

Tepki Doğruluğunun Tepkiye-Kilitli Olay-İlişkili Potansiyellere Etkisi*

Sirel Karakaş¹, Zeynel Baran², Arzu Özkan³, Cenap Erdemir⁴

¹ Prof. Dr. (Biyofizik), Hacettepe Üniversitesi Deneysel Psikoloji Uzmanlık Alanı Bilişsel Psikofizyoloji Araştırma Birimi

² Psk. Hacettepe Üniversitesi Deneysel Psikoloji Uzmanlık Alanı Bilişsel Psikofizyoloji Araştırma Birimi

³ Uzm. Psk. Hacettepe Üniversitesi Deneysel Psikoloji Uzmanlık Alanı Bilişsel Psikofizyoloji Araştırma Birimi

⁴ Prof. Dr. (İstatistik), TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Matematik Bölümü

Yazışma adresi: Prof. Dr. Sirel Karakaş, Hacettepe Üniversitesi Deneysel Psikoloji Uzmanlık Alanı, Beytepe 06532, Ankara Türkiye

e-posta: skarakas@hacettepe.edu.tr

www.exppsy.info

Tel: (+90)312 299 21 00

Faks: (+90)312 299 21 00

*Bu çalışma, Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi tarafından 99K120370 sayılı proje olarak desteklenmiştir.

TEŞEKKÜR: Veri analizindeki katkılarından dolayı Araştırma Görevlisi Belma Bekçi'ye, veri toplama işlemlerine katkısından dolayı Araştırma Görevlisi Elvin Doğutepe'ye, teknik donanım ve yazılıma ilişkin katkılarından dolayı Uzman Emine Dilek Çakmak ve Dr. Ömer Utku Erzengin'e teşekkürü borç biliriz.

ÖZET

Amaç: Çalışmanın amacı doğru ve hatalı tepkileri izleyen tepkiye-kilitli olay-ilişkili potansiyel (ERP) bileşenlerini belirlemek, bunların temsil ettikleri bilişsel işlevleri değerlendirmek, hata belirleme ve tepki rekabeti modellerinden hangisinin geçerli olduğunu ortaya koymaktır.

Yöntem: Araştırmada yaş (19–37 yaş aralığı) ve eğitim düzeyi (12 yıl ve üstü) açısından eşleştirilmiş 39 sağlıklı gönüllüden yararlanılmıştır. Çalışmada doğru ve hatalı tepkilerin çeşitli formlarının hesaplanmasını sağlayan ve böylece de hata-ilişkili ve doğru-ilişkili ERP bileşenlerinin gözlenmesine zemin hazırlayan, araştırma ve klinik uygulamalarda yaygın olarak kullanılan Wisconsin Kart Eşleme Testi (Wisconsin Card Sorting Test: WCST) kullanılmıştır. Uyarım, kayıt ve analiz işlemlerinde NeuroScan 4.2 donanım ve yazılım sistemi kullanılmıştır. WCST, bu sistem aracılığıyla bilgisayar ortamında uygulanmıştır. EEG kaydı 10–20 sistemine göre 30 elektrot lokasyonundan (referans: birleştirilmiş mastoid elektrotları; toprak: alın elektrodu) alınmış, sürekli kayıtlar 0.16–100 Hz (3 dB noktası, 12 dB oktav/eğim) sınırlarında filtrelenmiştir. Daha sonra tepki-öncesi 1024 ms ve tepki-sonrası 1022 ms'lik bölümleri içerecek biçimde ERP'ler sürekli EEG kaydından seçilmiş, bu süpürümler temel düzeyin de belirlenmesinde kullanılmıştır. Örnekleme aralığı 500 Hz olmuştur. Her iki göz çevresine yerleştirilmiş elektrotlar göz hareketlerinin bipolar kaydında kullanılmıştır.

Bulgular: Doğru ve yanlış tepkiler için frontosentral alanlardan kaydedilen tepkiye-kilitli ERP'ler bir negatif bileşen (N1, N2) ve bir pozitif bileşenden (P3 ve P4) oluşmuştur. Tekrar-ölçümlü varyans analizi P3'ün motorik bir bileşen olduğuna işaret etmiş, P4 ise tepkinin doğru ve yanlış olmasına bağlı olarak değişiklik gösteren yegâne bileşen olmuştur.

Tartışma ve Sonuç: Bulgular hata belirleme modeline karşın tepki rekabeti modelini destekleyici yönde bulunmuştur. P4'e ilişkin bulgular bu bileşenin üst-biliş işlemlerini temsil ettiğini düşündürmüştür.

Anahtar Kelimeler: Wisconsin Kart Eşleme Testi, tepki doğruluğu, tepki rekabeti modeli, hata belirleme modeli, frontal lob, bilişsel süreçler, olay-ilişkili potansiyeller, üst-biliş

ABSTRACT

Purpose: To investigate the components in the response-locked event-related potentials (ERPs) that are obtained after correct and incorrect responses, to assess the cognitive correlates of these components, and to find out the validity of the error detection and response competition models.

Methods: The study was conducted on 39 healthy volunteers who were matched with respect to age (19–37 years) and education (12 years or more). As a psychometric tool that allows the assessment of correct and incorrect responses, the study utilized the Wisconsin Card Sorting Test (WCST)

to obtain ERP components for correct and incorrect responses. Stimulation, recording and analyses were carried using the hardware and software of NeuroScan 4.2. Computerized version of the WCST was used. Continuous EEG recording were taken from 30 electrode locations of the 10/20 system (reference: linked mastoids; ground: forehead) and this was filtered between 0.16-100 Hz (3 dB point, 12 dB octave/slope). Time-locked ERPs were selected from continuous recordings with a pre-response interval of 1024 ms and post-response interval of 1022 ms; this epoch was also used for base-line correction. Sampling rate was 500 Hz. Bipolar recordings were made for monitoring eye movements.

Findings: The ERPs were principally obtained from the frontocentral recording sites. For both the correct and incorrect responses, they included a negative component (N1 and N2 peaks) and a positive component (P3 and P4 peaks). Statistical analysis showed that P3 was a motoric component. P4 was the only component that showed an effect of response correctness; there was a significant difference between the amplitudes of the P4's that were recorded after the correct and incorrect responses.

Discussion and Conclusions: The findings supported the response competition model and refuted the error detection model. The findings for P4 indicated that this component may be the electrophysiological representation of meta-cognitive processes.

Keywords: Wisconsin Card Sorting Test (WCST), response correctness, response competition model, error detection model, frontal lobe, cognitive processes, event-related potentials (ERPs), meta-cognition

GİRİŞ

Beyin elektrofizyolojisini incelemede, bir görevin yerine getirileceği uyarıcıya karşı elde edilen olay-ilişkili potansiyeller (event-related potential: ERP) bir teknik olarak literatürde uzunca bir zamandan beri kullanılmaktadır (Johnson ve ark. 1987). N2-P3 kompleksi, uyarıcıya ilişkin bir görevin yerine getirileceği bilişsel işlemlenin (processing), uyarıcıya-kilitli (stimulus-locked) olan tipik dalgaformudur (waveform). Tepkiye-kilitli (response-locked) ERP'lerde de N2-P3 kompleksine benzeyen bir dalgaformunun elde edildiği ancak bunun hatalı tepki ile sonuçlanan bilişsel işlemlerde elde edildiği bulunmuştur. Hatalı tepkinin verilmesinden yaklaşık 100-150 ms sonra ortaya çıkan bu negatif bileşene hata-negativitesi (error negativite: N_e) veya hata-ilişkili negativite (error-related negativity: ERN) denmiştir (Falkenstein ve ark. 1990, Gehring ve ark. 1990). Hata belirleme/hatanın farkında olma ile ilgili bu bileşenin, hatalı tepkinin doğru tepkinin temsili ile uyumsuz olmasının bir sonucu olduğu düşünülmüş ve olayı açıklamak üzere "hata belirleme modeli" (error detection model) geliştirilmiştir (Falkenstein ve ark. 1990; Gehring ve ark. 1993). N2-P3 kompleksine benzemekle beraber, ERN/ N_e 'nin temsil ettiği süreçlerin, uyarıcıya-kilitli N2-P3 kompleksinde dikkatle ilişkili N2 bileşenin temsil ettiğinden farklı olduğu anlaşılmaktadır (Davies ve ark. 2001; Van't Ent 2002). Hatalı tepkilerde negatife-kayan (negative-shifting) potansiyelin ardından yaklaşık 300-500 ms sonra bir de pozitif potansiyel elde edilmiş ve bu da hata pozitivitesi (error positivite: P_e) olarak adlandırılmıştır (Falkenstein ve ark. 1990, 1991, Leuthold

ve Sommer 1999). P_e 'nin, hata saptamayla ilgili bir P3 tepkisi olduğu düşünülmüş (Davies ve ark. 2001) ancak bunun bilinçli hata-işleme süreçleri ile mi yoksa tepki stratejilerinin seçilmesi/plânlanması ile mi ilgili olduğu henüz kesinleşmemiştir (Falkenstein ve ark. 2000).

Ancak diğer bazı çalışmalarda ERN/ N_e 'nin doğru tepkilerden sonra da ortaya çıktığı görülmüştür. Bu bulgular, ERN/ N_e 'nin hataya bağımlı olup olmadığı yolundaki tartışmaları başlatmış (Coles, Scheffres ve Holroyd 2001) ERN/ N_e ve P_e 'nin tepkinin değerlendirilmesi sürecinin sonucunu, yâni tepkinin hatalı olduğu kararını değil, bu değerlendirme sürecinin kendisini temsil ettiği düşünülmüştür (Vidal ve ark. 2000). Bu gibi tartışmalar, ERN/ N_e 'nin birden fazla tepkinin olması durumunda elde edildiğini öne süren "teпки-rekabeti modeli'ne" (response competition model) yol açmıştır (Botvinick ve ark. 2001, Carter ve ark. 1998).

Wisconsin Kart Eşleme Testi ile İlgili Elektrofizyolojik Bulgular

Standart bir nöropsikolojik test olan Wisconsin Kart Eşleme Testinde (Wisconsin Card Sorting Test: WCST) verilen geribildirim kullanılarak doğru eşleme ilkesinin bulunması, ilke değişene kadar onun korunması, ilkenin değiştiği bildirildiğinde de yeni ilkenin bulunması ve doğru eşlemenin yapılması gerekmektedir (Heaton 1981, Karakaş 2004). WCST doğru ve hatalı tepkilerin yapılmasına imkân sağlayan uluslararası kullanımı olan bir nöropsikolojik testtir.

WCST'de tepkinin doğru veya hatalı olduğu konusunda verilen geribildirim bir sonraki uyarıcıya

karşı elde edilen uyarıcıya-kilitli ERP bileşenlerine etkisi konusunda uyuşan bulgular vardır. Doğru tepki ölçütünün bilindiği ve tepkilerin bu doğrultuda sürdürüldüğü (kategori depolama/bellek) bölümlerde ardışık uyarıcılara karşı P3b (350–600 ms) elde edilmektedir. P3b'deki artış, WCST performansının çalışma belleği (şablon eşleştirme, şablon oluşturma) ile ilişkili olduğu yolunda değerlendirilmektedir (Barcelo ve Rubia 1998, Nakazawa ve ark. 1993). Bir önceki doğru tepki ilkesinin değiştiği ve bu nedenle tepkinin hatalı olduğu bölümlerde ise, frontal assosiasyon korteksinden P3a kaydedilmektedir (Barcelo ve ark. 2000, 2002). P3a'daki artış dönemi kategori seçme ve dikkatin artması ile ilişkilendirilmektedir. Bu dönemde posterior assosiasyon korteksinden kaydedilen P3b'nin genliği ise düşmektedir (Barcelo ve ark. 2000, 2002). Doğru ve hatalı tepkilerin gerçekleştiği bu iki dönemin sâdece geç bileşenler açısından değil, 120 ms civarında sol hemisferde fronto-temporal bölgede ortaya çıkan erken ERP bileşenleri açısından da farklılaştığı belirlenmiştir.

Doğru ve hatalı tepkilerin ayrıntılı analizine imkân vermesine karşın, WCST'de bu iki koşulda elde edilen, tepkiye-bağımlı ERP bileşenleri konusunda kısıtlı bulgu vardır. Bu bağlamda, tepkinin hatalı olduğuna işâret eden geribildirimden sonra ortaya çıkan P300'ün latansının, doğru tepkiye işâret eden geribildirimden sonrakine göre uzadığı, P300 bileşenin ise büyüdüğü görülmüştür (Furumoto 1991). Hata türlerinin beyin alanlarıyla ilişkisi incelenmiş, perseveratif hataların sâdece frontal lobla, perseveratif olmayan hataların ise ayrıca ekstrasriat alanlarla ilgili olduğu bulunmuştur (Barcelo 1999).

Bu çalışmanın amacı, doğru ve hatalı tepkileri izleyen tepkiye-kilitli ERP bileşenlerini açıklamada hata belirleme ve tepki rekabeti modellerini test etmek, bunlardan hangisinin geçerli olduğunu ortaya koymaktır. Bunu yerine getirmede, doğru ve hatalı tepkilerin çeşitli formlarının hesaplanmasını sağlayan ve böylece de hata-ilişkili ve doğru-ilişkili ERP bileşenlerinin gözlenmesine zemin hazırlayan WCST kullanılmıştır.

GEREÇ VE YÖNTEM

Katılımcılar

Çalışmada 19–37 yaş Aralığında, 12 yıl ve üstü eğitim görmüş olan, sağ elini kullanan toplam 45 sağlıklı katılımcı yer almıştır. Katılımcılar, gönüllülük esasına göre belirlenmiştir. Bunun için potansiyel katılımcılara Bilgilendirilmiş Onam Formu okutulmuş, formu okuyup imzalayanlar örnekleme alınmıştır.

Yaş ortalaması 22.77 (± 3.42) olan katılımcıların

37'si (%82.2) kadın, 8'i (%17.8) erkek olmuştur. Örneklem grubu daha önce benzeri çalışmaya katılmamıştır. Nörolojik ve psikolojik rahatsızlığı olduğunu bildiren katılımcılar ile bilişsel süreçleri etkileme potansiyeli olan ilâçları kullanmakta olan veya bir süre kullandıktan sonra bırakmış olduğunu bildiren katılımcılar örnekleme dâhil edilmemiştir.

Araç-Gereç ve İşlemler

Elektrofizyolojik Ölçümlere İlişkin Araç-Gereç ve İşlemler: Uyarım, Kayıt ve Analiz

Mevcut çalışmada EEG kayıtları ses ve elektrik alanlarından yalıtılmış bir odada yapılmıştır. Uyarım, kayıt, depolama ve analiz işlemleri 32 kanallı (30 EEG kanalı, 2 göz hareketleri için kanal) EEG-EP sistemi olan NeuroScan 4.2 kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu sistem donanım/yazılım olarak üç ana birimden oluşmaktadır. Bunlardan biri 32 kanallı preamplifikatör olan SynAmps'dır. SynAmps alçak geçiren sınırı 30 Hz olmak üzere 12 düzeyde, yüksek-geçiren sınırı ise DC. 05 TC olmak üzere 9 düzeyde yazılım yoluyla kullanıcı tarafından ayarlanabilen (0.16–100 Hz), gürültü düzeyi en fazla 2 mv_{p-p} olup örnekleme aralığı da 32 kanal için 20000 RDP/sn olan (örnekleme hızı 500 Hz) bir cihazdır. Scan 4.2 temelde kayıt alan, verileri depolayan ve analiz eden çok-amaçlı bir ticarî yazılımdır.

Bu yazılım EEG kaydının yapılmasında, olay-ilişkili ve ortalama olay-ilişkili potansiyel, singular değer dekompozisyonu, 2-boyutlu mapping, uzaysal filtreleme gibi tekniklerin uygulanmasında kullanılmıştır. Stim, temelde görsel ve işitsel uyarım hazırlayan ve sunan bir sistemdir; WCST görevi Stim donanım ve yazılımları ile sağlanmıştır. Bu sistem, ayrıca, uyarım/görev/testlere karşı katılımcının verdiği davranışsal cevapları (tepki sayısı, süresi, latansı) kaydetmede kullanılmıştır.

EEG aktivitesi uluslararası 10–20 sistemine göre yerleştirilen 30 elektrot (F_Z, FC_Z, C_Z, CP_Z, P_Z, O_Z, F₃, FC₃, C₃, CP₃, P₃, O₁, F₇, FT₇, T₇, TP₇, P₇, F₄, FC₄, C₄, CP₄, P₄, O₂, F₈, FT₈, T₈, TP₈, P₈, FP₁, FP₂) alanından kaydedilmiştir. Kayıtlarda US-FDA onaylı, elektrotlarda Ag-Ag/Cl maddesinin kullanıldığı QuikCap kullanılmıştır. Referans olarak birleştirilmiş mastoidler kullanılmış ve topraklama alın elektrodundan sağlanmıştır. Göz hareketi artefaktları supraorbital alana ve dış canthus'a yerleştirilen elektrotlarla bipolar olarak kaydedilmiştir (VEOG ve HEOG). Empedans bütün elektrot alanlarında 5 Kohm veya daha az olmuştur. İzole odada alınmış kayıtlarda çentik filtrenin (notch filter) kullanılması gerekmemiştir.

Elektrofizyolojik Verilerin Analizinde Kullanılan Teknikler

EEG'yi sürekli olarak kaydeden Scan 4.2 sistemi (NeuroScan Inc. Texas), deney sonrasında istenilen bölgenin seçilerek analize tâbi tutulmasına imkân sağlamaktadır. Deneysel işlemler bittikten sonra, 'off-line' olarak artefakt düzeltme işlemlerine geçilmiştir. Bunun için göz hareketlerini kaydeden kanallardaki potansiyeller incelemeye tâbi tutulmuş ve 100 mV'e yakın ve bu değerin üzerinde olan genlik sapmasının bulunduğu kayıtlarda, sapmanın başladığı kısım işaretlenmiştir. Daha sonra, sapmaların başından geriye 200 ms gidilmiş ve elde edilen toplam kaydın, her katılımcı için ayrı ayrı olmak üzere, ortalaması alınmıştır. Oluşturulan bu ortalamalar, Scan 4.2'deki "Uzaysal Tekli Değer Çözümlemesi" (Spatial Singular Value Decomposition) algoritması uygulanarak kendilerini oluşturan temel uzaysal bileşenlere (component) ayrılmıştır. Bu işlem algoritma tarafından temel bileşenler analizi (Principal Component Analysis, PCA) yöntemiyle elde edilmiş, fakat bileşenlerin elde edilmesinde bu analiz yönteminde sıkça kullanılan döndürme tekniği (rotation) kullanılmamıştır. Böylece her bir katılımcı için göz hareketlerine ilişkin artefakt şablonları oluşturulmuştur. Katılımcıya âit şablon, katılımcının sürekli kaydına "uzaysal filtreleme" yöntemi aracılığıyla uygulanarak göz hareketlerine ilişkin artefaktlar veriden temizlenmiştir. Böylece göz artefaktları için düzeltme yapılmıştır. Scan 4.2 yazılımında bu işlem "VEOG Correction" olarak tanımlanmaktadır.

Artefaktan arınmış olan sürekli kayıtlarda, uyarıcıdan 1024 ms önce ve 1022 ms sonra olan bölümler

seçilmiştir. Elde edilen kayıtlar temel-çizgi (base-line) düzeltme işlemine tâbi tutulmuştur. Bunun için tüm noktaların genliklerinin ortalaması alınmış, her bir nokta için hesaplanmış olan ortalama offset değerleri, kayıttaki ilgili olduğu noktanın ortalamasından çıkarılmıştır. Daha sonra, göz hareketlerinin yarattığı artefaktların silinmiş olduğu kayıtlar, âit oldukları WCST puan koşulları altında toplanmıştır.

Elektrofizyolojik kayıtlardan ERP'ler hesaplanmıştır. Zaman eksenini üzerindeki genlik değişimlerinden ve ortaya çıkan zirvelerden oluşan ERP'ler için katılımcı ortalamaları ve genel ortalamalar hesaplanmıştır. ERP'lere ilişkin ortalama alma işlemi, WCST puan türleri için (Tablo 1) ayrı ayrı yürütülmüştür.

Motor tepkinin ERP'ye olası etkisini değerlendirmek için motor tepki potansiyeline ilişkin bir şablon oluşturulmuştur. WCST performansına ilişkin deneyin ardından yapılan çalışmada katılımcıdan istediği zaman WCST tepkisi için kullandığı konsoldaki tuşlara teker teker rastgele basması, bu sırada tüm tuşları kullanmaya özen göstermesi istenmiştir. Sürekli kayıt formatında alınan kayıttan tepki-öncesi 1024 ms ve tepki-sonrası 1022 ms'lik süpürümler seçilmiştir. Her katılımcıdan en az 70 motor tepki potansiyeli elde edilmiştir. Eğrilerde, uyarıcı-öncesi bölüm kullanılarak temel-düzey düzeltmesi yapılmıştır. Bu kayıtlardan her bir katılımcı için ortalama motor potansiyel ve genel ortalama motor potansiyel hesaplanmıştır. Genel ortalama tüm katılımcıların tepkiye-kilitli ERP kayıtlarından cebirsel olarak çıkarılmıştır.

Çalışmada haritalama (mapping) tekniği ile elektrot alanlarına yayılan nöroelektrik faaliyet hesaplan-

Tablo 1. Wisconsin Kart Eşleme Testi (WCST) için Elde Edilen Puanlar ve Söz Konusu Puanlara İlişkin Tepki Zamanlarının Ortalama ve Standart Sapmaları

Puan Türleri		Ortalama ve Standart Sapmalar	Tepki Süresi (sn)
WCST1	Toplam tepki sayısı	106.13 ((12.42)	2.78 ((0.70)
WCST2	Toplam yanlış sayısı	28.03 ((13.70)	3.51 ((1.05)
WCST3	Toplam doğru sayısı	77.69 ((11.55)	2.58 ((0.65)
WCST4	Tamamlanan kategori sayısı	5.08 ((1.32)	
WCST5	Toplam perseveratif tepki sayısı	14.44 ((8.51)	3.10 ((0.97)
WCST6	Toplam perseveratif hata sayısı	13.44 ((7.44)	3.10 ((0.98)
WCST7	Toplam perseveratif olmayan hata sayısı	14.64 ((7.33)	4.01 ((1.61)
WCST8	Perseveratif hata yüzdesi	28.03 ((13.70)	3.51 ((1.05)
WCST9	İlk kategoriye tamamlamada kullanılan tepki sayısı	17.44 ((8.97)	2.91 ((1.09)
WCST10	Kavramsal düzey tepki sayısı	68.87 ((17.79)	2.46 ((0.60)
WCST11	Kavramsal düzey tepki yüzdesi	12.69 ((9.58)	2.81 ((1.15)
WCST12	Kurulumu sürdürmede başarısızlık	12.69 ((9.58)	2.81 ((1.15)

mıştır. Zaman alanında haritalama, incelenen kayıt alanlarında, zaman eksenindeki genlik değişimlerini (mV cinsinden) temel almıştır. Haritalama global interpolasyon veya lokal interpolasyon yoluyla yaratılabilmektedir. Mevcut araştırmada, herhangi bir noktadaki değerleri hesaplamak için tüm elektrotlardaki değerlerin gözönüne alındığı ve daha düzgün geçişlerin elde edildiği global interpolasyon yöntemi kullanılmıştır.

Wisconsin Kart Eşleme Testi

Çalışmada Wisconsin Kart Eşleme Testi'nin (Wisconsin Card Sorting Test: WCST) bilgisayar versiyonu kullanılmış ve test NeuroScan 4.2/Stim sistemi kullanılarak uygulanmıştır. WCST'nin bilgisayar formunda farklı sayı, renk ve şekil içeren dört uyarıcı kart yatay düzlemde olmak üzere ekranın üstünde yer almıştır. Ekranın sağ alt köşesinde ise, yukarıdakilere benzer kartlardan oluşan ve deste hâlinde üstüste bulunan 120 adet tepki kartı yer almıştır. Uyarıcı ve tepki kartların her birinde değişik renk (kırmızı, yeşil, mavi ve sarı) ve miktarlarda (bir, iki, üç ve dört) şekiller (artı, daire, yıldız ve üçgen) bulunmaktadır. WCST'de katılımcının yapması gereken görev, tepki kartı destesinin en üstündeki kartı, bu kartla ilgili olduğunu düşündüğü uyarıcı kartı ile eşlemesidir.

Katılımcı tepkisini, dört adet tuşun bulunduğu cihazı kullanarak yapmıştır. Soldan sağa doğru sıralanmış dört uyarıcı karttan hangisinin doğru tepki ile ilgili olduğunu belirtmek için, katılımcılar, soldan sağa sıralanmış dört düğmeden doğru uyarıcı kartla aynı konumda olana basmışlardır. Katılımcı yaptığı eşlemenin doğru veya hatalı olduğunu, ekranın üst orta kısmındaki iki tür işâretten (doğru: \surd , hatalı: X) anlamıştır. Doğru eşleme kategorisi her ardışık 10 eşlemeden sonra, katılımcıya bildirilmeksizin, değiştirilmiştir. Doğru eşleme kategorisi renk, şekil, miktar, renk, şekil, miktar olarak değişmiştir. Katılımcı 6 doğru eşleme kategorisi tamamladığında veya 120 tepki kartının tümünü eşlediğinde teste son verilmiştir.

Bir testör tarafından uygulanan geleneksel WCST'nin Türk toplumu için standardizasyonu yapılmıştır (Karakaş 2004). Bu formda, orijinal WCST'de olduğu gibi 13 puan hesaplanmaktadır. WCST'nin bilgisayar formunda (Stim, NeuroScan Inc., Texas) sâdece doğru ve hata puanları hesaplanmaktadır. Bu çalışmaya özgü bir nitelik olarak verilen tepkilerden, WCST'nin bilgisayar formu için Tablo 1'de de sunulan diğer WCST puanları hesaplanmıştır (Tablo 1'de ilk sütunda verilen kısaltma ve numaralar, söz konusu puanın geleneksel formdaki karşılığını göstermekte-

dir): Toplam tepki sayısı (WCST1), toplam hata sayısı (WCST2), toplam doğru sayısı (WCST3), tamamlanan kategori sayısı (WCST4), perseveratif tepki sayısı (WCST5), perseveratif hata sayısı (WCST6), perseveratif olmayan hata sayısı (WCST7), perseveratif hata yüzdesi (WCST8), ilk kategoriye tamamlamada kullanılan deneme sayısı (WCST9), kavramsal düzey tepki sayısı (WCST10), kavramsal düzey tepki yüzdesi (WCST11) kurulumu sürdürmede başarısızlık (WCST12).

Davranışsal tepkilerin (WCST'den alınan puanlar, puanın alınması sırasındaki tepki zamanı (reaction time) analizinde bu puanların tümü kullanılmıştır. Elektrofizyolojik verilerin analizinde doğru ve hatalı tepkilerle doğrudan ilişkili puanlar kullanılmıştır. Bunlar doğru tepki sayısı (WCST3), hatalı tepkinin iki türü (perseveratif hata sayısı: WCST6, perseveratif olmayan hata sayısı: WCST7) ve kavramsallaştırma/irdeleme özelliği ile ilişkili (Karakaş 2004) kavramsal düzey tepki sayısı puanı (WCST10: en az 3 tânesi birbirini izleyen doğru tepki sayısı) olmuştur.

BULGULAR

Davranışsal Ölçümlere İlişkin Bulgular

İstatistik analizlere geçmeden önce, deneklerin WCST'den aldıkları puanlar incelenmiş, kritik değer olarak seçilen ≥ 3.00 (çift yönlü hipotez testinde bu değer $a/2 = .0013$ 'tür) z değerine sâhip olan 6 katılımcının verileri aşırı değer (outlier) olduğu için analize alınmamıştır. Böylece analizler 39 katılımcı üzerinden yürütülmüştür.

Tablo 1'de WCST ile elde edilen puanlara ilişkin ortalama ve standart sapma değerleri sunulmaktadır. Tablo incelendiğinde deneklerin toplam doğru sayısının 77.69 olduğu, 6 kategoriden yaklaşık 5'ini tamamladıkları, benzer oranda perseveratif (13.44) ve perseveratif olmayan hata (14.64) yaptıkları, kavramsal düzey tepki sayısının 68.87 olduğu görülmüştür. WCST'nin Türk toplumu için normâlizasyon çalışmasındaki karşılaştırılabilir yaş ve eğitim düzeyindeki katılımcılar için bu puanlar sırasıyla, 71.40, 4.98, 17.69, 16.72 ve 62.23 olmuştur (Karakaş 2004). Çalışmadaki katılımcıların puanları norm değerlerine yakın ve her seferinde daha yüksek olmuştur. Bu ufak farkın nedeni, karşılaştırılabilir norm grubunun 20-54 yaş aralığını içermesi, mevcut çalışmadaki katılımcıların ise 19-37 yaş aralığından gelmesidir.

WCST puanlarının hangi özellikler altında kümelendiğini görmek için verilere temel bileşenler analizi (principal component analysis: PCA) uygulanmıştır. PCA'da elde edilen faktörlerin hangilerinin sıfırdan

anlamli olarak farkli olduğunu belirlemede Kaiser normalleştirmesi ölçütü kullanılmış (Tatsuoka 1971) ve özdeğeri (eigenvalue) 1.00'den büyük olan faktörler yoruma esas alınarak bunların ortak varyansa katkıları incelenmiştir. Faktör varyanslarının maksimum olmasını sağlamak ve daha iyi yorum veren en basit yapıya ulaşmak için, verilere, ortogonal rotasyon yöntemlerinden biri olan Varimaks yöntemi uygulanmıştır. En düşük faktör yükü (factor loading) 0.316 kabul edilmiştir; bu değer altındaki faktör yükleri, varyansa katkıları %10'un altında kalması nedeniyle, dikkate alınmamıştır. PCA sonucu elde edilen modelin açıkladığı varyans %82.019 olmuştur. İlk faktöre WCST'nin perseverasyonla ilgili puanları yüklenmiştir (açıklanan varyans: %57.605). İkinci faktöre WCST'nin kavramsallaştırma/irdeleme ile ilgili puanları yüklenmiştir (%24.413). Bu faktör yapısı, WCST'nin geleneksel formu için elde edilen yapıyla uyumludur (Karakas ve ark. 1999b).

Katılımcılar toplam doğru puanına (WCST3) göre düşük ve yüksek doğru tepki puan gruplarına ayrılmıştır (Grup 1: 78 puan ve altı, 18 katılımcı; Grup 2: 81 puan ve üstü, 16 katılımcı). Doğru tepki verme düzeyinin, WCST'nin diğer puanları ve söz konusu puanların alınması sırasındaki tepki zamanları üzerindeki etkisi çok-değişkenli varyans analizi (multivariate analysis of variance: MANOVA) ile incelenmiştir. Analiz sonuçları doğru tepki verme düzeyinin tepki zamanını etkilemediğini (doğru tepki sayısı ile tepki zamanı arasında ilişki olmadığını) ortaya koymuştur. Düşük ve yüksek doğruluk düzeyinin tepki zamanlarından yordanabilirliği lojistik regresyonun geriye doğru olan (backward) şekli ile analiz edildiğinde, modelin doğruluk derecesi %78.57 olarak bulunmuş ancak ki-kare değeri anlamlı olmamıştır.

MANOVA doğru tepki düzeyinin WCST puanlarından WCST1, WCST10 ve WCST12 puanlarını (bkz. Tablo 1) etkilediğini ortaya koymuştur (WCST1: $F_{(1,28)}=6.081, p=.021$; WCST10: $F_{(1,28)}=21.428, p=.0001$; WCST12: $F_{(1,28)}=16.555, p=.0001$). Ancak lojistik regresyon doğru tepki düzeyinin diğer WCST puanlarından yordanamadığını göstermiştir.

Elektrofizyolojik Ölçümlere İlişkin Bulgular: Tepkiye-Kilitli ERP Zirveleri

Elektrofizyolojik analizlere yönelik olarak her tepkiden sonra kaydedilen, tepkiye-kilitli (response-locked) tek süpürüm (single sweeps) ERP'ler kaydedilmiştir. Bu süpürümler WCST puan türüne göre ayrıştırılmış, denekler için ortalama ERP'ler ve daha sonra

da her puan koşulu için genel ortalamalar hesaplanmıştır.

şekil 1'de ortalama ERP'lerin 30 elektrot lokasyonundaki topografik dağılımı verilmektedir. ERP grafikleri, tepkiye bağımlı bileşenleri temsil etmekte olup tepki ânı dikey çizgilerle işaretlenmiştir. Her elektrot alanı için verilen 1-4. eğrilerden ilk ikisi doğru tepki puanları (WCST3, WCST10), son ikisi ise yanlış tepki puanları (WCST6 ve WCST7) altında elde edilmiştir (bkz. Tablo 1).

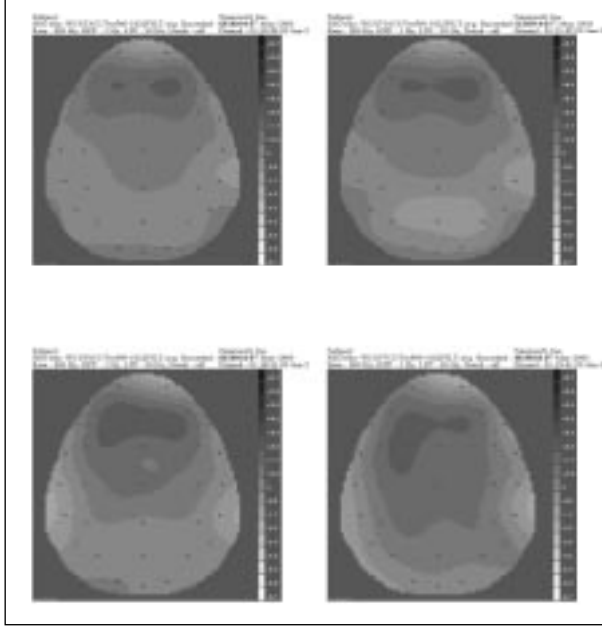
ERP'lerdeki zirvelerin, tepkinin doğru (WCST3, WCST10) ve hatalı (WCST6, WCST7) olmasından bağımsız biçimde fronto-sentral elektrotlarda daha belirgin olarak elde edildiği görülmektedir. Sajital elektrotlara doğru zirvelerin genliği giderek azalmış, oksipital elektrotlarda da sâdece erken bileşenler kaydedilmiştir. Her iki tepki türü için ortahat elektrotlarında daha büyük olarak elde edilen büyük ve yaygın bir pozitive kaydedilmiştir. Bu pozitive anterior alanlarda erken ve geç bileşenlere ayrılmıştır. Hatalı puan koşulları altında frontal bölgede elde edilen pozitivitenin sol hemisfere lateralize olduğu gözlenmiştir.

şekil 2'de zamansal cevapların genliklerinin topografik dağılımının haritaları sunulmaktadır. Bu haritalar da, genlik yoğunluğunun fronto-sentral alanlarda bulunduğunu, özellikle hatalı tepkilere (WCST6, WCST7) ilişkin aktivasyonun frontosentral ve frontal koronal eksenlerde sol hemisfere lateralize olduğunu göstermektedir (ayrıca bkz. şekil 1)

şekil 1. Wisconsin Kart Eşleme Testinden alınan puan koşullarına ilişkin ortalama olay-ilişkili potansiyellerin (ERPs) topografik dağılımı. Her elektrot alanında, WCST3, WCST10, WCST6 ve WCST7 puan koşulları altında elde edilen ERP'ler anılan sıra içinde altalta sunulmuştur. Tepki anı dikey çizgiyle işaretlenmiştir. X- ve Y-eksenlerinin değerleri sol alt köşede verilmiştir.



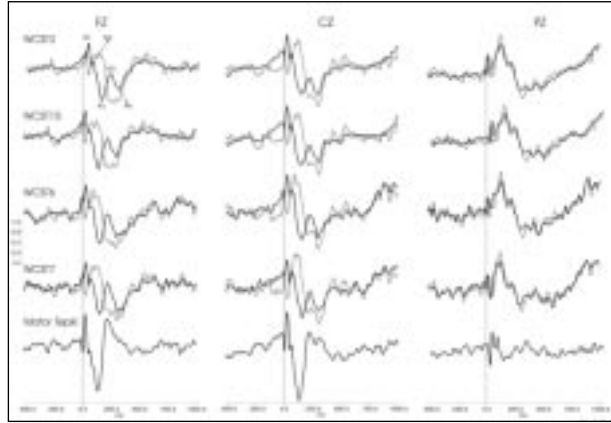
Şekil 2. Wisconsin Kart Eşleme Testinden doğru tepkiler (ilk sıra: WCST3, WCST10) ve yanlış tepkiler (ikinci sıra: WCST6, WCST7) için elde edilen zamansal cevapların şiddet dağılımı haritasının üstten (dorsal) görünümü.



Bileşenlerin ortahat elektrotlarında baskın olması nedeniyle dört farklı puan (doğru tepkilere ilişkin WCST3 ve WCST10, hatalı tepkilere ilişkin WCST6 ve WCST7) koşulu altında elde edilen ERP'ler (koyu olarak çizdirilmiş olanlar) Şekil 3'te üç ortahat elektrodu (Fz, Cz, Pz) için sunulmaktadır. Şekil 3 incelendiğinde, ERP'deki hâkim yapının büyük bir negativite ve bunu izleyen büyük bir pozitiviteden oluştuğu ve bu iki zirvenin bir N-P kompleksine yol açtığı görülmektedir. Frontal ve santral alanlardan kaydedilen ERP'lerde her iki ana zirve birbirini izleyen ikişer alt zirveyi (N1, N2/P3, P4) içermiştir. Posterior alanlardan kaydedilen ERP'lerde ise bu alt zirveler ortadan kalkmıştır. Ortaya çıkış sırası ve polaritelerine göre zirveler N1 (latans: 38.973–44.757 ms), N2 (latans: 84.162–149.460 ms), P3 (latans: 156.649–410.648 ms), N3 (latans: 224.162–452.973 ms) ve P4 (latans: 308.216–536.108 ms) olarak adlandırılmıştır.

Anteroposterior ortahat ekseninde elde edilen zirvelere puan koşullarının etkisi çok-değişkenli varyans analizi (multivariate analysis of variance: MANOVA) ile test edilmiştir. Analiz sonuçları WCST puan koşullarının N1, N2, N3 ve P3 zirveleri üzerindeki etkisinin anlamlı olmadığını göstermiştir. Buna karşılık puan koşullarının P4 alt zirvelerinin genlikleri üzerindeki etkisi anlamlı bulunmuştur (Wilks lamb-

Şekil 3. Wisconsin Kart Eşleme Testinin puan koşulları altında (1. sıra: WCST3, 2. sıra: WCST10, 3. sıra: WCST6, 4. sıra: WCST7) Fz (1. sütun), Cz (2. sütun) ve Pz (3. sütun) elektrot alanlarından kaydedilen ortalama olay-ilişkili potansiyeller koyu olarak çizdirilmiştir. Motor tepki şablonu çıkarıldıktan sonra elde edilen ERP'ler açık olarak çizdirilmiştir. Tepki anı "0" olarak belirtilmiştir.



da: $F_{(9,346)}=2.733, p=.004$). Anamlılığın hangi elektrotlar arasındaki farklardan kaynaklandığını belirlemek için verilere *post hoc* analiz uygulanmıştır. Analiz sonuçları anlamlı farkın doğru tepkiye ilişkin puanlarla (WCST3, WCST10) hatalı tepkiye ilişkin puanlarla (WCST6, WCST7) arasındaki farktan kaynaklandığını ortaya koymuştur (WCST6>WCST3, $p=.012$; WCST6>WCST10, $p=.005$; WCST7>WCST3, $p=.021$; WCST7>WCST10, $p=.009$). Bu farklılıklar üç ortahat elektrodundan sadece Fz için elde edilmiştir.

İzleyen analizlerde elektrot alanı ve zirve türünün zirvelerin genliğine etkisi 3×5 faktörlü tekrar-ölçümlü (repeated) ANOVA ile incelenmiştir. Puan koşulları zirve genliklerini anlamlı olarak etkilediğinden, ANOVA her puan türü için ayrı ayrı yapılmıştır. ANOVA'da bağımsız değişkenler elektrot alanı (Fz, Cz, Pz) ve zirve türü (N1, N2, P3, N3, P4), bağımlı değişken ise zirvelerin bulunduğu latansdaki genlik değerleri olmuştur. Veriler sferisite (sphericity) için test edilmiş, sferik olanlarla ilgili anlamlılık değerleri hiçbir düzeltmeye tabi tutulmadan sunulmuştur. Aşağıda bu gibi verilere ilişkin anlamlılık değerleri doğrudan verilmiştir. Sferik olmayanlarda ise serbestlik dereceleri Greenhouse-Geisser epsilon değerleri ile çarpılmış, yeni serbestlik dereceleri elde edilmiş, bu serbestlik dereceleri kullanılarak yeni F değerleri hesaplanmış, ve anlamlılık düzeyleri bu işlemde sonra değerlendirilmiştir. Aşağıda verilen bu gibi verilere ilişkin anlamlılık değerlerinin başında Greenhouse-Geisser düzeltmesi yapılmış olduğu

belirtilmektedir. Analiz sonuçları elektrot alanının genlik üzerindeki etkisinin tüm puan türleri için anlamlı olduğunu göstermiştir (WCST3: Greenhouse-Geisser $F_{(2,58)}=7.165$, $p=.003$; WCST10: Greenhouse-Geisser $F_{(2,56)}=3.593$, $p=.044$; WCST6: $F_{(2,72)}=4.101$, $p=.021$; WCST7: $F_{(2,72)}=7.202$, $p=.001$). Anlamlılığın hangi elektrotlar arasındaki farklardan kaynaklandığını belirlemek için verilere *post hoc* analiz uygulanmıştır. Çoklu karşılaştırmalardan doğabilecek Tip I hatayı önlemek için verilere "Holme's Sequential Bonferroni" düzeltmesi uygulanmıştır. WCST3'e ilişkin ERP tepkileri bütünü ortahat Fz ve Cz'de, WCST10'a ilişkin tepkiler bütünü Fz'de, WCST6'ya ilişkin tepkiler bütünü Fz'de ve WCST7'ye ilişkin tepkiler bütünü Cz'de daha büyük olmuştur. Buna göre puan türünden bağımsız olarak anterior (Fz, Cz) alanlarda elde edilen ERP zirveler bütünü, posterior (Pz) alandaki analog zirveler bütününden daha büyük olmuştur. Bu sonuçlar, WCST'nin anılan puan türleri altında elde edilen tepkiye-kilitli ERP'ler bütünü'nün frontosentral alanlarla ilgili olduğuna işaret etmektedir.

Zirve türü (N1, N2, P3, N3, P4) genlik değerlerini etkilemiştir (WCST3: Greenhouse-Geisser $F_{(2,79)}=145.062$, $p=.0001$; WCST10: Greenhouse-Geisser $F_{(2,72)}=151.042$, $p=.0001$; WCST6: Greenhouse-Geisser $F_{(2,65)}=104.955$, $p=.0001$; WCST7: Greenhouse-Geisser $F_{(2,75)}=160.920$, $p=.0001$). Tekrarlı ölçümlerde tüm puan koşullarında birbirini izleyen dört zirve (N2, P3, N3, P4) N1'den daha büyük olmuştur. İzleyen üç zirve (P3, N3, P4) N2'den daha büyük olmuştur. N3, P3'den, P4 de N3'den daha büyük olmuştur. Bu sıralama söz konusu ERP kompleksinin N-P biçiminde bir ana negatif zirve (alt zirveler, N1 ve sadece ondan daha büyük olan N2) ile bir ana pozitif zirveden (P3 ve P4 ile bu ayrımı sağlayan N3) oluştuğunu ortaya koymaktadır.

Topografi ve zirvenin ortak etkisi de tüm puanlar için anlamlı bulunmuştur (WCST3: Greenhouse-Geisser $F_{(3,113)}=7.008$, $p=.0001$; WCST10: Greenhouse-Geisser $F_{(3,117)}=11.113$, $p=.0001$; WCST6: Greenhouse-Geisser $F_{(3,120)}=6.128$, $p=.0001$; WCST7: Greenhouse-Geisser $F_{(5,164)}=6.907$, $p=.0001$). Bu sonuca göre zirvelerin büyüklüğü elektrot alanına göre değişkenlik göstermektedir.

Motor Tepkiye İlişkin ERP ve Tepkiye-Kilitli ERP Dalgaformuna Etkisi

Şekil 3'ün alt bölümünde Fz, Cz ve Pz lokasyonlarında parmak basma tepkisi için kaydedilen motor potansiyeller verilmektedir. Koyu renkte çizdirilmiş dalgaformları ERP kayıtlarını, açık olarak çizdirilmiş olanlar ise, ERP'lerden aynı elektrot alanından kayde-

dilen motor şablon çıkarıldığında ortaya çıkan dalgaformlarını vermektedir. Açık olarak çizdirilmiş ERP'ler incelendiğinde, çıkarma işleminin Pz'den kaydedilen dalgaformunda belirgin bir değişikliğe yol açmadığı, buna karşılık Fz ve Cz'den kaydedilen dalgaformlarının morfolojisini değiştirdiği görülmektedir. Motor tepkinin katkısı eğrilerden çıkarıldığında, dalgaformundaki alt zirvelere ayrışma durumu ortadan kalkmakta, geriye temel N-P kompleksi kalmaktadır. Bu kompleksdeki pozitivite ise latansı itibarıyla P4 zirvesi ile çakışmaktadır.

TARTIŞMA

Bu çalışma hem doğru tepki hem de hatalı tepki verildiğinde aynı ERP dalgaformunun elde edildiğini; bunun alt zirvelere (N1, N2, N3/P3, P4) ayrışan bir N-P kompleksi biçiminde olduğunu ortaya koymuştur. Bu zirvelerden sadece P4'ün genliği tepkinin doğruluğuna bağlı olarak değişmiş, hatalı tepkilerde (perseveratif hata: WCST6, perseveratif olmayan hata: WCST7) P4 genliği, sadece frontal bölgede, doğru tepkilerdekinden (doğru tepki: WCST3, kavramsal düzey tepki sayısı: WCST10) daha yüksek olmuştur. P4, tepkiye-kilitli ERP'den parmak basma tepkisi çıkarıldıktan sonra da varlığını sürdürmüştür.

Davranışsal Bulgular ve İlişkili Yorumlar

Wisconsin Kart Eşleme Testi'nde tepkiler sadece doğru veya hatalı tepkiler olarak değil (WCST2, WCST3), çeşitli bilişsel işlevleri temsil edecek biçimde de puanlanmaktadır (tamamlanan kategori, WCST4; perseveratif olan hata sayısı, WCST6; perseveratif olmayan hata sayısı, WCST7; ilk kategoriye tamamlamada kullanılan deneme sayısı, WCST9; kavramsal düzey tepki sayısı, WCST10; kurulumu sürdürmede başarısızlık, WCST12). Testte bu puanların temsil ettiği özellikleri belirlemek üzere uygulanan temel bileşenler analizi, puanların, perseverasyon (1. faktör) ve kavramsallaştırma/irdeleme özelliklerini (2. faktör) ölçtüğünü ortaya koymuştur. Bu yapı, geleneksel formun Türk standardizasyonu için elde edilenle uyumlu olduğunu göstermektedir (Karakaş 2004; Karakaş ve ark. 1999b). Bu sonuç WCST'nin NeuroScan 4.2 ile gerçekleştirilen bilgisayar uygulamasında tetiklenen bilişsel işlevlerin, geleneksel uygulama sonucu tetiklenenlerle benzeştiğini psikometrik olarak ortaya koymakta, WCST'nin bilgisayar formunun geçerliğine işaret etmektedir.

Davranışsal analizler doğru tepki sayısı (WCST3) düzeyinin tepki zamanını etkilemediğini; diğer WCST puanları (WCST1, WCST10, WCST12) üzerinde ise an-

lamli etki yaptığını göstermiştir. Birbiriyle ilişkili WCST puanlarının bu etkiyi yaratması doğaldır. Ancak lojistik regresyon analizi, doğruluk düzeyinin diğer WCST puanlarından yordanamadığını, bu defa tepki zamanlarından yordanabileceğini göstermiştir. Bu çelişkili durumun, ilerideki çalışmalarla açıklığa kavuşturulması gerekmektedir. Ancak bu durum, bir yandan da, salt davranışsal analizlerin bilişsel süreçleri açıklamada yeterli olmadığına işaret etmekte, insan bilişsel süreçlerinin araştırılmasında, farklı yaklaşım ve ölçüm türlerinin aynı anda kullanılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Elektrofizyolojik Bulgular ve İlişkili Yorumlar: Olay-İlişkili Potansiyeller

Motor bir tepkinin verilmesi sırasında ortaya çıkan tepki-öncesi, tepki-ânı ve tepki-sonrası değişimlerin tipik modeli, diğer bir deyişle motor potansiyel, Deecke, Grözinger ve Kornhüber (1976) tarafından açıklanmıştır. Bu şablondaki tepki-sonrası değişimler P2/P200 şeklindeki bir pozitivite ile beceri gerektiren bir tepki söz konusu olduğunda, geç bir pozitiviteyi (skilled performance positivity: SPP) içermektedir. Tepki doğruluğunun etkisinin incelendiği daha sonraki çalışmalarda, tepkiye-kilitli ERP dalgaformunun bir negatif zirve ve bunu izleyen pozitiviteden oluştuğu, pozitivitenin ise motor potansiyel modelinde olduğu gibi, erken ve geç alt zirvelerinin olduğu bulunmuştur (Falkenstein ve ark. 1990, 1991, Gehring ve ark. 1990, Leuthold ve Sommer 1999). Mevcut çalışmada da tepkiye-kilitli ERP zirveleri bir N-P kompleksi şeklinde olmuş; bunun kapsamında alt zirveler (N1, N2, P3, N3, ve P4) yer almış; istatistiksel analizler bu zirvelerin N1/N2 ve P3/P4 şeklinde gruplandığını ortaya koymuştur.

Mevcut çalışmada WCST puan koşulları altındaki N-P dalgaformu özellikle frontosentral alanlarda güçlü olarak ortaya çıkmıştır (bkz. ilgili 3 x 5 ANOVA sonuçları). Bu bulgu, WCST performansının özeld frontal bölge işlevselliği ile ilgisini ortaya koyan görüntüleme çalışmaları ile uyumludur (tarama için H. Karakaş ve S. Karakaş 2000, ayrıca bkz. Arnett ve ark. 1994, Cabeza ve Nyberg 2000, Dao-Castellana ve ark. 1998, Hanninen ve ark. 1997, Karakaş 2000, Volz ve ark. 1997, Lombardi ve ark. 1999). Kafa travması geçirmiş hastalardaki PET sonuçları, perseveratif cevapla sağ dorsolateral prefrontal korteksin ilişkili olduğunu göstermiş, sağlıklı bireylerde WCST uyarımı sağa lateralize edilebilen frontal aktivasyona yol açmış (Voltz ve ark. 1997), bu aktivasyon dorsolateral prefrontal

kortekse, orta ve inferior frontal girusları içerecek şekilde lokalize edilmiştir (Omori ve ark. 1999).

Ancak bazı çalışmalarda WCST performansı sırasında posterior alanlar dâhil diğer beyin alanlarında da aktivasyon gözlenmiştir (Atkinson ve ark. 2003, Barcelo 2001, Barcelo ve Rubia 1998, Nakazawa ve ark. 1993, Rebai ve ark. 1997). Mevcut çalışmada da, WCST performansına ilişkin aktivasyonun diğer beyin alanlarına da zayıflayarak yayıldığı görülmüştür (bkz. Şekil 1, 2 ve 3). Bu bulgu, beyinde işlevlerin paralel ve seçici olarak dağılmış sinir ağlarında örgütlendiğini öne süren çağdaş teori ve modellerle uyumludur (tarama için bkz., Karakaş ve Başar baskıda, Başar 1999, Bressler 1995, Fuster 1995, Goldman-Rakic 1988, Mesulam 1990).

N-P Kompleksi ve Hatalı Tepki ile İlişkisi P3 ve P4'ün Tepki Hatası Belirleme ile İlişkisi

Literatürdeki ilk çalışmalarda N-P kompleksindeki negatif ve pozitif zirvelerin hatalı tepkilerden sonra ortaya çıktığı bulunmuş, bu nedenle de sözkonusu bileşenler hata-ilişkili negativite (ERN) ve hata-ilişkili pozitivite (P_e) olarak adlandırılmıştır (Falkenstein ve ark. 1990; Gehring ve ark. 1990). İzleyen çalışmalarda negatif bileşenin doğru tepkilerden sonra da ortaya çıktığı bulunmuştur (Coles ve ark. 2001, Vidal ve ark. 2000). Mevcut çalışmada N-P kompleksindeki negatif zirvelerin genliklerinin, tepkinin doğru (WCST3 ve WCST10 puan koşulları) veya hatalı (WCST6 ve WCST7 puan koşulları) olmasına göre değişmediği görülmüş, her iki tepki türünde de aynı genlik değerindeki zirveler elde edilmiştir (Şekil 1, 3). Negativitenin hem hataya bağlı olarak hem de doğru tepki verildiğinde ortaya çıkması, literatürdeki iki ayrı bulgu grubunun her birinin 'öykünün bir kısmını' anlattığına işaret etmektedir.

Mevcut çalışmada N-P'nin pozitif bileşeni frontosentral alanlarda iki alt zirve olarak ortaya çıkmış, posterior alanlarda bu iki zirve yaygın bir pozitivite formuna dönüşmüştür. N-P kompleksindeki pozitif bileşeni oluşturan P3 ve P4 zirveleri de, negatif zirveler gibi, hem hatalı tepkinin hem de doğru tepkinin verildiği puan koşullarında elde edilmiştir (Şekil 1, 3). Ancak P3 ve P4'de ayrıca puan türü etkisi görülmüş, doğru tepki koşulundaki genlik değerleri yanlış tepki koşulundaki değerlerden dâima daha düşük çıkmıştır (bkz. tek yönlü ANOVA sonuçları ve *post hoc* analizler). Bu bulgular tepkiye-kilitli N-P kompleksini açıklamada hata belirleme modelinin (Falkenstein ve ark. 1990, Gehring ve ark. 1993) geçerli olmadığına işaret

etmekte, daha çok tepki-rekabeti modelinin (Botvinick ve ark. 2001, Carter ve ark. 1998) açıklayıcı olduğuna işaret etmektedir.

Tepki Doğruluğunu Belirleme: P3

Mevcut çalışmada parmakla düğmeye basma tepkisi için oluşturulan şablon, tepkiye-kilitli ERP dalga-formundan çıkarıldığında, iki pozitif zirveden P3 her iki tepki koşuluna ilişkin ERP'lerde de ortadan kalkmıştır (bkz. Şekil 3'te açık renkte çizilmiş ERP'ler). Bu bulgu erken pozitif zirvenin (P3) motorik nitelikte olduğunu, hata-ilişkili bir niteliğinin bulunmadığını göstermiştir. Pozitivitenin sol hemisferde, frontal ve sentral elektrotlarda gözlenen lateralizasyonu sağ elini kullanan deneklerdeki motor potansiyelin topografyası ile de uyumlu olmuştur (Şekil 1). Erken pozitivitenin hatalı tepkiye bağlı bir bileşen olduğu ve hata-ilişkili negativite (ERN) ile ilişkili olduğu yolundaki bulgular da, erken pozitivitenin belirtilen özellikleriyle uyumlu olmuştur (Van Veen ve Carter 2002).

Çıkarma işleminin sonucunda ERP dalga formunda varlığını sürdüren pozitivitenin latansı ise P4 ile uyumlu olmuştur (bkz. Şekil 3'te açık renkte çizilmiş ERP'ler). Tepki şablonunun çıkarılmasından sonra da varlığını sürdürmesi, bu geç pozitivitenin (P4) motorik olmadığına, algısal-bilişsel işlevleri temsil ettiğine işaret etmektedir. Uyarıcıya-kilitli bir bileşen olan P300'ün geç P3b bileşeni, posterior alanlardan ortaya çıkar ve çalışma belleği, aktif dikkat ve yapılacak davranıma karar verme süreçleri ile ilgilidir (Karakaş 1997, Naatanen ve Picton 1986, Naatanen 1990, 1992, Polich 1986, Polich ve Kok 1995, Polich ve Margala 1997, Sutton ark. 1965). Davies ve arkadaşları (2001) geç pozitivitenin tepkiye ilişkin hatayı saptamayla ilgili bir P300 tepkisi olduğunu öne sürmüştür. Motorik nitelikte olma olasılığı bulunan P4'ün P3b'nin analogu olarak düşünülmesi mümkün görülmektedir.

Ancak P4 bir de doğru ve hatalı tepkilerde farklılaşmıştır. Pozitivitenin bilinçli hata-işleme süreçleri ile mi yoksa tepki stratejilerinin seçilmesi/plânlanması ile mi ilgili olduğu veya bunun değerlendirme sürecinin kendisini mi temsil ettiği henüz kesinleşmemiştir (Falkenstein ve ark. 2000; Vidal ve ark. 2000). Çalışmamızda P4 posterior elektrotlara doğru P3b gibi güçlenmiş, bu elektrotlarda yegâne pozitivite olarak kalmış, sadece hatalı tepkiyi değil (van Veen ve Carter 2002) doğru tepkiyi de genliği ile temsil etmiştir. Bütün bunlar P4'ün, 'tepkinin doğruluğu' konusundaki değerlendirme/farkındalığı temsil ettiğine işaret etmektedir.

Tepkinin doğruluğunun farkına varılmasını temsil eden P4'ün bir üst-biliş (meta-cognition) olayı olarak

değerlendirilmesi mümkündür. Son yıllarda deneysel psikoloji alanında incelenmeye başlanan üst-biliş, bilgi işleme sürecinin çatısında yer alan bilişsel işlemleri izleyen, denetleyen ve yöneten kişinin kendi zihnindeki olay ve işlevlerin farkında olmasını ve bunları amaçlı olarak yönlendirmesini sağlayan kompleks bir bilişsel süreçtir (Crick 2000, Dienes ve Perner 1999, Karakaş, Irak ve Bekçi 2003, Koriat 1993, Nelson ve ark. 1984, Tekcan ve Aktürk 2001). Üst bilişin ileriye-dönük (prospective) yaptığı izleme türleri arasında henüz gerçekleşmemiş öğrenmeler (tepkiler) konusunda kararlar verilmesi, nelerin ve hangi stratejiler kullanılarak en kolay öğrenilebileceği (doğru tepkinin verilebileceği) o anda doğru olarak hatırlanabilenlerden (verilen doğru tepkilerden) gelecekteki performansın yordanması o anda hatırlanamayan maddelerin (veya verilen yanlış tepkilerin) daha ileride yapılacak bir başka oturumda ne derece bilinebileceği veya hatırlanabileceği (tepkinin doğru olarak verilebileceği) (Nelson ve Narens 1990) bulunmaktadır. Literatürde hâlen algısal-bilişsel süreçlere ve özelde belleğe ilişkin olarak çalışılan üst-bilişin doğru ve hatalı tepkiler sırasında da etkinlikte bulunmaması için hiçbir neden olmadığı gibi, bunun böyle olmasının büyük de bir uyumsal değeri vardır. Tepki verildikten sonraki en geç bileşen olan ve tepkinin doğru veya yanlış olmasına göre değişen P4'ün tepkilere ilişkin bir ileriye-dönük üst-biliş işlemini temsil edip etmediği, ilerideki ayrıntılı çalışmaların konusu olmalıdır.

KAYNAKLAR

- Arnett PA, Rao SM, Bernardin L, Grafman J, Yetkin FZ, Lobeck L (1994) Relationship between frontal lobe lesions and Wisconsin Card Sorting Test Performance in patients with multiple sclerosis. *Neurology*; 44: 420-425.
- Atkinson CM, Drysdale KA, Fulham WR (2003) Event-related potentials to Stroop and reverse Stroop stimuli. *Int J Psychophysiol*; 47: 1-21.
- 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? *Span J Psychol*; 4: 79-100.
- Barcelo F, Munoz-Cespedes JM, Pozo MA, Rubia FJ (2000) Attentional set shifting modulates the target P3b response in the Wisconsin Card Sorting Test. *Neuropsychologia*; 38: 1342-1355.
- Barcelo F, Perianez JA, Knight RT (2002) Think differently: A brain orienting response to task novelty. *Neuroreport*; 13: 1887-1892.
- Barcelo F, Rubia FJ (1998) Non-frontal P3b-like activity evoked by The Wisconsin Card Sorting Test. *Neuroreport*; 9: 747-751.
- Başar E (1999) Brain Function and Oscillations: II. Integrative

- Brain Function. Neurophysiology and Cognitive Processes. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Botvinick MM, Braver TS, Barch DM, Carter CS, Cohen JD (2001) Conflict monitoring and cognitive control. *Psychol Rev*; 108: 624-652.
- Bressler SL (1995) Large-scale cortical networks and cognition. *Brain Res Rev*; 20: 288-304.
- Cabeza R, Nyberg L (2000) Imaging cognition II: an empirical review of 275 PET and fMRI studies. *J Cogn Neurosci*; 12: 1-47.
- Carter C, Braver T, Barch D, Botvinick M, Noll D, Cohen J (1998) Anterior cingulate cortex, error detection, and the online monitoring of performance. *Science*; 280: 747-749.
- Coles MG, Scheffers MK, Holroyd CB (2001) Why is there an ERN/Ne on correct trials? Response representations, stimulus-related components, and the theory of error-processing. *Biol Psychol*; 56: 173-189.
- Crick F (2000). Şaşırıtın Varsayım. Say S (Çeviren). Ankara. Tübitak.
- Dao-Castellana MH, Samson Y, Legault F, Martinot JL, Aubin HJ, Crouzel C, Feldman L, Barrucand D, Rancurel G, Feline A, Syrota A, (1998) Frontal dysfunction in neurologically normal chronic alcoholic subjects: metabolic and neuropsychological findings. *Psychol Med*; 28: 1039-1048,
- Davies PL, Segalowitz SJ, Dywan J, Pailing PE (2001) Error-negativity and positivity as they relate to other ERP indices of attentional control and stimulus processing. *Biol Psychol*; 56: 191-206.
- Deecke L, Grözinger B, Kornhüber HH (1976) Voluntary finger movement in man: cerebral potentials and theory. *Biol Cybern*; 23: 99-119.
- Dienes Z, Perner J (1999) A theory of implicit and explicit knowledge. Cambridge, Cambridge University Press.
- Falkenstein M, Hohnsbein J, Hoormann J, Blanke L (1990) Effects of errors in choice reaction tasks on the ERP under focused and divided attention. Brunia, C, Gaillard A, Kok, A (Editors). *Psychophysiological Brain Research*. The Netherlands: Tilburg Univ. Press, Tilburg, 192-195.
- Falkenstein M, Hohnsbein J, Hoormann J, Blanke L (1991) Effects of crossmodal divided attention on late ERP components: II. Error processing in choice reaction tasks. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*; 78: 447-455.
- Falkenstein M, Hoormann J, Christ S, Hohnsbein J (2000) ERP components on reaction errors and their functional significance: a tutorial. *Biol Psychol*; 51: 87-107.
- 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.
- Fuster JM (1995) Memory in the Cerebral Cortex: An Empirical Approach to Neural Networks in the Human and Non-human Primate. Cambridge (MA): The MIT Press.
- Gehring WJ, Coles MGH, Meyer DE, Donchin E (1990) The error-related negativity: an event-related brain potential accompanying errors. *Psychophysiology*; 27: 34.
- Gehring W, Goss B, Coles M, Meyer D, Donchin E (1993) A neural system for error detection and compensation. *Psychol Sci*; 4: 385-390.
- Goldman-Rakic, PS (1988) Topography of cognition: parallel distributed networks in primate association cortex. *Ann Rew Neurosci*; 11: 137-156.
- Hanninen T, Hallikainen M, Koivisto K, Partanen K, Laakso MP, Riekkinen PJ Sr, Soininen H (1997) Decline of frontal lobe functions in subjects with age-associated memory impairment. *Neurology*; 48: 148-53.
- Heaton RK (1981) Wisconsin Card Sorting Test Manual. Odessa (FL), Psychological Assessment Resources.
- Johnson R Jr, Rohrbaugh JW, Parasuraman R (1987) Current Trends in Event-Related Potential Research. Amsterdam: Elsevier Science.
- Karakaş HM (2000) Kognitif Nöroradyolojik Yöntem ve Yaklaşımlar. Multidisipliner Yaklaşımla Beyin ve Kognisyon, Karakaş S, Aydın H, Erdemir C, Özemesi Ç (editors). Ankara: Çizgi Tıp Yayınevi, 22-37.
- Karakaş S (1997) A descriptive framework for information processing: an integrative approach. *Int J Psychophysiol*; 26: 353-368.
- Karakaş S (2004) BİLNOT Bataryası El Kitabı: Nöropsikolojik Testler İçin Araştırma ve Geliştirme Çalışmaları. Ankara: Dizayn Ofset.
- Karakaş S, Başar E (Baskıda) Models and theories of brain function in cognition within a framework of established formulations in behavioral cognitive psychology: an essay. *Int J Psychophysiol*.
- Karakaş S, Irak M, Bekçi B (2003) Sağlıklı İnsanda Bilgi İşleme Süreçleri: Biliş ve Üst-biliş, Beyin ve Nöropsikoloji, Karakaş S, İrkeç C, Yüksel N (editors). Ankara: Çizgi Tıp Yayınevi, 31-53.
- Karakaş S, Irak M, Kurt M, Erzenin ÖÜ (1999 b) Wisconsin Kart Eşleme Testi ve Stroop Testi TBAG Formu: ölçülen özellikler açısından karşılaştırmalı analiz. *3P Dergisi*; 7: 179-192.
- Karakaş S, Karakaş HM (2000) Yönetici işlevlerin ayrıştırılmasında multidisipliner yaklaşım: bilişsel psikolojiden nöroradyolojiye. *Klinik Psikiyatri Dergisi*; 3: 215-227.
- Koriat A (1993) How do we know that we know? The accessibility model of the feeling of knowing. *Psychol Rev*; 50: 609-639.
- Leuthold H, Sommer W (1999) ERP correlates of error processing in spatial S-R compatibility tasks. *Clin Neurophysiol*; 110: 342-357.
- Lombardi WJ, Andreason PJ, Sirocco KY, Rio DE, Gross RE, Umhau JC, Hommer DW (1999) Wisconsin Card Sorting Test performance following head injury: dorsolateral fronto-striatal circuit activity predicts perseveration. *J Clin Exp Neuropsychol*; 21: 2-16.
- Mesulam MM (1990) Large-Scale neurocognitive networks and distributed processing for attention, language, and memory. *Ann Neurol*; 28: 597-613.
- Naatanen R (1990) The role of attention in auditory information processing as revealed by event-related potentials and other brain measures of cognitive function. *Behav Brain Sci*; 13: 201-288.
- Naatanen R (1992) Attention and Brain Function. London: Lawrence Erlbaum Assoc.
- Naatanen R, Picton T (1986) N2 and Automatic Versus Controlled Processes, Cerebral Psychophysiology. Studies at Event-Related Potentials. McCallum WC, Zappoli R, Denoth I (editors). (EEG Suppl. 38). North-Holland: Elsevier.

-
- Nakazawa M, Kitamura S, Nagazumi A, Terashi A (1993) [Cognitive function and its evaluation methods in parkinson's disease study including RCPM and ERP]. *Rinsho Shinkeigaku*; 33: 1157-63.
- Nelson TO, Gerler D, Narens L (1984) Accuracy of feeling-of-knowing judgments for predicting perceptual identification and relearning. *J Exp Psychol Gen*; 113: 282-300.
- Nelson TO, Narens L (1990) Metamemory: A Theoretical Framework and New Findings. *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory*. Bower GH, editor. Vol: 26. San Diego: Academic Press, 125-173.
- Omori M, Yamada H, Murata T, Sadato N, Tanaka M, Ishii Y, Isaki K, Yonekura Y (1999) Neuronal substrates participating in attentional set-shifting of rules for visually guided motor selection: a functional magnetic resonance imaging investigation. *Neurosci Res*; 33: 317-323.
- Polich J (1986) Attention, probability, and task demands as determinants of P300 latency from auditory stimuli. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*; 63, 251-259.
- Polich J, Kok A (1995) Cognitive and biological determinants of P300: an integrative review. *Biol Psychol*; 41: 103-146.
- Polich J, Margala C (1997) P300 and probability: comparison of oddball and single stimulus paradigms. *Int. J. Psychophysiol*; 25: 169-176.
- Rebai M, Bernard C, Lannou J (1997) The Stroop's test evokes a negative brain potential, the N400. *Int J Neurosci*; 91: 85-94.
- Sutton S, Braren M, Zubin J, John ER, (1965) Evoked potential correlates of stimulus uncertainty. *Science*; 150: 1187-1188.
- Tatsuoka MM, (1971) *Multivariate analysis: Techniques for Educational and Psychological Research*. New York: Wiley.
- Tekcan Aİ, Aktürk M (2001) Are you sure you forgot? Feeling of knowing in directed forgetting. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*; 27: 1487-1490.
- van Veen V, Carter CS (2002) The timing of action-monitoring processes in the anterior cingulate cortex. *J Cogn Neurosci*; 14: 593-602.
- Van't Ent D (2002) Perceptual and motor contributions to performance and ERP components after incorrect motor activation in a flanker reaction task. *Clin Neurophysiol*; 113: 270-283.
- Vidal F, Hasbroucq T, Grapperon J, Bonnet M (2000) Is the 'error negativity' specific to errors? *Biol Psychol*; 51: 109-128.
- Volz HP, Gaser C, Hager F, Rzanny R, Mentzel HJ, Kreitschmann-Andermahr I, Kaiser WA, Sauer H (1997) Brain activation during cognitive stimulation with the Wisconsin Card Sorting Test: a functional MRI study on healthy volunteers and schizophrenics. *Psychiatry Res*; 75: 145-157.