kısa bir BRZ'ye neden olmaktadır.

Çalışmamızda BRZ ile frekans arasındaki ilişkiye bakıldığında, BRZ'nin frekansla anlamlı ölçüde değiştiği gözlenmiştir.

Chocholle çalışmasında, eşit yükseklikteki ses tonlarının frekandan bağımsız olarak eşit BRZ'ler oluşturduğunu ileri sürmüştür [20]. Epstein işitme sorunu olmayan deneklerden elde ettiği sonuçlar, Chocholle'nin bulgularının aksine, frekans ile RZ arasında anlamlı bir değişimin olduğuna işaret etmektedir [19]. Kendi bulgularımız Epstein'in sonuçları ile paralellik göstermektedir. Ancak bulgularımızda 1 kHz'lik ses tonunun, 4 kHz'lik ses tonundan daha kısa BRZ'ye neden olduğu görülmüştür. Kendi sonuçlarımız ile Epstein'in sonuçları arasındaki bu çelişkili durumun nedeni tam olarak bilinmemektedir.

Fakat söz konusu araştırmacının 2 deneye dayanarak bir yargıya varması kendi sonuçlarının güvenilirliğini tartışmal kılmuştur.

Diğer yandan ortalama BRZ'nin kadın ve erkek tüm denekler için 500 Hz - 2 kHz aralığında frekanstaki artış ile uzadığı, 2 kHz - 4 kHz aralığında ise kısaladığı gözlenmiştir (şekil 3b). Sadece kadınlar dikkate alındığında da durum aynıdır (şekil 2a). Erkeklerde ise sadece 80 dB'lik şiddet düzeyinde kadınlardaki ile uyum göstermekte, 60 dB ve 70 dB'lik şiddet düzeylerinde ise kısalma yerine az da olsa bir uzama göstermektedir (şekil 2b). Diğer taraftan 2 - 4 kHz aralığında BRZ'de görölen bu artış ve azalışlar anlamlı değildir. Böyle de olsa, 2 kHz - 4 kHz aralığı için kadınlar ve erkekler arasında gözlenen bu çelişkili durumu açıklamak zordur. Akla gelen nedenler arasında küçük de olsa deneysel ölçüm hatası olasılığı ve 2 kHz'in üstündeki frekansların kadınlar ve erkekler tarafından farklı algılandığı ileri sürülebilir. RZ'nin birçok deneysel koşuldan etkilendiği bilinmektedir [12,13,23,24,25]. Çalışmamızda deneysel hatalara neden olabilecek etkenler mümkün olduğunca azaltılmıştır. En önemli deneysel hata kaynağı, deneyeğin ölçümler sırasında yorgun ve dikkatinin dağınık olmasıdır. Fakat, ölçümlere yorgun denekler dahil edilmeyip, performansı yüksek olanlar alınmıştır. Ayrıca, RZ ölçümlerimizdeki hata oranı 1/1000'i aşmıyordu. Diğer taraftan, çalışmamızda 2 kHz – 4 kHz aralığındaki frekanslar daha küçük frekans aralıkları ile araştırılmamış olduğundan sadece iki uç frekansı dikkate alan bulgular yanıltıcı olabilir. Bu nedenle çalışma söz konusu frekans aralığını daha küçük adımlarla inceleyecek şekilde genişletilmelidir.

Önceki çalışmalarda erkeklerin kompleks reaksiyon zamanlarının (choice reaction time) (KRZ) kadınlarınkine göre daha kısa olduğu bildirilmiştir [12,23,25,26]. Çalışmamızda, erkeklerin basit reaksiyon zamanları (BRZ) kadınlarınkine göre daha kısa bulunmuş olmasına karşın fark istatistiksel olarak anlamlı değildir. Bunun nedeni KRZ ile BRZ'nin sinirsel mekanizmaları arasındaki farklılık olabilir. Ayrıca, çalışmamızda kadınların ve erkeklerin yaş aralıklarının birbirine çok uyumlu seçilmiş olması bunda etkili olmuş olabilir.

Profesyonel sporcularla yapılan çalışmalarda 100 ms'nin altında BRZ değerleri gözlenmesine rağmen [27], ses için ortalama BRZ değerlerinin genç erişkin bireylerde

140 - 160 ms arasında olduğu bildirilmiştir [19]. Elde ettiğimiz BRZ değerleri benzer çalışmalarda ölçölen ortalama BRZ'ler ile uyumlu olup kompleks reaksiyon zamanlarından bir hayli kısadır. Örneğin, Çelebi, uyarıcı olarak ses "klik"leri ve ışık "flaşları" kullandığı bir çalışmada bu uyarıcılara basit reaksiyon zamanlarının ortalama değerlerini sırası ile 132 ± 12 ms ve 160 ± 11 ms bulmuştur [16]. Denekler elleriyle yaylı bir anahtara basarak cevap vermişlerdir. Bu sonuçlar bu çalışmadaki ses tonlarına olan reaksiyon zamanları ile uyumlu fakat daha kısadır. Bunun nedeni ses tonu değil "klik" lerin kullanılmış olması olabilir.

BRZ'nin ölçöldüğü başka deneyler çeşitli açılardan bizim deneylerimizden farklıdır [1, 2, 3]. Örneğin, ses tonlarının kullanıldığı bazı çalışmalarda ses frekansı üstünde durulmamış, bazılarında şiddet düzeyleri dikkate alınmamıştır, deneklerin yaş aralıkları da farklıdır. Ayrıca, söz konusu çalışmalardan bazılarında RZ'yi ölçmek için deneyeğin eliyle bir anahtara basması istenmiş diğer bazıları ise ayağıyla bir pedala basması istenmiştir. Elle verilen cevaplar ayakla verilenlerden daha kısadır. Cevap verme aygıtı olarak yaylı bir anahtar kullanıldığında ölçölen RZ iletken bir plakaya dokunarak ölçölen 2-10 ms kadar daha uzundur. Bu çalışmada ölçölen RZ'ler ile benzer diğer çalışmalarda ölçölenler arasında gözlenen farklar uyarıcı şiddet düzeyine, modalitesine (ses veya ışık) ve alt modalitelere (ses için ses tonu veya "klik", ışık için çeşitli renkler) bağlı olabileceği gibi yukarıda sayılan cevap verme koşullarına da atfedilebilir.

Sonuç olarak; bu çalışmanın bulgularına göre ses şiddet düzeyinin artırılması BRZ'yi kısaltmaktadır. Herhangi bir sesin uyarıcı olarak kullanılması halinde yüksek şiddet düzeyleri tercih edilmelidir. Frekans da BRZ'yi etkileyen bir diğer faktördür. Frekansın bu etkisi olasılıkla RZ'nin yavaş bileşeni üzerinden olmaktadır. 2 kHz ve 4 kHz gibi frekanslarda BRZ'nin değişmemesi bu durumun başka frekanslar için de geğerli olup olmadığı sorusunu akla getirmektedir. Bu konuda kesin sonuçlara varmak için daha çok sayıda ve kısa aralıklı ses frekanslarının kullanılması gerektiği anlaşılmaktadır. Denek olarak yaş ortalamaları birbirine çok yakın genç kadın ve erkekler kullanıldığında cinsiyet farkının BRZ üzerinde etkili olmadığı anlaşılmaktadır. Yapılacak RZ çalışmalarda bu durumun dikkate alınması sonuçların güvenilirliği açısından önemlidir.

Kaynaklar

1. Graham R. Use of auditory icons as emergency warnings: Evaluation within a vehicle collision avoidance application. Ergonomics 1999;42(9):1233-1248.
2. Özcan T, Alyürük K, Çakır Y. Trafik kazalarında aracı kullanan insana psiko-nörolojik yönden bir yaklaşım; sese ve ışığa reaksiyon zamanı ve Benton Visual Retention testi ile iki grup sürücünün kıyaslanması. 18. Ulusal Psikiyatri ve Nörolojik Bilimler Kongresi Çalışmaları Kitabı. Türk Nöro-Psikiyatri Derneği. İstanbul:1983: 53-60.

3. Savaş S. 8 Haftalık interval sprint sürat antrenmanının elit basketbolcuların görsel ve işitsel reaksiyon zamanı üzerine etkisi. Kastamonu Eğitim Dergisi 2000;8(2):239-246.
4. Yalaz G, Hariri Nİ. Motorlu araç kullananlarda alkolün reaksiyon zamanına olan etkisinin araştırılması. Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi 1979;18(1): 41-55.
5. Tiefenau A, Neubauer H, Von Specht H, Heil P. Correcting for false alarms in a simple reaction time task. Brain Res 2006;1122(1):99-115
6. Durmuş O. Futbol, Bilim ve Teknoloji Dergisi, Futbol Federasyonu Yayını 1995; 4:15-18.
7. Drever J: Dictionary of Psychology. 11 th. Ed. Penguin Books,1968.
8. Terzioğlu M: Fizyoloji Ders Kitabı. İstanbul: Çeltüt Matbası, 1974; 161-312.
9. Ricci B: Experiments in the physiology of human performance, Lea and Febiger, Philadelphia;1970;48.
10. Kohfeld DL. Simple reaction time as a function of stimulus intensity in decibels of light and sound. J Exp Psychol 1971; 88: 251-257.
11. Carlsen AN, Dakin CJ, Chua R,Franks IM. Startle produces early response latencies that are distinct from stimulus intensity effects. Exp Brain Res 2006;176:199-205.
12. Jevas S and Yan J H. The effect of aging on cognitive function: a preliminary quantitative review. Res Q Exercise Sport 2001; 72: A-49.
13. Demirkan L. Futbol hakemlerinde yorgunluğun reaksiyon zamanına etkisi. Sağlık Bilimleri Enstitüsü .Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi, İzmir, 1996.
14. Lyon RJ, Tong JE. The influence of alcohol and tobacco on the componenets of choice reaction time. J Stud Alcohol 1975;36(5), 578-596.
15. Temuçin HS. Sigara şeklinde alınan nikotinin kadın ve erkekte reaksiyon zamanı üzerine etkisi. Sağlık Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi, İzmir,1990.
16. Çelebi G. Simple apparatus for generating reaction time histograms. Physiol Behav 1978; 20(3):355-356.
17. Kutukcu Y, Marks WJ, Goodin DS, Aminoff MJ. Simple and choice reaction time in Parkinson's disease. Brain Res 1999; 815 367-372.
18. Brand G. Reaction time measures in depressed patients. Encephale 1994; 20 (5):505-9.
19. Epstein M, Florentine M. Reaction time to 1 – and 4 kHz tones as function of, sensation level in listeners with normal hearing. Ear Hear 2006;27(4):424-429.
20. Chocholle R. Reaction time: its possible utilization in audiology. Ann Otolaryngol Chir Cervicofac. 1954;71:379-389.
21. Çelebi G: Biyomedikal Fizik.2. Baskı. İzmir: Barış Yayınları, 1995:90-117.
22. Pehlivan F:Biyofizik Ders Kitabı. 2.Baskı. Ankara: Hacettepe - Taş Yayınları, 1997:313-327
23. A Literature Review on Reaction Time. Robert J. Kosinski. Clemson University (<http://biae.clemson.edu/bpc/bp/Lab/110/reaction.htm>) (erişim tarihi: 11.12.2002)
24. Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM: Principles of Neural Science. International Edition. Mc Graw Hill, 2000:590-624.
25. Adam J, Paas F, Buekers M, Wuyts I, et al. Gender differences in choice reaction time: Evidence for differential strategies. Ergonomics 1999; 42(2): 327-335
26. Noble CE, Baker BL and Jones TA. Age and sex parameters in psychomotor learning, Percept Mot Skills 1964;19:935-945.
27. Pain MT, Hibbs A. Sprint starts and the minimum auditory reaction time. J Sports Sci 2007; 25(1):79-86.