

Wisconsin Kart Eşleme Testi ve Olay-İlişkili Beyin Potansiyelleri Arasındaki İlişkiler

Metehan Irak
Bahçeşehir Üniversitesi

Can Soylu
Bahçeşehir Üniversitesi

Dicle Çapan
Bahçeşehir Üniversitesi

Özet

Mevcut çalışmanın iki amacı vardır. İlk amaç, Wisconsin Kart Eşleme Testi (WKET) sırasında elde edilen yanlış ve doğru tepkilerin beyin olay-ilişkili potansiyelleri (OİP) üzerinde nasıl bir etki yarattığını incelemektir. Çalışmanın ikinci amacı ise WKET ve OİP'ler arasındaki ilişkileri açıklamaya yönelik öne sürülen hata negativitesi ve hata pozitivitesi modellerini test etmek ve bu modellerin geçerlikleri konusundaki açıklamalara katkı sağlamaktır. Çalışmada 19-24 yaş aralığında toplam 30 gönüllü katılımcı yer almıştır. Çalışmada WKET'in bilgisayar formu kullanılmıştır. Uyarıcıların sunumu, OİP'lerin kayıt ve analizinde NeuroScan 4.2 sistemi kullanılmıştır. Belirlenen N1, N2, P2 ve P3 zirvelerinin genlik ve latans değerleri üç elektrot alanı (Fz, Cz ve Pz) için doğru ve yanlış tepkiler altında ayrı ayrı incelenmiştir. Davranışsal bulgular yanlış tepkiler için harcanan sürenin doğru tepkilere göre daha uzun; yanlış tepki sayısının doğru tepki sayısına göre daha az olduğunu göstermiştir. Varyans analizi sonuçları tepki türünün N2 zirvesinin latans ve genliği ile N1 zirvesinin genliği üzerinde; elektrot lokasyonu temel etkisinin, N1, N2 zirvelerinin genlik ve latans; P2 zirvesinin genlik, P3 zirvesinin ise latans değerleri üzerindeki etkileri anlamlı bulunmuştur. Ayrıca, tepki türü ve elektrot lokasyonu ortak etkisinin N1, N2, ve P2 zirvelerinin genlik ve latansı ile P3 zirvesinin latans değerleri üzerinde anlamlı etki yarattığı görülmüştür. Sonuç olarak, WKET performansı sırasında yanlış ve doğru tepkilerin N2-P3 kompleks dalga formunu ortaya çıkardığı görülmüştür. Sonuçlar erken zirvelerin doğru ya da yanlış tepkilerin kendisiyle, buna karşın geç zirvelerin ise bu tepkilerin değerlendirilmesi süreciyle ilişkili olduğuna işaret etmiştir.

Anahtar kelimeler: Wisconsin Kart Eşleme Testi, olay ilişkili potansiyeller, tepki değerlendirmesi

Abstract

There are two aims of the present study. The first aim is to investigate the effect of correct and incorrect responses that are obtained under Wisconsin Card Sorting Test (WCST) on event-related brain potentials (ERPs). The second aim is to test error negativity and error positivity models which developed to explore relationships between WCST and ERPs. The sample consisted of 30 university students (21 female, 9 male) aged 19-24 years. Computerized version of WCST was used. Stimulus presentation, recording, storage, and analysis were carried out using a 32 channel EEG/EP NeuroScan system. Amplitude and latency values for N1, N2, P2 and P3, peaks were investigated under three electrode locations (Fz, Cz, and Pz) and under correct and incorrect responses, separately. Behavioral results showed that duration for incorrect responses were higher than correct responses, on the other hand amount of correct responses were higher than incorrect responses. These results indicated that computerized version of the WCST has acceptable psychometric properties. Variance analyses for repeated measure design showed that response type main effect was significant on N2 latency, N1 and N2 amplitude. Electrode location main effect was significant on latency and amplitude of N1, N2; amplitude of P2 and latency of P3. In addition the interaction effect was significant on latency and amplitude of N1, N2, and P2, and also P3 latency. Results exposed correct and incorrect responses which were obtained under WCST leads N2-P3 peaks form. It was concluded that early ERP components might be related to response, on the other hand late ERP components might be related to response evaluation process.

Key words: Wisconsin Card Sorting Test, event-related potentials, response evaluation

Yazışma Adresi: Metehan Irak, Bahçeşehir Üniversitesi Psikoloji Bölümü, Beyin ve Biliş Araştırmaları Laboratuvarı, Çırağan Cad. No.4. Beşiktaş İstanbul 34353

E-posta: metehan.irak@bahcesehir.edu.tr

Yazar Notu: (1) Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir (Proje No: 112K072).

(2) Çalışmaya katkılarından dolayı C. Özgör, İ. Şen, E.N. Uslu, S. Şenyer, ve F. Yıldızhan'a teşekkür ederiz.

Wisconsin Kart Eşleme Testi (Wisconsin Card Sorting Test; WKET) ilk olarak Berg (1948) tarafından geliştirilmiştir. Teste bugünkü son halini ise Heaton (1981) vermiştir. WKET beyin hasarına bağlı bazı işlevsel sorunların değerlendirilmesinde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. WKET'in genelde frontal bölge işlevlerine duyarlı bir nöropsikolojik test olduğu gösterilmiştir. WKET'in ölçtüğü işlevler konusunda çeşitli bulgular vardır. Bunlar arasında soyut irdeleme, kavram oluşturma (Milner, 1963), perseverasyon, kural uygulama (Stuss ve Benson, 1984), kavramsal irdeleme, dikkat ve konsantrasyon (Karzmark, 1992), dikkatin boyut dışı kayması (Barcelo, Munoz-Cespedes, Pozo, ve Rubia, 1997), özellik belirleme, kural öğrenme (Perrine, 1993) gibi kavramlar sayılabilir. WKET'in ölçtüğü özellikler açısından öne sürülen kavramlar arasında örtüşme ya da benzerliklerin de olduğu görülmektedir. Buna karşın WKET'in yönetici işlevleri ölçen bir test olduğuna ilişkin yaklaşımın çok genel olduğu, çünkü yönetici işlev kavramının çok sayıda alt bilişsel kavramı içinde barındıran bir üst kavramsallaştırma olduğu genel kabul gören bir yaklaşımdır. Böyle olunca da testin ne ölçtüğü konusunda farklı görüşler olduğu göz ardı edilmemelidir (Barcelo ve Rubia, 1998; Nyhus ve Barcelo, 2009).

Bireysel olarak uygulanan klasik WKET dört adet uyarıcı kartı ve buna ek olarak 128 tepki kartından (64'er adet tepki kartından oluşan iki kart destesi) oluşmaktadır. Tepki kartlarının standart bir diziliş sırası bulunmaktadır. Kartların her birinde, değişik renk ve miktarlarda şekiller bulunmaktadır. Bu şekiller artı, daire, yıldız ve üçgendir. Şekillerin miktarı ise 1-4 arasında değişmektedir. Buna karşın şekillerin renkleri ise kırmızı, yeşil, mavi ve sarıdır. Testte katılımcıdan destedeki her bir tepki kartını doğru olduğunu düşündüğü uyarıcı kartı ile eşlemesi istenmektedir. Doğru eşleme kategorisi her bir deste için renk, şekil, miktar olarak sıralanmakta, katılımcı aynı kategoride art arda 10 kere doğru eşleme yaptığında, sonraki kategoriye geçilmektedir. Katılımcı her tepkiden sonra tepkisinin doğru veya yanlış olduğu şeklinde geri bildirim almaktadır. Altı kategorinin tümü de tamamlandığında veya her iki deste de bittiğinde teste son verilmektedir (Karakaş, Irak, Kurt ve Erzenin, 1999).

WKET'in ölçtüğü özelliklere ilişkin yukarıda sözü edilen çalışmalara genel olarak bakıldığında, aynı uygulama ve puanlama sisteminin kullanıldığı görülmektedir. Buna göre klasik WKET uygulaması sonucu 13 puan hesaplanabilmektedir. Bu puanlar sırasıyla, toplam cevap sayısı, toplam hata sayısı, toplam doğru sayısı, tamamlanan kategori sayısı, perseveratif tepki sayısı, perseveratif hata sayısı, toplam perseveratif olmayan hata sayısı, perseveratif hata yüzdesi, tamamlamada kullanılan tepki sayısı, kavramsal düzey tepki sayısı, kavramsal düzey

tepki yüzdesi, kurulumu sürdürmede başarısızlık ve öğrenmeyi öğrenme puanıdır.

WKET ve Beyin Görüntüleme Çalışmaları

WKET'in frontal bölge ile olan ilişkisi konusunda normal bireyler üzerinde yürütülen PET çalışmalarında (Berman, Osrem, Randolph, Herscovitch, ve Weinberger, 1991), çalışma belleği ile ilgili WKET performansının, dorsolateral prefrontal korteks (DLPFK) yanında inferior parietal lob ve temporal lob, görsel çağrışım korteksi ve serebellum'un bazı kısımlarını içine alan karmaşık bir nöral ağ faaliyetiyle ilgili olduğu gösterilmiştir. Nagahama ve arkadaşları (1996) da, WKET'in DLPFK yanında inferior parietal lob, serebellum ve superior oksipital girüs ile de ilişkili olduğunu göstermiştir. Frontal ve frontal-olmayan hastalar üzerinde yürütülen çalışmalarda (örneğin, Anderson, Damasio, Jones ve Tranel, 1991), WKET'in frontal lob hasarının temel göstergesi olabilecek duyarlılık ve özgüllüğe (specificity) sahip olmadığı yorumu yapılmıştır. Özetle, sağlıklı ve hasta grupları üzerinde yapılan beyin görüntüleme çalışmaları (örn., Mountin ve Snow, 1993; Nagahama ve ark., 1996) WKET'in frontal bölge dışındaki diğer beyin bölgeleriyle de ilişkili olduğunu göstermiştir. Ancak bu faaliyetlerin hangi tür bilişsel süreçlere karşılık geldiğine ilişkin elde edilen sonuçlar arasında farklılıklar bulunmaktadır. Bu durumun testin içeriği ve buna bağlı olarak ölçtüğü süreçlerle ilgili olduğu yorumu yapılabilir. Çünkü WKET temelde, verilen geribildirime dayanarak eşleştirmelerin doğru yapılması ve bunun tepkinin yanlış olduğu duruma kadar korunması ilkesine dayanmaktadır. Yanlış eşleştirme durumunda da yine verilen geribildirime dayanarak yanlış eşleştirme yapılırken kullanılmış olan stratejinin değiştirilmesi gerekmektedir (Heaton, 1981; Nyhus ve Barcelo, 2009). Bu özelliği ile WKET yanlış ve doğru tepkilerin hangi bilişsel süreçlerle ilişkisi olduğunu incelemeyi amaçlayan nörobiyolojik araştırmalar için de oldukça kullanışlı bir testtir.

Bu konuda son dönemde yapılan çalışmaların birinde (Hénaff, Bayle, Krolak-Salmon ve Fonlupt, 2010) WKET'in, devam ettirilen koşul (devam koşulu; doğru cevabı sürdürme) ile yeni bir duruma geçmenin gerektiği koşulun (değiştirme koşulu; yanlış cevap sonrası strateji değiştirme) nöral temelleri magnetoensefelogram tekniği ile incelenmiştir. Sonuçlar, posterior lateral frontal alanların 'devam koşulu', buna karşın anterior medial frontal alanların ise 'değiştirme koşulu' sırasında aktif olduğunu göstermiştir. Buradan hareketle medial frontal alanların akıl yürütme ve seçenek belirleme süreçleriyle ilişkili olduğu yorumu yapılmıştır.

Beyin görüntüleme tekniklerinden biri olan olay-ilişkili potansiyeller (event-related potentials; OİP) beyinde gerçekleşen fizyolojik olaylar ve bilişsel süreçler

arasındaki ilişkileri belirlemede de kullanılmaktadır. WKET ve OİP'ler arasındaki ilişkileri inceleyen bir çalışmada Barcelo ve arkadaşları (1997) katılımcıların verdikleri yanıtları süre açısından erken (hızlı) ve geç (yavaş) olmak üzere iki gruba ayırmış ve bu yanıtların OİP zirveleri açısından farklı olup olmadığını incelemiştir. Erken ve geç tepkiler arasındaki farkın özellikle sol fronto-temporal alanda yavaş bir dalga ile ilişkili olduğu görülmüştür. Ayrıca, geç tepkiler için orta parietal alanda ise belirgin bir P3b zirvesi (300 ms zaman aralığında ortaya çıkan pozitif zirve) elde etmişlerdir. Geç tepkiler için elde edilen P3b zirvesinin (yavaş dalga tepkisi) genlik değerinin hızlı tepkilere göre daha büyük olduğu görülmüştür. WKET altında elde edilen P3b zirvesinin bu karakteristik özellikleri, WKET'in çalışma belleğinin örüntü/şablon eşleştirme (template matching) ve örüntü/şablon oluşturma (template formation) işlevleriyle ilişkili olduğu şeklinde yorumlanmıştır. Barcelo ve arkadaşlarının diğer çalışmalarında (Barcelo, Munoz-Cespedes, Pozo, ve Rubia, 2000; Barcelo, Perianez, ve Knight, 2002) tepkinin yanlış olduğu zamanlarda frontal çağrışım korteksinden P3a kaydedildiği rapor edilmiştir. Diğer yandan perseverasyon türü hataların frontal bölge faaliyeti olduğu, buna karşın diğer hata türlerinin ise ekstrasriate alanlarla ilişkili olduğu vurgulanmıştır (Barcelo, 1999). Frumoto (1991) yanlış tepkilerden sonra elde edilen P3 zirvesine ait latans değerlerinin, doğru tepkiler altında elde edilen P3 zirvesi latansından daha uzun olduğunu ve P3 zirvesi genişliğinde bir büyümenin meydana geldiğini belirtmiştir. Özetle, WKET yanıtlarının yaklaşık 300 ms zaman aralığında ve frontal alanlarda ortaya çıkan pozitif bir OİP tepkisiyle ilişkilendirildiği görülmektedir. Ancak tepkinin ortaya çıkış süresi ile ilgili farklı bulgular ve buna bağlı farklı yorumların da olduğu dikkat çekmektedir. Bu çalışmaların sonuçlarını değerlendirirken üzerinde durulması gereken önemli bir nokta bulunmaktadır. OİP çalışmalarında doğası gereği WKET'in bilgisayar formu kullanılmaktadır. Bu formda uyarıcı kartlar ekranın üst köşesinde, tepki kartları da ekranın sağ alt köşesinde yer almaktadır. Eşleştirme için üzerinde dört adet numaralı (1-4 arasında) tuşun bulunduğu bir tepki cihazı (stim-pad) kullanılmaktadır. Yapılan her bir eşleştirmeden sonra katılımcılar, ya ekran üzerinden görsel olarak ya da kulaklık üzerinden işitsel olarak (örn., doğru tepki için ince, yanlış tepki için kalın ses) tepkiye ilişkin geri bildirim almaktadırlar. OİP ve WKET ile ilgili literatür incelendiğinde genellikle doğru ve yanlış tepkiler ya da erken ve geç tepkiler altında ortaya çıkan OİP'lerin karşılaştırıldığı görülmektedir ve genel bir yöntem olarak bir çalışmada bu analiz türlerinden bir tanesi seçilmektedir. OİP çalışmalarının doğası gereği zorunlu olan bu durum nedeniyle, önceki bölümlerde sözü edilen WKET puanlarının her biri için ayrı ayrı OİP analizleri yapılamamaktadır. Bu durum OİP

çalışmalarının genel bir sınırlılığı olarak kabul edilebilir. Sonuç olarak bulguların yorumları, analize temel oluşturulan değişkenin (doğru ve yanlış ya da hızlı ve geç) türüne göre değişebilmektedir.

Genel olarak tepkiye-kilitli (response-locked) koşullar altında N2 (200 ms zaman aralığında ortaya çıkan negatif zirve) ve P3 zirvelerine benzeyen dalga formları elde edilmektedir. Yanlış tepkinin verilmesinden yaklaşık 100-150 ms sonra ortaya çıkan negatif ivmeli bu ilk ya da erken tepkiler hata negativitesi (HN; error negativity) olarak adlandırılmaktadır. Gehring, Goss, Coles, Meyer ve Donchin'in (1993) öne sürdüğü hatayı belirleme modeline göre HN verilen tepkinin yanlış olduğunun farkında olunmasıyla ilgili bir bileşendir. Yanlış tepkilerin ortaya çıkışından yaklaşık 280-550 ms sonraki zaman diliminde elde edilen zirveler de hata pozitivitesi (HP; error positivity) olarak adlandırılmıştır. HP sonucu elde edilen P3 zirvesinin hatanın saptanmasıyla ilgili olduğunu ileri sürülse de (Davies, Segalowitz, Dywan ve Pailing, 2001) bu tepkinin hata sürecine ilişkin bilinçli bir işleme mi yoksa uygun stratejinin seçilmesine (örneğin, bir önceki yanıtla ilişkin alınan geribildirim temelinde renk, şekil, ya da miktar seçeneklerinden birine göre karar verme; benzer stratejiyi kullanma ya da değiştirme) ilişkin bir değerlendirmeye mi ilişkili olduğu henüz açıklık kazanamamıştır (Leuthold ve Sommer, 1999). Bu tartışmaya karşın HN ve HP bileşenlerinin karşılık geldiği bilişsel süreçlere ilişkin olarak iki modelin öne çıktığı görülmektedir. Bu modellerden ilki olan hata belirleme modeline göre (örn., Gehring, Coles, Meyer ve Donchin, 1990, 1993) yanlış tepkilerden sonra, uyarıcıya-kilitli olarak çıkan bir N2-P3 zirve kompleksi elde edilmektedir. Buna karşılık tepki rekabeti modeli ise (örn., Botvinick, Braver, Barch ve Carter, 2001), HN ve HP bileşenlerinin doğru tepkiler altında da elde edildiğini ve böylece yalnızca yanlış tepkiye bağımlı olmadığını, yanlış ve doğru tepkilere ilişkin yapılan değerlendirmeleri de temsil edebileceğini ileri sürmektedir.

Bu açıklamalar ışığında mevcut çalışmanın ilk amacı WKET sırasında yanlış ve doğru tepkiler altında ortaya çıkan OİP'ler arasında fark olup olmadığını incelemektir. Bununla birlikte çalışmada doğru ve yanlış tepkiler sırasındaki OİP'lerin genlik ve latans değerleri arasında fark olup olmadığı incelenecektir. Buradan hareketle, mevcut çalışmanın ilk hipotezi doğru ve yanlış WKET yanıtları sırasında farklı OİP zirvelerinin elde edileceği yönündedir. Ek olarak çalışmanın ikinci hipotezi doğru ve yanlış WKET yanıtları sırasında elde edilecek olan OİP'lerin genlik ve latans değerlerinin farklı olacağı yönündedir. Çalışmanın ikinci amacı ise hata negativitesi ve hata pozitivitesi ile ilgili öne sürülen modelleri test etmek ve bu modellerin geçerlikleri konusundaki açıklamalara katkı sağlamaktır. Doğru ve yanlış WKET yanıtlarının farklı OİP bileşenleri ortaya

çıkarcacağı yönündeki ilk iki hipotezin devamı olarak, çalışmanın üçüncü hipotezi, mevcut çalışmanın bulgularının WKET yanıtları açısından hata belirleme modelini destekleyeceği yönündedir.

Yöntem

Örneklem

Çalışmada 19-24 yaş aralığında ($Ort. = 21.4$, $S = 1.35$) ve sağ elini kullanan toplam 30 gönüllü katılımcı yer almıştır. Katılımcıların 21'i kadın (% 70), 9'u ise erkektir (% 30). Katılımcıların tümü üniversite öğrencileri arasından seçilmiştir. Katılımcılarla yapılan ön görüşme sonucunda herhangi bir psikolojik/psikiyatrik ya da nörolojik rahatsızlığı olan, merkezi sinir sistemini etkileyecek sürekli bir ilaç kullanan veya bir süre kullandıktan sonra bırakmış olan ve renk körlüğü olan katılımcılar çalışmaya alınmamıştır.

Çalışmada Kullanılan Wisconsin Kart Eşleme Testi

Mevcut çalışmada WKET'in Berg (1948) tarafından geliştirilmiş olan klasik formunun bilgisayar sürümü kullanılmıştır. WKET, NeuroScan 4.2/Stim (Stim, NeuroScan Inc., Texas) sistemi kullanılarak uygulanmıştır. WKET'in bilgisayar formunda farklı sayı, renk ve şekil içeren dört adet hedef/uyarıcı kart yatay düzlemde olmak üzere bilgisayar ekranının üst kısmında yer almıştır. Ekranın sağ alt köşesinde ise, deste halinde üst üste bulunan tepki kartları yer almıştır. Hedef ve tepki kartlarının her birinde değişik renk (kırmızı, yeşil, mavi ve sarı) ve miktarlarda (bir, iki, üç ve dört) şekiller (artı, daire, yıldız ve üçgen) bulunmaktadır. WKET'de katılımcıların yapması gereken görev, destenin en üstünde yer alan kartı (uyarıcı), ekranın üst kısmında bulunan hedef kartlardan biriyle eşleştirmektir (teпки). Katılımcılar bu eşleştirmeyi üzerinde dört adet tuşun bulunduğu tepki cihazını kullanarak yapmışlardır. Katılımcılar, yaptıkları her bir eşleştirmeden sonra ekranın üst kısmında beliren 'DOĞRU' ya da 'YANLIŞ' ifadeleriyle geribildirim almışlardır. 10 doğru eşleştirmeden sonra katılımcıya geribildirim verilmeksizin eşleştirme kategorisi program tarafından değiştirilmiştir. Eşleme kategorileri iki set halinde ve renk, şekil, miktar düzeninde ve her katılımcıya aynı sırada sunulmuştur. Her bir katılımcı için doğru ve hata puanları yazılım tarafından otomatik olarak hesaplanmıştır. Önceki bölümde de belirtildiği üzere klasik WKET uygulamasında 13 puan hesaplanabilmektedir. Ancak WKET'in bilgisayar formunda yalnızca doğru ve hata (yanlış) puanları hesaplanmaktadır. Ayrıca program aracılığıyla her bir tepkiye ilişkin süre puanları da hesaplanabilmektedir. Önceki OİP çalışmalarında olduğu gibi, mevcut çalışmanın amacı doğrultusunda yalnızca doğru ve yanlış yanıtlar sırasındaki OİP'ler incelenmiştir. Ek olarak doğru ve yanlış yanıtlar için süre puanları

hesaplanmış ancak bunlara ilişkin yalnızca davranışsal analizler yürütülmüştür.

Elektrofizyolojik Tepkilerin Kayıt İşlemleri

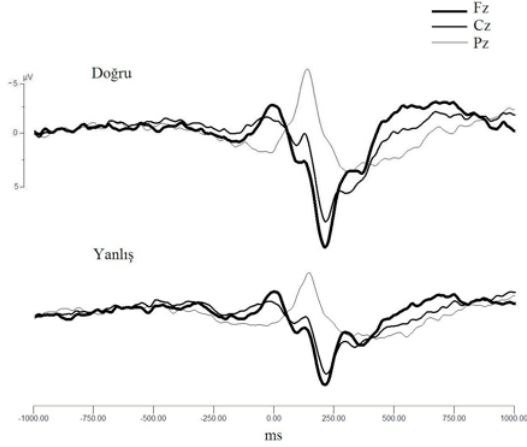
Uyarım, kayıt, depolama ve analiz işlemleri 32 kanallı (28 EEG kanalı, göz hareketleri için 4 kanal) EEG-EP sistemi olan NeuroScan 4.2 kullanılarak gerçekleştirilmiştir. EEG kayıtları ses ve elektrik alanlarından bakırla yalıtılmış bir odada yapılmıştır. EEG aktivitesi uluslararası 10-20 sistemine göre yerleştirilen 30 elektrot alanından kaydedilmiştir. Kayıtlarda US-FDA onaylı, Ag-Ag/Cl maddesinin kullanıldığı elektro-kep (QuickCap) kullanılmıştır. Referans olarak birleştirilmiş kulak elektrotları (linked mastoid) kullanılmış ve topraklama alna yerleştirilen bir elektrottan sağlanmıştır. Göz hareketi artefaktlarının belirlenebilmesi için, her iki göze elektrotlar yerleştirilmiştir (VEOG, HEOH). EEG sinyalleri 1-30 Hz arasında filtrelenmiş, örnekleme hızı 512 Hz olmuştur. Empedans bütün elektrot alanlarında 5 Kohm veya daha az olmuştur. Göz hareketlerinin yarattığı artefaktlardan arındırılmış EEG kayıtları uyarıcıdan önce 1000 ve uyarıcıdan sonra 1000 ms olmak üzere toplam 2000 ms olmuştur. Elektrofizyolojik kayıtlardan OİP'ler hesaplanmıştır. Zaman eksenini üzerindeki genlik değişimlerinden ve ortaya çıkan zirvelerden oluşan OİP'ler için katılımcılara ait bireysel ortalamalar ve genel ortalamalar hesaplanmıştır. Sözü edilen bu ortalama hesaplama işlemleri doğru ve yanlış tepkiler için ayrı ayrı yapılmıştır.

Bulgular

Analizlere geçmeden önce verilerin çok değişkenli istatistiğin temel sayıtları olan normallik, doğrusallık ve örneklem varyanslarının homojenliği (homoscedasticity) test edilmiş, ayrıca verilerde aşırı skora sahip katılımcı olup olmadığı incelenmiştir. Yapılan analiz sonucunda verilerde aşırı skora sahip katılımcı olmadığı, ayrıca verilerin sözü edilen sayıtları karşıladığı görülmüştür.

Davranışsal Bulgular

Çalışmada kullanılan WKET görevinde önceki bölümlerde de belirtildiği gibi kartlar iki set halinde ve birbirini takip eden aynı düzende (renk, şekil, miktar) katılımcılara sunulmuştur. Birinci ve ikinci setteki toplam doğru tepki sayısı, toplam yanlış tepki sayısı, doğru tepkiler için harcanan süre ve yanlış tepkiler için harcanan süre puanları (saniye olarak) arasında fark olup olmadığı incelenmiştir. Buna göre birinci ($Ort. = 29.60$; $S = .49$) ve ikinci ($Ort. = 29.97$; $S = .18$) setteki toplam doğru tepki sayısı arasındaki fark anlamlı bulunmamıştır ($p = .886$). Toplam yanlış tepki sayısı açısından bakıldığında beklenildiği gibi katılımcıların ikinci setteki



Şekil 1. Wisconsin Kart Eşleme Testinde Doğru ve Yanlış Tepkiler İçin Üç Elektrot Lokasyonundan Kaydedilen Ortalama Olay-İlişkili Potansiyeller

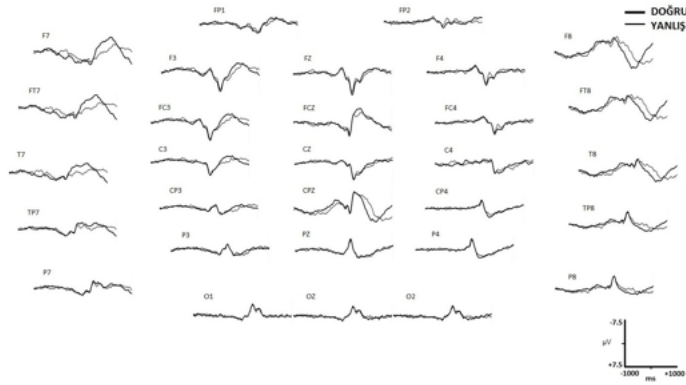
Not. Uyarıcı anı 0 olarak belirtilmiştir.

($Ort. = 27.03$; $S = 19.12$) yanlış tepki sayıları birinci sete göre ($Ort. = 31.20$; $S = 17.93$) daha düşük olmuştur, ancak bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p = .101$). Sonuçlara süre puanları açısından bakıldığında, birinci sette doğru tepkiler için harcanan süre ($Ort. = 3.34$; $S = 1.61$) ikinci setteki ($Ort. = 2.67$; $S = 1.23$) doğru tepkiler için harcanan süreden anlamlı olarak daha uzun olmuştur, $t(29) = 4.97$, $p < .001$, Cohen's $d = .33$. Benzer şekilde birinci sette yanlış tepkiler için harcanan

süre ($Ort. = 4.06$; $S = 2.07$) ikinci sete ($Ort. = 3.7$; $S = 3.08$) göre daha uzun olmuştur, ancak bu fark da anlamlı bulunmamıştır ($p = .228$). Bu açıdan bakıldığında mevcut çalışmada doğru ve yanlış tepkiler için harcanan süreler arasındaki farkların önceki çalışmaların bulgularıyla tutarlı olduğu görülmektedir (Barcelo, 1999; Karakaş, Baran, Özkan ve Erdemir, 2006).

OİP'lere İlişkin Bulgular

Her bir katılımcı için, zirvelerin latansı (latency) x eksenine iz düşümünden milisaniye (ms), genliği (amplitude) ise y eksenine iz düşümünden mikrovolt (μV) cinsinden belirlenmiştir. Zirveler, ortaya çıkış sırası (1-3) ve polaritesine (negatif: N, pozitif: P) göre N1, N2, P2 ve P3 olarak isimlendirilmiştir. Sözü edilen OİP zirvelerine ilişkin hesaplamalar Fz, Cz ve Pz elektrot alanları ve doğru ve yanlış tepkiler için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Şekil 1'de doğru ve yanlış tepkiler altında elde edilen OİP'lerin üç elektrot lokasyonu için hesaplanmış genel ortalamaları üst üste çakıştırılarak gösterilmiştir. Şekil 2'de ise tüm elektrot alanlarından elde edilen doğru ve yanlış yanıtların topoğrafik dağılımı yine üst üste çakıştırılarak verilmiştir. Şekil 1'de gösterilen OİP eğrilerinin zamansal sıralanışı ve polaritesi temel alındığında zirveler N1 (latans: 70.94-125.99 ms), N2 (latans: 178.34-236.0 ms), P2 (latans: 174.0-246.0 ms) ve P3 (latans: 305.33-335.41 ms) olmuştur. Bu zirvelere ait genlik değerleri de ayrıca üç orta hat elektrodu için ve her bir denek için ayrı ayrı hesaplanmıştır. İstatistik analizler sözü edilen üç orta hat elektrotlarındaki ve yukarıda belirtilen OİP zirvelerinin genlik ve latans değerleri üzerinden yürütülmüştür. Buna göre istatistiksel analizler 3 (elektrot lokasyonu: Fz, Cz ve Pz) x 2 (teпки türü: doğru ve yanlış)



Şekil 2. WKET Performansı Altında Elde Edilen Doğru ve Yanlış Yanıtların Topoğrafik Dağılımı

Not. X ve Y eksenlerine ait değerler sağ alt köşede verilmiştir.

tekrar ölçümlü ve faktörlü desene uygun varyans analizi ile incelenmiştir. Analizler latans ve genlik değerleri için ayrı ayrı yapılmıştır.

Varyans analizi sonucuna göre elektrot lokasyonu temel etkisinin, $F_{2,58} = 13.30$, $p < .001$, $\eta^2 = .314$ ve elektrot lokasyonu ve tepki türü ortak etkisinin, $F_{2,58} = 24.97$, $p < .001$, $\eta^2 = .463$, N1 zirvesinin latansı üzerindeki etkisi anlamlıdır. Elektrot lokasyonu temel etkisi için yapılan ortalamalar arası karşılaştırmalara bakıldığında, Pz lokasyonundan elde edilen N1 zirvesinin latansı ($Ort. = 109.95$, S. hata = 3.55), Cz ($Ort. = 102.74$, S. hata = 3.98) ve Fz ($Ort. = 81.82$, S. hata = 6.25) lokasyonlarında anlamlı olarak daha yüksek olmuştur. Ortak etkiye ilişkin sonuçlara bakıldığında N1 zirvesinin en yüksek latans değerine doğru ve yanlış tepkiler için Pz elektrot lokasyonunda ulaştığı ve bunu sırasıyla Cz ve Fz elektrotlarının izlediği görülmüştür.

Analiz sonuçları elektrot lokasyonu, $F_{2,58} = 132.21$, $p < .001$, $\eta^2 = .82$, tepki türü, $F_{1,29} = 100.02$, $p < .001$, $\eta^2 = .775$, temel etkileri ile, ortak etkisinin $F_{2,58} = 429.28$, $p < .001$, $\eta^2 = .937$, N2 zirvesinin latans değeri üzerindeki etkisinin anlamlı olduğunu göstermiştir. Buna göre Pz ($Ort. = 189.64$, S. hata = 1.70) lokasyonundan elde edilen N2 zirvesinin latansı anlamlı olarak Fz ($Ort. = 178.0$, S. hata = .33) ve Cz ($Ort. = 150.8$, S. hata = 2.40) lokasyonlarından elde edilen latans değerlerinden daha yüksek olmuştur. Tepki türü söz konusu olduğunda, doğru tepkiler altında elde edilen N2 zirvesinin latansı ($Ort. = 181.67$, S. hata = .95) yanlış tepkilere ($Ort. = 163.96$, S. hata = 1.58) göre anlamlı olarak daha yüksektir. Ortak etkiye ilişkin karşılaştırmalar, Cz lokasyonunda doğru ($Ort. = 202.0$, S. hata = 2.64) ve yanlış ($Ort. = 99.60$, S. hata = 4.02) tepkiler arasındaki farkların anlamlı olduğunu göstermiştir (bkz. Şekil 3a).

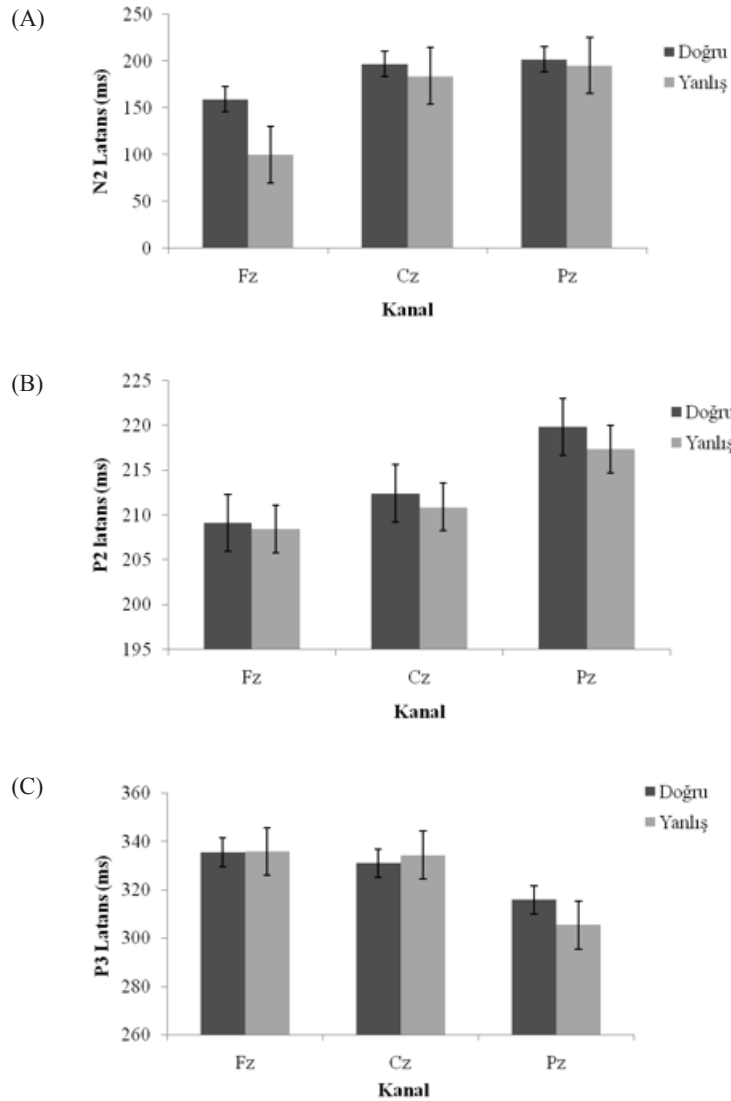
Sonuçlar, P2 tepkisinin latansı üzerinde tepki türü ve elektrot lokasyonu ortak etkisinin anlamlı olduğunu göstermiştir, $F_{2,58} = 3.86$, $p < .05$, $\eta^2 = .118$. Ortalamalar arası karşılaştırmalar doğru cevaplar söz konusu olduğunda Fz ($Ort. = 209.13$, S. hata = 3.63) ve Cz ($Ort. = 219.87$, S. hata = 2.57) lokasyonları altında elde edilen P2 zirvelerine ait latans değerlerinin anlamlı olarak farklı olduğunu göstermiştir (bkz. Şekil 3b).

Varyans analizi sonuçları elektrot lokasyonu temel etkisinin P3 zirvesinin latansı üzerinde anlamlı bir fark yarattığını göstermiştir, $F_{2,58} = 3.69$, $p < .05$, $\eta^2 = .113$. Buna göre P3 zirvesinin en yüksek latans değerine Fz lokasyonunda ulaştığı ($Ort. = 333.17$, S. hata = 5.08) bunu sırasıyla Cz ($Ort. = 325.77$, S. hata = 3.4) ve Pz ($Ort. = 319.86$, S. hata = 3.56) lokasyonlarının izlediği görülmüştür. Ayrıca elektrot lokasyonu ve tepki türü ortak etkisinin P3 zirvesinin latansını anlamlı olarak etkilediği görülmüştür, $F_{2,58} = 7.63$, $p < .01$, $\eta^2 = .208$. Ortalamalar arası karşılaştırmalar, Fz ($Ort. = 335.41$, S. hata = 6.12) ve Pz ($Ort. = 334.29$, S. hata = 4.99) lokasyonlarından

doğru tepkiler için elde edilen P3 zirvesi latansının yanlış tepkilere göre daha yüksek olduğu (sırasıyla, $Ort. = 330.92$, S. hata = 5.76; $Ort. = 305.43$, S. hata = 5.47), buna karşın Cz lokasyonunda ise yanlış tepkiler için ($Ort. = 335.76$, S. hata = 5.24), elde edilen P3 zirvesi latansının doğru tepkilere göre ($Ort. = 315.78$, S. hata = 5.76) daha yüksek olduğunu göstermiştir (bkz. Şekil 3c).

Söz konusu analizler zirvelerin genlik değerleri için de yürütülmüştür. N1 zirvesinin genlik değeri üzerinde elektrot lokasyonu temel etkisi anlamlı bulunmuştur, $F_{2,58} = 23.99$, $p < .001$, $\eta^2 = .453$. Ortalamalar arası karşılaştırmalar Fz ($Ort. = -1.61$, S. hata = .132) lokasyonundan elde edilen N1 zirvesinin genliğinin Cz ($Ort. = -2.46$, S. hata = .156) ve Pz ($Ort. = -2.37$, S. hata = .153) ve Fz ($Ort. = -1.61$, S. hata = .132) lokasyonlarında elde edilen genlik değerlerinden anlamlı olarak farklı olduğunu göstermiştir. Tepki türü temel etkisinin N1 zirvesinin genliği üzerinde anlamlı etki yarattığı bulunmuştur, $F_{1,29} = 7.23$, $p < .01$, $\eta^2 = .200$. Buna göre doğru tepkiler altında elde edilen N1 zirvesinin genliği ($Ort. = -2.28$, S. hata = .126), yanlış tepkilere göre ($Ort. = -2.02$, S. hata = .142) daha büyük olmuştur. Tepki türü ve elektrot lokasyonun ortak etkisi de N1 zirvesinin genliği üzerinde anlamlı etki yaratmıştır, $F_{1,58} = 39.29$, $p < .001$, $\eta^2 = .575$. Ortalamalar arası karşılaştırmalar tüm elektrot lokasyonları için doğru tepkilerin yanlış tepkilere göre daha büyük genlik değerine sahip olduğunu göstermiştir. Söz konusu farklar Cz (sırasıyla, $Ort. = -3.32$, S. hata = .283; $Ort. = -1.6$, S. hata = .122) ve Pz (sırasıyla, $Ort. = -3.34$, S. hata = .236; $Ort. = -1.40$, S. hata = .143) lokasyonları için istatistiksel olarak da anlamlı bulunmuştur.

N2 zirvesinin genlik değeri üzerinde elektrot lokasyonu temel etkisinin anlamlı olduğu bulunmuştur, $F_{2,58} = 42.78$, $p < .001$, $\eta^2 = .596$. Buna göre Pz ($Ort. = -1.45$, S. hata = .050) lokasyonundan elde edilen N2 zirvesinin genliği, Cz ($Ort. = -1.27$, S. hata = .142) ve Fz ($Ort. = -0.58$, S. hata = .051) lokasyonlarında elde edilen genlik değerlerinden anlamlı olarak farklıdır. Varyans analizleri tepki türü temel etkisinin N2 zirvesinin genlik değeri üzerinde anlamlı fark yarattığını göstermiştir, $F_{1,29} = 37.91$, $p < .001$, $\eta^2 = .567$. Buna göre doğru tepkiler altında elde edilen N2 zirvesinin genliği ($Ort. = -1.37$, S. hata = .067), yanlış tepkilerden ($Ort. = -0.83$, S. hata = .098) anlamlı olarak farklıdır. Diğer yandan elektrot lokasyonu ve tepki türü ortak etkisinin N2 zirvesinin genlik değeri üzerinde anlamlı fark yarattığı görülmüştür, $F_{2,58} = 174.75$, $p < .001$, $\eta^2 = .858$. Ortalamalar arası karşılaştırmalar tüm elektrot lokasyonları için doğru tepkilerin yanlış tepkilere göre daha büyük genlik değerine sahip olduğunu göstermiştir. Buna göre Cz ($Ort. = -2.01$, S. hata = .100) ve Pz ($Ort. = -2.57$, S. hata = .134) lokasyonları için yanlış tepkiler altında elde edilen N2 zirvelerinin genlik değerleri doğru tepkiler altında elde edilen zirvelerin genlik değerinden (sırasıyla, $Ort. = -0.90$, S.



Şekil 3. N2 (A), P2 (B) ve P3 (C) Zirveleri İçin Fz, Cz ve Pz Elektrot Lokasyonları Altında Hesaplanmış Doğru ve Yanlış Tepkilerin Latans Değerlerine Ait Ortalama Grafikler

hata = .011; *Ort.* = - 0.33, S. hata = .207) anlamlı olarak farklıdır.

P2 zirvesi ile ilgili sonuçlara bakıldığında, elektrot lokasyonu temel etkisi anlamlı bulunmuştur, $F_{2,58} = 53.35$, $p < .001$, $\eta^2 = .648$. Sonuçlar Pz lokasyonundan (*Ort.* = 4.96, S. hata = .372) elde edilen P2 zirvesinin genlik değerinin Cz (*Ort.* = 3.24, S. hata = .203) ve Fz

(*Ort.* = 2.81, S. hata = .215) lokasyonlarından anlamlı olarak farklı olduğunu ortaya koymuştur. Ortak etkinin de P2 zirvesi genliği üzerindeki etkisi anlamlıdır, $F_{2,58} = 45.55$, $p < .001$, $\eta^2 = .611$. Ortalamalar arası karşılaştırma sonuçlarına göre, Cz (sırasıyla, *Ort.* = 4.79, S. hata = .370; *Ort.* = 1.68, S. hata = .195) ve Pz (sırasıyla, *Ort.* = 4.05, S. hata = .379; *Ort.* = 1.56, S. hata = .152) lo-

kasyonları için doğru ve yanlış yanıtlar altında elde edilen P2 zirvelerinin genlik değeri arasındaki fark anlamlı bulunmuştur. Bu sonuçlara karşın P3 zirvesinin genlik değeri üzerinde temel ve ortak etkilerin anlamlı fark yaratmadığı görülmüştür.

Tartışma

Bu çalışmada WKET sırasındaki doğru ve yanlış yanıtların (teпки türünün) beynin OİP yanıtları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Davranışsal bulgular yanlış tepkiler için harcanan sürenin doğru tepkilere göre daha uzun; yanlış teпки sayısının doğru teпки sayısına göre daha az olduğunu göstermiştir. Araştırmanın hipotezlerinden biri, doğru ve yanlış WKET yanıtları altında farklı OİP zirvelerinin elde edileceği yönündeydi. Buna karşın doğru ve yanlış WKET yanıtları benzer zirveler ortaya çıkarmış ve sonuçlar hipotezi desteklememiştir. Teпки türü ve elektrot lokasyonu değişkenlerinin N1, N2, P2 ve P3 zirveleri üzerindeki etkileri tekrar ölçümlü varyans analizleri ile incelenmiştir. Varyans analizi sonuçları teпки türünün N2 zirvesinin latans ve genliği ile N1 zirvesinin genliği üzerinde anlamlı etki yarattığını göstermiştir. Elektrot lokasyonu temel etkisinin, N1, N2 zirvelerinin genlik ve latans; P2 zirvesinin genlik, P3 zirvesinin ise latans değerleri üzerindeki etkileri anlamlı bulunmuştur. Ayrıca, teпки türü ve elektrot lokasyonu ortak etkisinin N1, N2, P2 ve P3 zirvelerinin latansı ile N1, N2 ve P2 zirvelerinin genlik değerleri üzerinde anlamlı etki yarattığı görülmüştür. Araştırmanın bir diğer hipotezi doğru ve yanlış WKET yanıtları altında ortaya çıkacak olan OİP zirvelerinin genlik ve latans değerleri arasında fark olacağı yönündeydi. Genel olarak bakıldığında yanlış yanıtlarla karşılaştırıldığında, zirvelerin doğru yanıtlar altında daha büyük genlik ve latans değerlerine ulaştığı sonucu elde edilmiş ve bu bulguların önerilen hipotezi desteklediği görülmüştür. En büyük genlik değerine N1, P2 ve P3 zirvelerinin Fz lokasyonunda, buna karşılık N2 zirvesinin Pz lokasyonunda ulaştığı sonucu elde edilmiştir. Ek olarak zirvelerin Fz lokasyonunda elde edilen latans değerlerinin Cz ve Pz lokasyonlarına göre daha uzun olduğu görülmüştür.

Teпки doğruluğunun OİP'ler üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmalarda, teпкиye-kilitli OİP dalga formunun negatif zirvelerle başladığı ve bunu pozitif zirvelerin izlediği belirtilmiştir. Bu zirvelerin erken ve geç bileşenleri olduğu gösterilmiştir (Leuthold ve Sommer, 1999). Mevcut çalışmada da teпкиye-kilitli OİP'ler negatif ve pozitifite şablonuna uygun olarak elde edilmiştir. Pozitif ve negatif zirvelerin özellikle frontal ve merkezi elektrot lokasyonlarında oldukça güçlü olduğu görülmüştür. Bu temel bulgu WKET performansının özellikle frontal alanlarla ilişkili olduğunu gösteren önceki çalışmaların bulgularıyla uyumludur (örn., Cabeza

ve Nyberg, 2000; Dao-Castellana ve ark. 1998; Nyhus ve Barcelo, 2009; Volz ve ark., 1997).

Hata belirleme modeli, uyarıcıya-kilitli ve yanlış tepkilerden sonra görülen bir N2-P3 zirve kompleksinin ortaya çıktığını ileri sürmektedir (Davies, Segalowitz, Dywan ve Pailing, 2001). Bu modelde N2 zirvesinin, dikkatle olan ilişkisinden farklı bir sürece karşılık geldiği vurgulanmaktadır. Yanlış tepkiler sırasında yaklaşık 200 ms zaman aralığında bir negatif zirve elde edilmekte (HN), bunu yaklaşık 300-500 ms sonraki zaman aralığında ortaya çıkan pozitif zirve ya da zirveler (HP) izlemektedir. Ancak son dönemdeki bazı çalışmalar HN'nin doğru tepkilerden sonra da ortaya çıktığını göstermiştir. Bu durum da HN'nin yalnızca hataya bağlı bir bileşen olmayabileceği sonucunu gündeme getirmiştir. Sonraki çalışmalar (örn., Botvinick, Braver, Barch, Carter ve Cohen, 2001) yanlış tepkiden sonra ortaya çıkan HN ve HP'nin bir arada düşünülebileceğini, bu iki bileşenin yalnızca yanlış teпкиye bağımlı olmadığını, yanlış teпкиye ilişkin yapılan değerlendirmeleri de temsil edebileceğini ileri süren teпки rekabeti modelinin ortaya çıkmasına aracılık etmiştir. Mevcut araştırmanın hipotezlerinden biri doğru ve yanlış WKET yanıtlarının farklı OİP zirvelerini ortaya çıkaracağı ve böylece bulguların hata belirleme modelini destekleyeceği yönündeydi. Buna karşın mevcut çalışmada farklı yanıtlar altında benzer OİP'ler elde edilmiş ve bulgular önerilen hipotezi desteklememiştir. Mevcut bulgular ve sözü edilen iki modele ilişkin açıklamalar bir arada ele alındığında, mevcut çalışmanın bulgularının daha çok teпки rekabeti modelini destekler nitelikte olduğu yorumu yapılabilir. Doğru ve yanlış yanıtlar altında elde edilen OİP zirvelerinin benzer örüntülere sahip olması, yani her iki teпки türünde de aynı OİP zirvelerinin elde edilmesi bu yorumu desteklemektedir. Varyans analizleri teпки türünün N2 zirvesinin latans değerleri üzerindeki etkisinin anlamlı olduğunu; yanlış yanıtlara ilişkin latansın daha kısa olduğunu göstermiştir. İlginç olan diğer bir nokta ise teпки türü ve elektrot lokasyonu ortak etkisinin birçok zirvenin genlik ve latans değeri üzerindeki etkisinin anlamlı olmasıdır. Bu durum WKET altındaki doğru ve yanlış yanıtların OİP'ler üzerindeki etkisini değerlendirirken kayıt yapılan elektrot alanının önemine de işaret etmektedir.

Önceki bölümlerde de belirtildiği gibi Barcelo ve grubunun bir dizi çalışmasından (1999, 2000, 2001, 2002) elde edilen sonuçlar WKET performansının fronto-temporal alanlardan elde edilen bir yavaş dalga ile, orta parietal alanlardan elde edilen P3b bileşenleriyle karakterize olduğunu göstermiştir. Bu bileşenlerin çalışma belleğinin örüntü eşleştirme ve örüntü oluşturma işlevleriyle ilişkili olduğu yorumu yapılmıştır. Uyarıcıya dikkat edilmesi ya da uyarıcıya ilişkin değerlendirme yapılması gereken deneysel görevler altında da (örneğin; seçici dikkat, açık bellek ve görsel tarama görevleri gibi) P3b

elde edilebilmektedir (Kok, 2001). Kok'a (2001) göre P3b, belirli bir uyarıcıyla ya da kategoriyle ilişkili içsel temsillerin dışsal uyarıcıyla ilişkili temsillerle uyumlu olup olmadığına yönelik bir tepkidir. Bu türden bir kategorik değerlendirme; dikkat, algı ve çalışma belleği gibi bilişsel işlevleri gerektirmektedir. Mevcut çalışmada doğru ve yanlış tepkiler altında da P3 zirvesi anterior ve posterior alanlarda oldukça güçlü bir şekilde elde edilmiştir (Bkz Şekil 2). Bu açıdan bakıldığında WKET görevi altında elde edilen geç latanslı ve P3 zirvesi zaman aralığında ortaya çıkan bu zirvenin P3b'nin analogu olduğu düşünülebilir. Nitekim Davies, Segalowitz, Dywan ve Pailing'in (2001) bulgularına göre de bu türden geç bir pozitivite, ortaya konan tepkinin yanlış olup olmadığının saptanmasıyla ilgilidir. Şekil 1'den görüleceği gibi yanlış tepkiler altında elde edilen bu zirvenin genliği doğru tepkilere göre daha büyük olmuştur.

Son yıllarda nöropsikolojik testlerin de bilgisayar formu oluşturulmaya başlanmıştır. Bilgisayar formu oluşturulmuş olan testler özellikle uygulama ve puanlama açısından oldukça önemli avantajlara sahiptir. Ancak bu testlerin bilgisayar formlarının da psikometrik açıdan geçerli ve güvenilir sonuçlar vermesi çok önemlidir. WKET söz konusu olduğunda sağlıklı örneklerde yanlış tepki süresi, doğru tepkilere göre daha uzun; buna karşılık doğru tepki sayısı ise yanlış tepki sayısına göre daha fazla olmaktadır (Karakaş, Irak, Kurt, ve Erzenin, 1999). Önceki bölümlerde de belirtildiği gibi mevcut çalışmada da yanlış tepkiler için harcanan sürenin doğru tepkilere göre daha uzun; yanlış tepki sayısının doğru tepki sayısına göre daha az olduğu sonucu elde edilmiştir. Bu sonuçlar mevcut çalışmada kullanılan WKET görevinin ilgili literatürdeki davranışsal bulgularla uyumlu olduğuna ve görevin psikometrik açıdan geçerliğine işaret etmiştir.

Sonuç olarak ilgili literatürde de belirtildiği gibi WKET performansı sırasında da doğru ve yanlış tepkiler N2-P3 kompleks dalga formunu ortaya çıkarmaktadır. Bu zirvelerin doğru ve yanlış tepkiler altında farklı genlik ve latans değerlerine ulaştığı görülmektedir. Ancak genel olarak bakıldığında yanlış ve doğru tepkilere ilişkin bilişsel düzeydeki ilk değerlendirmelerin 200 ms zaman aralığında temsil edilen N2 ve P2 zirveleriyle ilişkili olduğu, ilgili değerlendirmelerin bu zaman penceresinde sonlanmadığı, 300 ms zaman penceresinde ortaya çıkan P3 zirvesiyle (P3b olarak da kabul edilen) yanlış ve doğru tepkilere ilişkin devam eden ikinci bir bilişsel değerlendirmenin yapıldığı söylenebilir. İlgili literatürle uyumlu olarak ilk zaman penceresinde doğru ve yanlış tepkiler için yapılan değerlendirmenin 'tepkinin kendisiyle' ilişkili olduğu, ikinci zaman penceresinde ortaya çıkan zirvelerin ise doğru ve yanlış tepkilerin 'değerlendirme süreciyle' ilişkili olduğu yorumu yapılabilir.

Kaynaklar

- Anderson, S. W., Damasio, H., Jones, R. D. ve Tranel, D. (1991). Wisconsin Card Sorting Test performance as a measure of frontal lobe damage. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 13(6), 909-922.
- Barcelo, F. (1999). Electrophysiological evidence of two different types of error in the Wisconsin Card Sorting Test. *Neuroreport*, 10, 1299-1303.
- Barcelo, F. (2001). Does the Wisconsin Card Sorting Test measure prefrontal function? *The Spanish Journal of Psychology*, 4, 79-100.
- Barcelo, F., Munoz-Céspedes, J. M., Pozo, M. A. ve Rubia, F. J. (2000). Attentional set shifting modulates the target P3b response in the Wisconsin Card Sorting Test. *Neuropsychologia*, 38, 1342-1355.
- Barcelo, F., Perianez, J. A. ve Knight, R. T. (2002). Think differently: A brain orienting response to task novelty. *Neuroreport*, 13, 1887- 1892.
- Barcelo, F. ve Rubia, F. J. (1998). Non-frontal P3b-like activity evoked by The Wisconsin Card Sorting Test. *Neuroreport*, 9, 747-751.
- Barcelo, F., Sanz, M., Molina, V. ve Rubia, F. J. (1997). The Wisconsin Card Sorting Test and the assessment of frontal function: A validation study with event-related potentials. *Neuropsychologia*, 35, 399-408.
- Berg, E. A. (1948). A simple objective technique for measuring flexibility in thinking. *The Journal of General Psychology*, 39, 15-22.
- Berman, K. F., Osrem, J. L., Randolph, C., Herscovitch P. ve Weinberger, D. R. (1991). Physiological activation of a cortical network during performance of WCST: A PET study. *Neuropsychologia*, 33(8), 1027-1046.
- Botvinick, M. M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S. ve Cohen, J. D. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review*, 108, 624-652.
- Cabeza, R. ve Nyberg, L. (2000). Imaging cognition II: an empirical review of 275 PET and fMRI studies. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 1-47.
- Dao-Castellana, M. H., Samson, Y., Legault, F., Martinot J. L., Aubin, H. J., Crouzel, C., Feldman, L., ... Syrota, A. (1998). Frontal dysfunction in neurologically normal chronic alcoholic subjects: Metabolic and neuropsychological findings. *Psychological Medicine*, 28, 1039-1048.
- Davies, P. L., Segalowitz, S. J., Dywan, J. ve Pailing, P. E. (2001). Error-negativity and positivity as they relate to other ERP indices of attentional control and stimulus processing. *Biological Psychology*, 56, 191-206.
- Furumoto, H. (1991). P300 as a Reflection of a mental set-P300 in the paradigm of Wisconsin Card Sorting Test. *No To Shinkei*, 43, 1047-1052. (abstract).
- Gehring, W. J., Coles, M. G. H., Meyer, D. E. ve Donchin, E. (1990). The error related negativity: An event-related brain potential accompanying errors. *Psychophysiology*, 27, 34-45.
- Gehring, W. J., Coles, M. G. H., Meyer, D. E. ve Donchin, E. (1993). Aneural system for error detection and compensation. *Psychological Science*, 4, 385-390.
- Hénaff, M., Bayle, D., Krolak-Salmon, P. ve Fonlupt, P. (2010). Cortical dynamics of a self driven choice: A MEG study during a card sorting task. *Clinical Neurophysiology*, 121, 508-515.
- Heaton, R. K. (1981). Wisconsin Card Sorting Test manual. *Psychological Assessment Resources*, Odessa (FL).

- Karakaş, S., Baran, Z., Özkan, A. ve Erdemir, C. (2006). Tepki doğruluğunun tepkiye-kilitli olay-ilişkili potansiyellere etkisi. *Türk Psikiyatri Dergisi*, 44(6), 64-75.
- Karakaş, S., Irak, M., Kurt, M. ve Erzenin, Ö. U. (1999). Wisconsin Kart Eşleme Testi ve Stroop Testi TBAG Formu: Ölçülen özellikler açısından karşılaştırmalı analiz. *3P Dergisi*, 7, 179-192.
- Karzmark, P. (1992). Factor analysis of special Wisconsin Card Sorting measures in a comprehensive neuropsychological assessment. *Journal of Experimental and Clinical Neuropsychology*, 14(3), 339.
- Kok, A. (2001). On the utility of P3 amplitude as a measure of processing capacity. *Psychophysiology*, 38, 557-577.
- Leuthold, H. ve Sommer, W. (1999). ERP correlates of error processing in spatial S-R compatibility tasks. *Clinical Neurophysiology: Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 110, 342-357.
- Milner, B. (1963). Effects of different brain lesions on card sorting: the role of frontal lobes. *Archives of Neurology*, 9, 100-110.
- Mountain, M. A. ve Snow, W.G. (1993). Wisconsin card sorting test as a measure of frontal pathology: A review. *Clinical Neuropsychology*, 7, 108-118.
- Nagahama, Y., Fukuyama, H., Yamauchi, H., Matsuzaki, S., Konishi, J., Shibasaki, H. ve Kimura, J. (1996). Cerebral activation during performance of a card sort test. *Brain*, 119, 1667-1675.
- Nyhus, E. ve Barcelo, F. (2009). The Wisconsin Card Sorting Test and the cognitive assessment of prefrontal executive functions: A critical update. *Brain and Cognition*, 71, 437-451.
- Perrine, K. (1993). Differential aspects of conceptual processing in the Category Test and the Wisconsin Card Sorting Test. *Journal of Clinical and Experimental Psychology*, 15(4), 461-473.
- Stuss, D. T. ve Benson, D. F. (1984). Neuropsychological studies of the frontal lobes. *Psychological Bulletin*, 95(1), 3-28.
- Volz, H. P., Gaser, C., Hager, F., Rzanny, R., Mentzel, H. J., Kreitschmann-Andermahr, I., Kaiser, W. A. ve Sauer, H. (1997). Brain activation during cognitive stimulation with the Wisconsin Card Sorting Test: A functional MRI study on healthy volunteers and schizophrenics. *Psychiatry Research*, 75, 145-157.

Summary

Relationships between Wisconsin Card Sorting Test and Event-Related Brain Potentials

Metehan Irak

Bahçeşehir University

Can Soylu

Bahçeşehir University

Dicle Çapan

Bahçeşehir University

Wisconsin Card Sorting Test (WCST) was first developed by Berg (1948) and was revised by Heaton (1981). WCST is used quite extensively in the evaluation of certain functional problems associated with brain damage. As a neuropsychological test, WCST has been shown sensitive to frontal lobe functions. There is a variety of evidence about the functions that WCST measures. Among these abstract thinking, the WCST is related with concept formation (Milner, 1963), perseveration, rule application (Stuss & Benson, 1984), conceptual thinking, attention, and concentration (Karczmar, 1992), attention shift (Barcelo, Munoz-Cespedes, Pozo, & Rubia, 1997), feature detection, rule learning (Perrine, 1993) can be included.

Brain imaging studies on healthy and patient groups showed that WCST performance associated with dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC) as well as a complex neural network activities covering inferior parietal and temporal lobe, visual association cortex and some parts of cerebellum (Berman, Osrem, Randolph, Herscovitch, & Weinberger, 1991).

In the ERP studies, differences between late and early responses were found to be associated with a slow-wave especially in the left fronto-temporal areas. Also for the late responses significant P3b peaks (positive peak occurring at 300 ms time interval) were obtained in the middle parietal areas. It was seen that the amplitude value of P3b peaks obtained for the late responses (slow-wave response) were greater than the early responses. These characteristics of P3b under the WCST were interpreted as the WCST is associated with the functions of working-memory such as template matching and template formation. On the other hand, it was emphasized that perseveration errors are associated with frontal region activity, while the other types of errors are associated with extra striate areas.

In general, N2-P3 wave forms are obtained under the response-locked circumstances. These early responses

with the negative acceleration appearing 100- 150 ms after the incorrect response are called error negativity (EN). A peak obtained 280-550 ms after the incorrect response has given is called error positivity (EP) (Gehring, Goss, Coles, Meyer, & Donchin, 1993). There are two models that stress the relationship between EN and EP components and the cognitive processes. According to the Error Detection Model (Gehring, Coles, Meyer, & Donchin, 1990,1993) a N2-P3 complex peak is obtained after incorrect responses. In contrast, the Response Competition Model proposes that EN and EP responses are obtained under positive responses and may represent the evaluations made about correct and incorrect responses.

In the light of these findings, the first aim of this current study is to investigate ERP correlates of correct and incorrect responses during the WCST. In addition, the second aim of the study is to investigate above-mentioned models, namely EN and EP and to make contributions to the explanations regarding validity of the models.

Method

Participants

A total of 30 volunteer university students (21 female and 9 male) between the ages of 19 and 24 participated in this study. They had normal or corrected-to-normal vision and no history of neurological deficits. Subjects were informed of all aspects of the research and signed a consent form approved by the Ethical Committee of the Bahcesehir University.

Wisconsin Card Sorting Test (WCST)

Computerized version of classical WCST which was developed by Berg (1948) was used in this study. WCST was applied using NeuroScan 4.2/Stim system (Stim, NeuroScan Inc., Texas). In the computerized

version of WCST, four target/stimulus cards that contain different numbers, colors, and shapes were located at the top of the computer screen in the horizontal plane. A deck of response cards, on the other hand, was on the lower right corner of the screen. Each of the target and response cards contained different colors (red, green, blue, and yellow), and amount (one, two, three, and four) of shapes (plus, circle, star, and triangle). The goal of the WCST was to match the top card of the deck (stimulus) with the proper target card located at the top of the screen. Participants have matched the cards using a response device with four buttons. After every match, participants received feedback appearing at the top of the screen that indicates the initial response was "CORRECT" or "INCORRECT". After every 10 correct responses matching category was changed by the computer without any feedback to the participants.

Matching categories were presented to the participants in two sets in the same order (color, shape, and amount respectively). Similar to the previous studies, in the current study the ERP's during correct and incorrect responses were calculated in the light of the proposed hypotheses. The software calculated the correct and incorrect scores and also response times for each participant automatically.

Electrophysiological Recording and Analyses

Stimulus presentation, recording, storage, and analysis were carried out using a 32-channel EEG/EP 4.2 NeuroScan system. EEG recordings were made in an electrically shielded, soundproof chamber. EEG activities were recorded with 30 electrodes placed according to the international 10-20 systems. General and individual average scores were calculated separately for the ERP's of the brain consist of peaks created by amplitude variations on the time axis. The electrophysiological records were analyzed in the time-domain. All these calculations were done separately for correct and incorrect answers.

Results

Analysis of variance (ANOVA) was conducted for 3 (electrode location: Fz, Cz, Pz) x 2 (response type: correct and incorrect) independent samples factorial design. Two ANOVAs were conducted separately for latency and amplitude values.

Behavioral findings showed that reaction time for incorrect responses were significantly longer than correct responses, on the other hand the number of correct responses were higher than incorrect responses.

Even though our first hypothesis was ERP peaks under the correct and incorrect responses are different, correct and incorrect WCST responses revealed similar

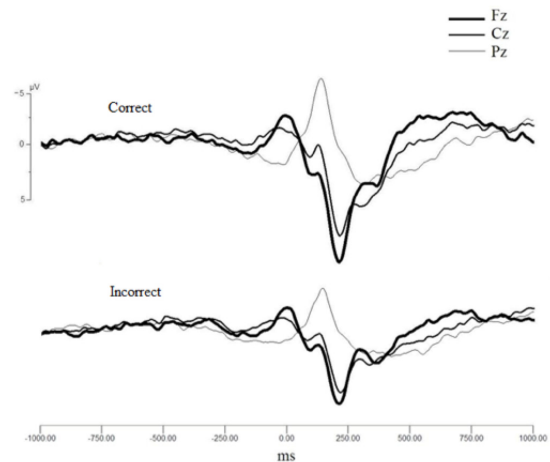


Figure 1. Grand Average ERPs to Correct (Top) and Incorrect (Bottom) WCST Responses Under Fz, Cz, and Pz Electrode Locations

Note. Stimulation applied at "0 ms" time point.

peaks. Furthermore, ANOVA results indicated that response type main effect was significant on N2 latency, N1 and N2 amplitude. Electrode location main effect was significant on latency and amplitude of N1, N2; amplitude of P2 and latency of P3. In addition the interaction effect was significant on latency and amplitude of N1, N2, and P2, and also P3 latency (see Figure 1 and Figure 2).

The second hypothesis of the study was latency and amplitude values of ERP responses under correct and incorrect WCST responses were different. In general, amplitude and latency values of correct responses were greater than incorrect responses.

Results indicated that the highest amplitude values of N1, P2, and P3 peaks were obtained in the Fz ($M = -1.61$, $SD = .132$, $M = 2.81$, $SD = .215$, respectively) electrode locations, whereas the highest amplitude value of N1 peak was obtained in the Pz ($M = -2.37$, $SD = .153$) location. In addition, latency values for Fz ($M = 81.82$, $SD = 6.25$, $M = 209.13$, $SD = 3.63$, $M = 333.17$, $SD = 5.08$, for N1, P2, P3 respectively) locations were longer than Cz ($M = 102.74$, $SD = 3.98$, $M = 219.87$, $SD = 2.57$, $M = 325.77$, $SD = 3.4$, for N1, P2, P3 respectively) and Pz ($M = 109.95$, $SD = 3.55$, $M = 334.29$, $SD = 4.99$ for N1 and P3 respectively) locations.

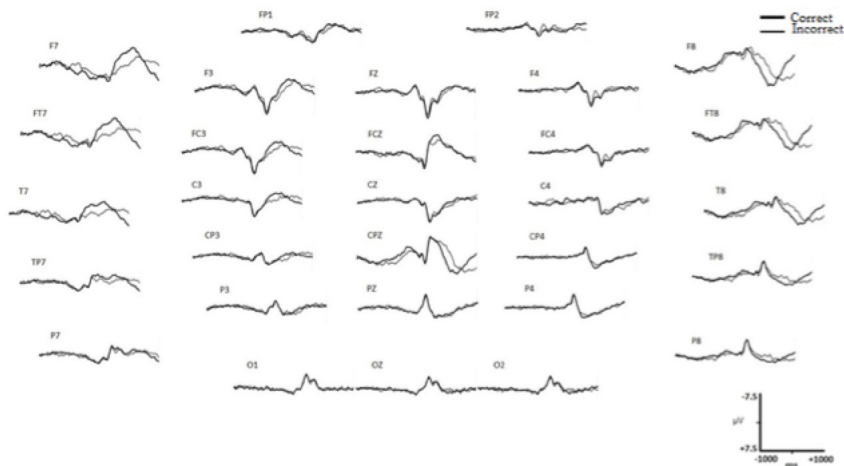


Figure 2. ERP Grand Average Waveforms of 30 Electrodes Recorded During Correct (Thick Line) and Incorrect (Thin Line) WCST Responses

Note. Stimulation applied at “0 ms” time point.

Discussion

Positive and negative ERP peaks were found quite strong especially in the frontal and central electrode locations. These basic findings were found consistent with the previous findings that suggest strong relationships between WCST performance and the frontal areas (Cabeza & Nyberg, 2000; Dao-Castellana et al., 1998; Nyhus & Barchelo, 2009; Volz et al., 1997). Also, one of the hypotheses of this study was to find different ERP peaks under correct and incorrect WCST responses and to provide evidence to the Error Detection Model. However, similar ERP's obtained under different responses and the results did not support the hypothesis. On the other hand these findings were interpreted as a support to the Response Competition Model.

Our results showed that correct and incorrect responses during the WCST performance reveal N2-P3 complex waveform. These peaks were seen to have reached different amplitude and latency values during correct and incorrect responses. In general, initial assessments of the correct and incorrect responses were found associated with N2 and P2 peaks represented in 200 ms time interval. Further, results that show a P3 (or P3b) peak in 300 ms time window suggested an ongoing

cognitive evaluation of correct and incorrect responses. Barcelo and colleagues (1997) have found that WCST performance is associated with a slow-wave obtained in the fronto-temporal regions, and characterized by P3b component obtained in the medial parietal regions. In this current study, strong P3 peaks under the correct and incorrect responses were obtained in the anterior and posterior regions. The peak that appeared in the peak time interval of P3 under the WCST was interpreted as an analog to P3b. In compliance with the literature, we can conclude that cognitive process made in the first time window regarding correct and incorrect responses are associated with the response itself, whereas the peaks emerging in the second time window are associated with the evaluation process of correct and incorrect responses.

Lastly in this current study the reaction time for incorrect responses were longer than correct responses. Also the numbers of incorrect responses were found less than the correct responses. These findings were found compatible with the previous behavioral findings in the literature (e.g., Karakaş, Irak, Kurt & Erzengin, 1999) and provided evidence in terms of psychometric validity of the computerized version of WCST.