



## DERLEME / REVIEW

# Mental iş yükü ve uyanık olma durumunda kullanılan nöroergonomik yöntemler

## Neuroergonomic methods used in mental workload and vigilance

Gizem Gül Koç<sup>1</sup>, Ali Kokangül<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Çukurova Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana

*Cukurova Medical Journal 2018;43(Suppl 1):295-300*

### Abstract

Neuroergonomics is the study of the behavior of the human brain. Its theories and principles are based on ergonomics, neuroscience, and the extant literature on human beings. Neuroimaging studies use neuroimaging techniques to understand the structures, mechanisms, and functions of the brain. Neuroimaging techniques are divided into two general categories: direct displays of neuronal activity in response to stimuli, such as electroencephalography (EEG) and positron emission tomography-computed tomography (PET-CT), and indirect metabolic indicators of neuronal activity, such as functional magnetic resonance imaging (fMRI), functional near-infrared spectroscopy (fNIRS), and functional transcranial Doppler sonography (fTCD). This review outlines the techniques and current applications of neuroergonomic methods used in mental workload and vigilance.

**Key words:** Neuroscience, ergonomics, engineering

### Öz

Nöroergonomi, insan beyninin iş performansı ve günlük yaşam sırasında karşılaşılan beyin fonksiyonu ve davranışları hakkında değerli bilgiler elde edebilme adına geliştirilen bir bilim dalıdır. Teori ve prensiplerini ergonomi, sinirbilim ve insan faktörlerinden alır. Nöroergonomi çalışmaları sırasında beyin yapılarını, mekanizmalarını ve işlevlerini anlamak için nörogörüntüleme teknikleri kullanılır. Nörogörüntüleme teknikleri, iki genel kategoriye ayrılır; bunlar, elektroensefalografi gibi (EEG) gibi uyarılara cevapta nöronal aktivitenin direkt göstergeleri ve pozitron emisyon tomografisi - bilgisayarlı tomografi (PET-BT), fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI), fonksiyonel yakın kızılötesi spektroskopisi (fNIRS), fonksiyonel Transkranyal Doppler (fTCD) gibi nöronal aktivitenin indirekt metabolik göstergeleridir. Bu derlemede mental iş yükü ve uyanık olma durumunda kullanılan nöroergonomik yöntemler gözden geçirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Nörobilim, ergonomi, mühendislik

## GİRİŞ

Son 30 yıl içinde nörobilim alanındaki gelişmeler hız kazanmış olup her geçen gün hem tanı hem de tedavi alanında devrim niteliğinde çalışmalar insanlığın hizmetine sunulmaya başlanmıştır. Ergonomi biliminin keşfedildiği tarihten bu yana insan faktörü ve ergonomi (İF/E) kendini yenileme ve geliştirme adına diğer disiplinleri ilgilendiren alanlarda kendine yer bulmaya çalışmış çalışmaya da devam etmektedir. Nitekim nörobilim alanındaki yeni gelişmeleri göz ardı etmeyen ergonominin son etki alanı nöroergonomidir<sup>1,2</sup>. İnsanlar ve bilgisayarlar, günlük yaşamda işlev gören “ortak

bilşsel sistemler” içerir. Nöroergonomi, günlük hayattaki beyin yapısı ve fonksiyonu ile nörobilim, insan faktörleri, bilişsel psikoloji ve ergonomi unsurlarını birleştiren multidisipliner bir bilim dalıdır. Evde, işte ve arabada seyahat etmek gibi çok değişik ortamlarda insan davranışını ve performansının daha iyi anlaşılması için araştırmalara olanak tanımaktadır<sup>3</sup>. Nörobilim ve bilişsel psikoloji, kontrollü laboratuvar ortamlarında bilişin altında yatan nöral yapılara ve zihinsel süreçlere odaklanırken, ergonomi doğalcı davranışlarla daha çok ilgilenmektedir<sup>3</sup>. Bu bilim sayesinde insanların çevre ile ilgili olarak nasıl düşündükleri ve hareket ettikleri hakkında değerli bilgiler elde edilir.

Yazışma Adresi/Address for Correspondence: Gizem Gül Koç, Çukurova Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, Turkey E-mail: gizemgkoc@gmail.com

Geliş tarihi/Received: 7.7.2018 Kabul tarihi/Accepted: 15.8.2018 Published online: 24.9.2018

Nöroergonomik çalışmalar zihinsel iş yükü ve uyanık olma durumu, adaptif otomasyon, nörobilim ve moleküler genetik ve bireysel farklılıklar olmak üzere dört alanı içermektedir<sup>2</sup>. Çalışmalar bu dört alandan hangisini içerirse içersin hepsinde aşağı yukarı benzer yöntemler kullanılır. Bu derlemede zihinsel iş yükü ve uyanık olma durumu ele alınarak bu alanda kullanılan yöntemler gözden geçirilmiştir.

## ZIHINSEL İŞ YÜKÜ VE UYANIK OLMA DURUMU (VİJİLAN)

Beyin işi olarak değerlendirebileceğimiz zihinsel iş yükü ile ilgili ilk düşünceler Sir Charles Sherrington'a kadar uzanır. Sherrington beyin kan akımı ile zihinsel iş yükü arasında bir ilişki olduğunu düşünmüş daha sonraki yıllarda fonksiyonel magnetik rezonans görüntüleme yöntemleri ile onun bu görüşü doğrulanmıştır<sup>2</sup>. Zihinsel iş yükü ve uyanık olma durumunu değerlendirmek için elektroensefalografi gibi (EEG) gibi uyarılara cevapta nöronal aktivitenin direkt göstergeleri ve pozitron emisyon tomografisi-bilgisayarlı tomografi (PET-BT), fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRG), fonksiyonel yakın kızılötesi spektroskopisi (fNIRS), fonksiyonel Transkranyal Doppler (fTCD) gibi nöronal aktivitenin indirekt metabolik göstergeleri kullanılır. Bu tekniklerin avantajları ve dezavantajları üç başlık altında toplanabilir.

### Bunlar

1. beyin içindeki nöral aktivitenin yerini belirlemede uzaysal çözünürlük,
2. sinirsel işlemenin zamanlamasını belirlemede zamansal çözünürlük ve
3. İF/E'de kullanım kolaylığı<sup>2</sup>.

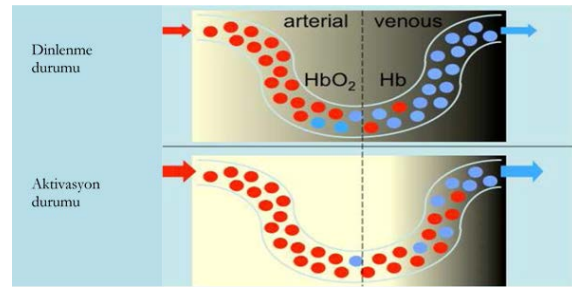
Bu nedenle, fMRI ve PET birinci kriterden yüksek puan alırken, ikinci ve üçüncü kriterlerden alamaz. EEG/UP'ler ise ikinci ve üçüncü kriterler açısından avantajlı iken birinci kriter için dezavantajlıdır.

## FONKSİYONEL MAGNETİK REZONANS GÖRÜNTÜLEME (fMRG)

Beyinde yalnızca konuşma, hesaplama, yazma, çizme gibi yüksek serebral fonksiyonlar sırasında değil aynı zamanda istirahat halinde de süregelen nöronal aktivite söz konusudur. fMRG, beyin aktivitesini ölçmek ve haritalamak için kullanılan noninvaziv ve güvenilir bir nörogörüntüleme yöntemidir<sup>3,4,5</sup>.

Kullanıma girdiği 1990 yılından bu yana nörobilim, klinik psikiyatri/psikoloji ve cerrahi öncesi planlama gibi pek çok çalışmada kullanılmıştır. Bu tekniğin popülaritesi görüntüleme için bir radyoizotop veya başka bir farmakolojik madde enjeksiyonu gerektirmeyen görece düşük maliyetli noninvaziv bir yöntem olmasıdır. Aynı zamanda hastanın tedaviye verdiği cevap veya ilaç etkinliğini araştırmada bir biyobelirteç olarak da kullanılmaya başlanmıştır<sup>6,7,8,9</sup>.

fMRG'deki görüntü kandaki oksijenlenmiş hemoglobin (oksihemoglobin) ile oksijenlenmemiş hemoglobin (deoksihemoglobin) arasındaki manyetik özelliklere bağlı olarak elde edilir<sup>10,11</sup>. Sinir hücrelerinde ortaya çıkan bir aktivasyon beyin ilgili bölgelerinde oksijen tüketimi ve enerji metabolizmasında artışa yol açar. Böylece deoksihemoglobin artar ve manyetik sinyal küçülür. Kandaki hemoglobinin oksijenlenmesinde meydana gelen değişimler sayesinde nöronal aktivitenin hangi nöroanatomik yapıları ilgilendirdiği ortaya konmuş olur<sup>10-15</sup> (Şekil 1).



**Şekil 1. Dinlenme (üst) ve aktivasyon (alt) sırasında beyin dokusunun bir kılcıl damar içeriği**

Kırmızı tamamen oksijenli (HbO<sub>2</sub>), mavi daireler ise tamamen oksijensiz kırmızı kan hücrelerini (hemoglobin- Hb)'i temsil eder. Nöronal aktivasyon sırasında artmış kan akışı oksijensiz Hb'nin azalmasıyla HbO<sub>2</sub> ile yer değiştirmesine neden olarak BOLD sinyalinin artmasına neden olur<sup>10</sup>.

fMRG insan faktörünün olduğu her türlü eylemde kullanılabilir. Ulaşım sektörü de nöroergonominin kullanıldığı alanlardan biri olup fMRG sayesinde sürüş sırasında sürücünün davranışları, karşılaştığı problemler sırasında ortaya koyduğu çözümler ve güvenlik önlemleri incelenebilmektedir. Dünya nüfusunun hızla yaşlandığını göz önünde bulunduran araştırmacılar, 65 yaş ve üstü sürücülerin karıştığı ölümlü kazaların 2030 yılına kadar %155 artacağını düşünmektedirler<sup>15</sup>. Yaşlı sürücülerde görme keskinliğinde azalma gibi gözle ilgili problemler, bilişsel yavaşlama ve dikkat bozukluğu ve yaşa bağlı inme, hafif kognitif etkilenme, diyabet,

hipertansiyon gibi hastalıklar bu kazaların oluşumuna katkı sunmaktadırlar<sup>16,17</sup>.

Görsel ve bilişsel yeteneklerdeki bu değişiklikler, yaşlı sürücülerin sürüş sırasındaki hem araç hem de çevreyle ilişkili bilgileri algılanması ve bunlara cevap verme yeteneğini azaltabilir. Bu durum bu popülasyonda trafik kontrol cihazlarını algılama ve anlama, özellikle gece sürüşleri sırasında manevra yapma zorluklarını açıklamaktadır. Özellikle, bu sürücü grubu, navigasyonu anlamak ve yorumlamak, trafikte sola dönüşler yapmak, şerit değiştirmek gibi trafikte sorunlar yaşar<sup>18</sup>.

Bu yaş grubunda yapılan fMRI çalışmalarında beynin frontal (ön) lobunda normal popülasyona göre daha fazla işlev kaybı olduğu ortaya konmuştur. Bu araştırmalar yaşlı sürücülerin kullandığı arabalarda yaşa bağlı ortaya çıkması muhtemel sorunlar için ek uyarıcı sitem ve ekipmanların geliştirilmesinin önünü açmıştır<sup>19</sup>.

### FONKSİYONEL YAKIN KIZILÖTESİ SPEKTROSKOPİ (fNIRS)

fNIRS, biyofizik, nörobiyoloji, fizik, psikoloji, mühendislik ve informatik alanlarında kullanılabilen, beynin ön kısmındaki kan akışında meydana gelen değişiklikleri ölçerek beyin aktivitesinin doğrudan veya dolaylı olarak ölçülmesine olanak tanıyan fonksiyonel görüntüleme yöntemidir. Altta yatan mekanizma 700-1000 nm dalga boyu aralığındaki kızılötesi ışınlar sayesinde kandaki oksijenlenmiş ve oksijenlenmemiş hemoglobinin konsantrasyonlarındaki değişikliklerin ölçülmesine dayanır<sup>20</sup>.

Bu teknik ile giyilebilir bir beyin resimleme cihazını kullanarak, insanlar etkileşim halinde iken beyinlerinin nasıl senkronize olduğu tespit edilebilmektedir. Beyin korteksindeki (kabuk) etkinliği ölçmek için ışığı kullanan bu yöntem günlük yaşamda kullanılmak üzere bir saç bandı haline dönüştürülmüş durumdadır<sup>20</sup>.

fMRG'den farkı, taşınabilir olması, günlük yaşam aktiviteleri sırasında kullanılabilmesi yani denek hareketinden etkilenmemesi (ki bu durum kullanım alanlarının çeşitliliğini artırmaktadır), fMRG oranla daha yüksek zamansal çözünürlüğe sahip olması EEG, DİP, MRG gibi diğer yöntemler ile aynı zamanda kullanılmaya olanak sunarak çoklu modal çalışmaların önünü açmasıdır. Nöropsikiyatrik çalışmalar yanı sıra pazarlamada da kullanılarak tüketicinin duygularının dolayısıyla davranışının

kaynağının ortaya konmasını olanaklı kılar<sup>20</sup>.

### POZİTRON EMİSYON TOMOGRAFİ (PET) VE BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ

PET-BT, hastanın anatomik ve metabolik durumu hakkında üç boyutlu görüntüler eşliğinde değerlendirme sağlayan bir tomografik sintigrafi tekniğidir. fMRG'de olduğu gibi normal beyin haritalanması nöronal aktivitenin saptanmasında etkili bir yöntemdir<sup>21</sup>. 2000 yılında piyasaya sürüldüğünden bu yana PET / BT, kanserli hastalar başta olmak üzere kalp kasının değerlendirilmesi, nöbet geçiren hastalarda buna yol açan odağın belirlenmesi, Alzheimer ve diğer bunama tipleri, Parkinson hastalığı gibi nörodejeneratif hastalıkların tanı ve tedavisi için yaygın ve etkili bir görüntüleme aracı haline gelmiştir<sup>21,22,23</sup>. Bugün, 5,000'den fazla kombine PET/CT sistemi dünya çapında sağlık sektörünün kullanımındadır<sup>22</sup>. Bu aletle yapılan görüntülemelerin uygun maliyet analizinden günlük yaşam, iş gibi değişik alanlarda kişinin bilişsel ve davranışsal değişimlerinin değerlendirilmesi için kullanılmaktadır.

### P300

P300 çalışmaları da zihinsel iş yükünün yapısının anlaşılmasına katkı sunmuştur. P300 latansı, bir olayda hedefleri belirlemenin zorluğuyla birlikte artarken, cevap seçiminin zorluğu arttıkça artmaz, bu da P300'ün cevap seçimi/uygulamasından bağımsız olarak, algısal işlem/sınıflandırma süresinin nispeten saf bir ölçütünü verdiğini gösterebilir<sup>24</sup>.

Carryl ve ark. ağır siste bağlı araba sürüşe ve görüş şartlarına sırasında algısal talepleri belirlemek ve bu sırada görsel ve işitsel görüntüleme modaliteleri geliştirme amacıyla P300'ü kullanmışlardır. Deneyler sonucu P300'ün tanısal olarak duyarlı bir iş yükü ölçütü olduğunu bildirmişlerdir<sup>25</sup>. Luck (1998) P300 ile yaptıkları zihinsel iş yükü araştırmalarında, teori geliştirilebileceğini öne sürerken, başka çalışmalarda bu yöntemin çoklu kaynak modeline katkı sunabileceği bildirilmiştir<sup>26</sup>.

### ELEKTROENSEFALOGRAFİ

EEG, uyanıklık ve uykuda değişkenlik gösteren beyin dalgalarının değerlendirildiği yöntemdir. Normal bir kişide yaşa göre değişmekle birlikte temel EEG aktivitesi çeşitli frekanslarda ve

amplitüde potansiyeller gösterir. Normal bir EEG göz açıp kapaya reaktif pariyeto-okspital bölgelerde 8-12 Hz frekansında alfa, 13-25 Hz frekanslı frontal ve santral bölgelerde belirgin beta dalgalarından oluşur. Ayrıca sara gibi patolojik durumlarda 4-7Hz frekansında teta ve 1-3Hz frekansında delta aktivitesi gözlenebilir. EEG günlük pratikte beyin yapısız özelliklerinden ziyade o anki fonksiyonel durumunu yansıtan bir laboratuvar yöntemidir. Farklı EEG frekansları artan bellek yüküne duyarlıdır. Özellikle, kişi yaptığı görevi dikkatini yoğunlaştırdıkça ya da kişinin işi fazla dikkat gerektiriyorsa beyin frontal bölgesinde teta aktivitesi artarken, alfa aktivitesi azalır<sup>2</sup>. Bu veriler EEG ölçütleri operatör zihinsel iş yükünün sadece laboratuvarında değil aynı zamanda uçuş, hava trafik kontrol (HTK), yol ve raylı ulaşım gibi işletimsel çevrelerde de kullanılabilmesini göstermiştir. Nitekim Brookings ve arkadaşları HTK'ü üzerine yaptıkları simülasyon ile HTK görevinin iki boyutta zorluğunu, kontrol edilecek uçakların sayısını ve hacmini ve uçak trafiğini kontrolörlerin EEG'lerini kaydetmişlerdir. Kayıtlarda beyin sağ hemisferinde frontal ve temporal bölgelerde teta frekansının iş yüküyle birlikte arttığını gözlemişlerdir. Santral ve parietal alanlar da ise teta aktivitesinin ise artan iş yüküyle birlikte arttığını belirlemişlerdir. Alfa frekansının artan görev yüküyle değil, artan görev karmaşıklığı ile azaldığını bildirmişlerdir<sup>27</sup>. Kontrolörün uyanıklık yani tetikte olma halini (vijilans) değerlendirmek iş yükü değerlendirmesi kadar önemli olup bu konuda yapılan çalışmalar EEG'nin zihinsel iş yükündeki değişikliklere ve gerçekleştirilen bilişsel görevin doğasına duyarlı olduğunu ortaya koymuştur.

Günümüzde EEG ve P300'ün temel mekanizmasını oluşturan beyin sinyalleri, insanın çevre ile etkileşiminde ek bir iletişim kanalı olarak kullanılmaya başlamış ve Nöromühendislik bilimi doğmuştur. Beyin-bilgisayar ara yüzü (Brain-Computer Interface – BCI) denilen mühendisliğin bu alanında son yıllarda önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Beyin bilgisayar ara yüzleri (BBA) geliştirilmesinde en çok kullanılan yöntem anlama, konuşma, okuma, yazma, hesaplama, çizme gibi kognitif fonksiyonların gerçekleştirilmesi sırasında toplanan EEG mental görevler ile ilgili eğitim başta olmak üzere değişik çalışmalara konu olmuştur. Oliviera ve arkadaşları, sessiz okuma ve okumama sırasında EEG kayıtlaması yapmış, EEG sinyallerini en yakın komşuluk algoritması kullanarak %84.41 doğruluk oranı ile sınıflandırmışlardır<sup>28</sup>. Mostow ve

arkadaşları erişkin ve çocuklara basit ve karmaşık metinler okutarak EEG aracılığı ile beyin dalgalarını kaydetmişler, metni okuyan kişinin erişkin veya çocuk olup olmadığı yanı sıra okunan metnin zorluk derecesini %39-%59 gibi bir doğruluk oranıyla birbirinden ayırt edebilmişlerdir<sup>29</sup>.

Galan ve Beal ise kolay ve zor sorulardan oluşan matematik problemleri çözdürdükleri 16 öğrenci üzerinde yaptıkları deneyde öğrencilere kolay ve zor matematik problemlerini çözmelerini istedikleri 16 öğrenciden kaydettikleri EEG sinyalleri ile öğrencilerin soruları doğru ya da yanlış cevaplayıp cevaplayamadıklarını tahmin etmeye çalışmışlardır. Çalışma sonunda kolay problemler için %87, zor problemler için ise %78 gibi oldukça yüksek tahmin oranı yakalamışlardır<sup>30</sup>. Bu alanda yapılan çalışmalar yalnızca tahmin düzeyinde kalmamış aynı zamanda deneklere verilen görevlerden sorumlu nöroanatomik lokalizasyonlarda belirlenmeye çalışılmıştır. Nitekim Sakkalis ve arkadaşları 15 genç gönüllü denek üzerinde yaptıkları çalışmada bu konuda benzer diğer çalışmalara paralel olarak zor problemlerin çözümünde frontal lob ve santral bölgelerin rol oynadığını rapor etmişlerdir<sup>31</sup>. Sharabaty ve arkadaşları, yalnızca beyinden değil gözden de kaydettikleri alfa ve teta aktivitesini dikkate aldıkları çalışmalarında Hilbert Huang Transform (HHT) kullanarak çalışanların biyolojik sinyaller ve bedensel hareketlerinden uyukulu ve stresli olup olmadıklarını belirlemişlerdir<sup>32</sup>.

## FONKSİYONEL TRANSKRANİYAL DOPPLER (fTCD)

fTCD, bilişsel işlevler, vijilans, dil lateralizasyonu değerlendirmek, serebral hemisferlerde arter kan akış hızını ölçmek için kullanılan basit ve non-invaziv bir ultrason tekniğidir. Bu yöntem ile davranışsal olarak ilgili bir sinyalin öngörülmesi sırasında duyuşsal ve motor sistemlerin ayarlanması, reaksiyona hazırlığı optimize etmek için kullanılır<sup>33</sup>.

TCD ile yapılan çalışmalar, çalışanın çalışma zamanına bağlı olarak vijilanstaki azalma ile serebral kan akışı arasında korelasyon olduğunu göstermiştir. Duschek ve arkadaşları fTCD kullanarak 48 denekte orta serebral arterlerde bilateral kan akım hızlarını kaydetmiş, vijilans/kan akışı arasındaki ilişki sağ hemisferde sol hemisferden daha fazla olup dikkat konusunda sağ hemisfer dominant (baskın) olduğunu göstermişlerdir<sup>34,35</sup>. Ayrıca, bu inceleme yöntemi kontrolör, operatör gibi dikkat gerektiren işlerde çalışan kişilerin vardiya ve dinlenme süreleri

hakkında bilgi sağlamaktadır<sup>2</sup>.

## SONUÇ

Nörobilim alanında özellikle son 30 yılda baş döndürücü gelişmeler yaşanmaktadır. Bu gelişmelerde mühendislik alanının katkısı büyüktür. Fakat özellikle Türkiye’de fen ve sağlık bilimciler arasında istenen düzeyde ortak projelerin yapılmadığı bilinen bir gerçektir. Bunda her iki bilim dalındaki araştırmacıların birbirlerinin alanını tam bilmemesi, ortak çalışma kültürünü olmaması veya ilk adımda yaşanan olumsuz çalışma sonuçlarıdır. Oysa nöroergonomi gibi nörobilim ve mühendislik alanında ortak yapılacak işlerin ancak çok azı yapılabilecek durumdadır ve gelecekte yapılacak araştırmalar ve AR-GE yatırımları bu konuya odaklanacaktır ki YÖK, TÜBİTAK gibi kurumlar son altı ay içinde gerek yüksek lisans gerek doktora ayağında nörobilimin ve alt alt disiplinlerini destekleyecek kararlar almışlardır.

## KAYNAKLAR

1. Parasuraman R, Rizzo M. Neuroergonomics: The Brain at Work. New York, NY, Oxford University Press, 2008.
2. Parasuraman R, Wilson GF. Putting the brain to work: neuroergonomics past, present and future. Hum Factors 2008;50:468–74.
3. Lees MN, Cosman JD, Lee JD, Fricke N, Rizzo M. Translating cognitive neuroscience to the driver’s operational environment: a neuroergonomic approach. Am J Psychol. 2010;123:391-411.
4. Bandettini PA, Wong EC, Hinks RS, Tikofsky RS, Hyde JS. Time course EPI of human brain function during task activation. Magn Reson Med. 1992;25:390-7.
5. Kwong KK, Belliveau JW, Chesler DA, Goldberg IE, Weisskoff RM, Poncelet BP et al. Dynamic magnetic resonance imaging of human brain activity during primary sensory stimulation. Proc Natl Acad Sci U S A. 1992;89:5675-9.
6. Ogawa S, Lee TM, Kay AR, Tank DW. Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation. Proc Natl Acad Sci U S A. 1990;87:9868-72.
7. Wierenga CE, Bondi MW. Use of functional magnetic resonance imaging in the early identification of Alzheimer’s disease. Neuropsychol Rev. 2007;17:127–43.
8. Kim D, Sui J, Rachakonda S, White T, Manoach DS, Clark VP et al. Identification of imaging biomarkers in schizophrenia: a coefficient-constrained independent component analysis of the mind multi-site schizophrenia study. Neuroinformatics. 2010;8:213-29.
9. Richards TL, Berninger VW. Abnormal fMRI connectivity in children with dyslexia during a phoneme task: before but not after treatment. J Neurolinguistics. 2008;21:294-304.
10. Wise RG, Preston C. What is the value of human fMRI in CNS drug development? Drug Discov Today. 2010;15:973-80.
11. Glover GH. Overview of functional magnetic resonance imaging. Neurosurg Clin N Am 2011;22:133-39.
12. Buxton RB, Frank LR. A model for the coupling between cerebral blood flow and oxygen metabolism during neural stimulation. J Cereb Blood Flow Metab. 1997;17:64-72.
13. Buxton RB, Wong EC, Frank LR. Dynamics of blood flow and oxygenation changes during brain activation: the balloon model. Magn Reson Med. 1998;39:855-64.
14. Davis TL, Kwong KK, Weisskoff RM, Rosen BR. Calibrated functional MRI: mapping the dynamics of oxidative metabolism. Proc Natl Acad Sci U S A. 1998;95:1834-9.
15. Lyman S, Ferguson SA, Braver ER, Williams AF. Older driver involvements in police reported crashes and fatal crashes: trends and projections. Injury Prev. 2002;8:116-20.
16. Preusser DF, Williams AF, Ferguson SA, Ulmer RG, Weinstein HB. Fatal crash risk for older drivers at intersections. Accid Anal Prev. 1998;30:151-9.
17. Filley CM. Encephalopathies. In: Rizzo M, Eslinger PJ, editors. Principles and Practice of Behavioral Neurology and Neuropsychology. Philadelphia, PA: Saunders. 2004;635–653.
18. Dewar RE. Age differences - Drivers old and young. In: Dewar RE, Olson PL, editors. Human Factors in Traffic Safety. 2. Tucson, AZ: Laywers and Judges Publishing Company, Inc. 2007;143-158.
19. McGwin G Jr., Brown DB. Characteristics of traffic crashes among young, middle-aged, and older drivers. Accid Anal Prev 1999;31:181-98.
20. Lin X, Sai L, Yuan Z. Detecting concealed information with fused electroencephalography and functional near-infrared spectroscopy. Neuroscience. 2018;386:284-94.
21. Fischer BM, Siegel BA, Weber WA, von Bremen K, Beyer T, Kalemis A. PET/CT is a cost-effective tool against cancer: synergy supersedes singularity. Eur J Nucl Med Mol Imaging. 2016;43:1749-52.
22. Zukotynski K, Kuo PH, Mikulis D, Rosa-Neto P, Strafella AP, Subramaniam RM et al. PET/CT of dementia. American Journal of Roentgenology (AJR). 2018;27:1-14.
23. Fischer BM, Siegel BA, Weber WA, von Bremen K, Beyer T, Kalemis A. PET/CT is a cost-effective tool against cancer: synergy supersedes singularity. Eur J Nucl Med Mol Imaging. 2016;43:1749-52.

24. Kutas M, McCarthy G, Donchin E. Augmenting mental chronometry: The P300 as a measure of stimulus evaluation time. *Science*. 1977;197:792-5.
25. Carryl L, Baldwin CL, Coyne JT. Dissociable aspects of mental workload: examinations of the P300 ERP component and performance assessments. *Psychologia*. 2005;48:102-19.
26. Luck S. Sources of dual-task interference: evidence from human electrophysiology. *Psychol Sci*. 1998;9:223–27.
27. Brookings JB, Wilson GF, Swain CR. Psychophysiological responses to changes in workload during simulated air traffic control. *Biol Psychol*. 1996;42:361-77.
28. Oliviera I, Grigori O, Guimaraes N. EEG signal analysis for silent visual reading classification. *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*. 2009;3:119-26.
29. Mostow J, Chang KM, Nelson J. Toward Exploring EEG input in a Reading Tutor, AIED. LNCS, Springer, Heidelberg. 2011;230-37.
30. Galan FC, Beal CR. EEG Estimates of engagement and cognitive workload predict math problem solving outcomes. *User Modelling, Adaptation, and Personalization (UMAP)*, 2012;51-62.
31. Sakkalis V, Zervakis M, Micheloyannis S. Significant EEG features involved in mathematical reasoning: evidence from wavelet analysis. *Brain Topogr*. 2006;19:53-60.
32. Sharabaty H, Jammes B, Esteve D. EEG analysis using HHT: One step toward automatic drowsiness scoring. 22nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications – Workshops. 2008;826-31.
33. Connolly JD, Goodale MA, Menon RS, Munoz DP. Human fMRI evidence for the neural correlates of preparatory set. *Nat Neurosci*. 2002;5:1345-52.
34. Duschek S, Hoffmann A, Montoro CI, Del Paso GAR, Schuepbach D, Ettinger U. Cerebral blood flow modulations during preparatory attention and proactive inhibition. *Biol Psychol*. 2018;18:30518.
35. Posner, MI, Petersen SE. The attention system of the human brain. *Annu Rev Neurosci*. 1990;13:25-42.