

## Derleme

# Gelişen Teknoloji ve Nöroşirürjikal Komplikasyonlar

## The Advancement of Technology and Neurosurgical Complications

Tuğba MORALI GÜLER<sup>1</sup>, Mehmet Sabri GÜRBÜZ<sup>2</sup>, Murat Şakir EKŞİ<sup>3</sup>, Sait ÖZTÜRK<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Karabük Üniversitesi Tıp Fakültesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Anabilim Dalı, Karabük, Türkiye

<sup>2</sup>Medeniyet Üniversitesi Tıp Fakültesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

<sup>3</sup>Acıbadem Mehmet Ali Aydınlar Üniversitesi Tıp Fakültesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

<sup>4</sup>Fırat Üniversitesi Tıp Fakültesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Anabilim Dalı, Elazığ, Türkiye

## ÖZ

Gündelik hayatımızın vazgeçilmez bir parçası haline gelen teknolojik ürünler ve biyomedikal cihazlar istenmeyen nöroşirürjikal komplikasyonlara sebep olabilmektedir. Gelişen teknolojiye rağmen motorlu taşıt kazalarında ortaya çıkan travmatik beyin hasarına bağlı morbidite ve mortalite günümüzde de sık karşılaştığımız bir problem olmaya devam etmektedir. Teknolojik cihazların sık kullanımı sedanter yaşam tarzına neden olabilmekte ve bu durum da çeşitli omurga rahatsızlıklarına yol açabilmektedir. Ayrıca gelişen teknoloji, her geçen gün yeni minimal invazif cerrahi prosedürlerin de gelişimini sağlamaktadır. Sonuç olarak da günümüzde özellikle minimal invazif prosedürler sırasında daha yoğun maruz kalınan radyasyonun uzun dönem olası olumsuz etkileri gündeme gelmektedir. Gelişen teknolojinin neden olabileceği olası komplikasyonlardan kaçınmak için gerekli önlemler alınmalıdır.

**ANAHTAR SÖZCÜKLER:** Şant, Akıllı telefon, Nöronavigasyon, Travmatik beyin hasarı, Radyasyon

## ABSTRACT

Technological products and biomedical devices that have become indispensable parts of our daily life can cause undesirable neurosurgical complications. Despite technological advances, traumatic brain injury due to motor vehicle accidents still continues to be a common problem. Frequent use of technological devices can result in a sedentary lifestyle and this can lead to various spinal disorders. Developing technology has also resulted in the development of new minimally invasive surgical procedures every day. The long-term possible adverse effects of more intensive exposure to radiation, especially during minimally invasive spinal procedures, has therefore become a current issue. The necessary precautions should be taken in order to avoid possible complications caused by developing technology.

**KEYWORDS:** Shunt, Smartphone, Neuronavigation, Traumatic brain injury, Radiation

## ■ GİRİŞ

Her geçen gün baş döndürücü hızla gelişen teknoloji şüphesiz ki günlük yaşamımızda yüzlerce kolaylık sağlamaktadır. Günlük yaşamın ötesinde tıp alanına da ciddi oranda katkı sağlayan bu teknolojik gelişmeler ile daha kısa sürede tanı konulması sağlanmış, daha etkin ve başarılı

tedavi süreçlerine zemin hazırlamıştır. Ancak gelişen teknoloji her zaman olumlu katkılar sağlamayıp, istenmeyen durumlara da sebebiyet verebilmektedir. Bu derlemede özellikle son çeyrek asırda ciddi teknolojik ilerleme gösteren; bilişim, iletişim ve biyomedikal alanlarındaki yüksek teknolojilerin sebep olduğu istenmeyen nöroşirürjikal komplikasyonlar ele alınmıştır.



Yazışma adresi: Sait ÖZTÜRK

E-posta: drsaitozturk@yahoo.com

### Mobil Cihazlar ve Nöroşirürjikal Komplikasyonlar

Taşınabilir teknolojinin en yaygın olarak kullanılan ürünü cep telefonlarıdır. İlk cep telefonu 1973 yılında, ilk akıllı telefon (smartphone) ise 1994 yılında piyasaya sunulmuştur (27). Devam eden yıllarda akıllı telefon piyasası ciddi bir ivme kazanmıştır. 2012 verilerine göre tüm dünyada bir milyardan fazla akıllı telefon kullanıldığı bilinmektedir (39). Günlük hayatımızın ayrılmaz bir parçası olarak kabul edilen bu akıllı telefonların hayatı kolaylaştırıcı özellikleri dışında, sağlığımız üzerinde oluşturdukları psikolojik ve organik yan etkiler hakkında yakın zamanda ilk sonuçlar yayınlanmıştır (23,25). Literatürdeki birçok çalışma, şant sistemlerinde programlanabilir valflerde istenmeyen açılış basıncı değişikliklerini en sık manyetik rezonans (MR) görüntüleme esnasında ortaya çıktığını göstermektedir (32,38,40). Ancak günlük hayatımızda kullanılan cihazların çeşitliliğindeki artışa paralel olarak, özellikle son yıllarda yapılan çalışmalarda, MR görüntüleme dışında farklı cihazların da bu etkiyi yaptıkları rapor edilmiştir. Nomura ve ark. tarafından 2005 yılında yapılan bir çalışmada, cep telefonları (smartphone dışı) tarafından oluşturulan manyetik alanın programlanabilir valfler üzerinde etki oluşturabileceği rapor edilmiştir (31). Öztürk ve ark.'nın literatüre sunduğu güncel bir çalışmada ise sık kullanılan iki farklı akıllı telefonunun (iPhone® ve Samsung®), bazı programlanabilir şantlar üzerinde geri dönüşümlü (Strata®, Medtronic Inc.) (Şekil 1) ve bazılarında ise geri dönüşümsüz (Codman Certas® J&J Inc.) (Şekil 2A, B) açılış basıncı değişikliklerine sebebiyet verdiği gösterilmiştir (34).

Mobil teknoloji cihazları arasında, akıllı telefonlardan sonra ikinci sıklıkta kullanılan tablet bilgisayarların oluşturduğu manyetik alanın, literatürde programlanabilir valfler üzerinde etkisini inceleyen sadece iki çalışma mevcuttur ve her iki çalışmada da tablet bilgisayarların açılış basıncında değişikliklere sebep olduğu rapor edilmiştir (17,42). Manyetik alan prensibi ile ayarlanan bu programlanabilir valflerin, manyetik rezonans görüntüleme gibi çok yüksek manyetik alan bulunan ortamlarda istenmeden ve çoğu zaman da farkına varılmadan basınç ayarlarında değişiklik olabilir (29, 32). Ancak mobil cihazların da bu komplikasyona sebebiyet verebileceği akılda tutulmalıdır.

Cep telefonlarının bir diğer tartışılan olası komplikasyonu ise yaymış olduğu radyasyona sekonder nöronal hasar ve tümör gelişimine sebep olabileceğidir. Bu konuda henüz geniş kapsamlı bir klinik çalışma olmamakla beraber, güncel deneysel çalışmalar cep telefonlarının ortama yaydığı radyasyonun tümör gelişimine etki edeceği yönündedir (15). Bu görüşün tam tersini savunan çalışmalar da literatürde mevcuttur (6). İlerleyen yıllarda bu konuda daha net bilgiler elde edileceği şüphesizdir.

### Biyomedikal Cihazlar ve Nöroşirürjikal Komplikasyonlar

Gegg ve ark. manyetik teknoloji ile çalışan roller coaster cihazına bağlı programlanabilir şant disfonksiyonu tanımlamışlardır (16). Zuzak ve ark. ise farklı bir çalışmada programlanabilir valfler üzerinde manyetik etkiye sahip oyuncakların valfe yakın teması sonrasında açılış basınçlarında değişiklikler yaptığını göstermişlerdir (46). Ayrıca, son on yılda kullanımı ciddi oranda artış gösteren vagal sinir stimülatörü (VNS) ve

transkranyal manyetik stimülasyona (TMS) bağlı açılış basıncı değişiklikleride dikkat çekici çalışmalardır (22,26).

### Nöronavigasyon ve Nöroşirürjikal Komplikasyonlar

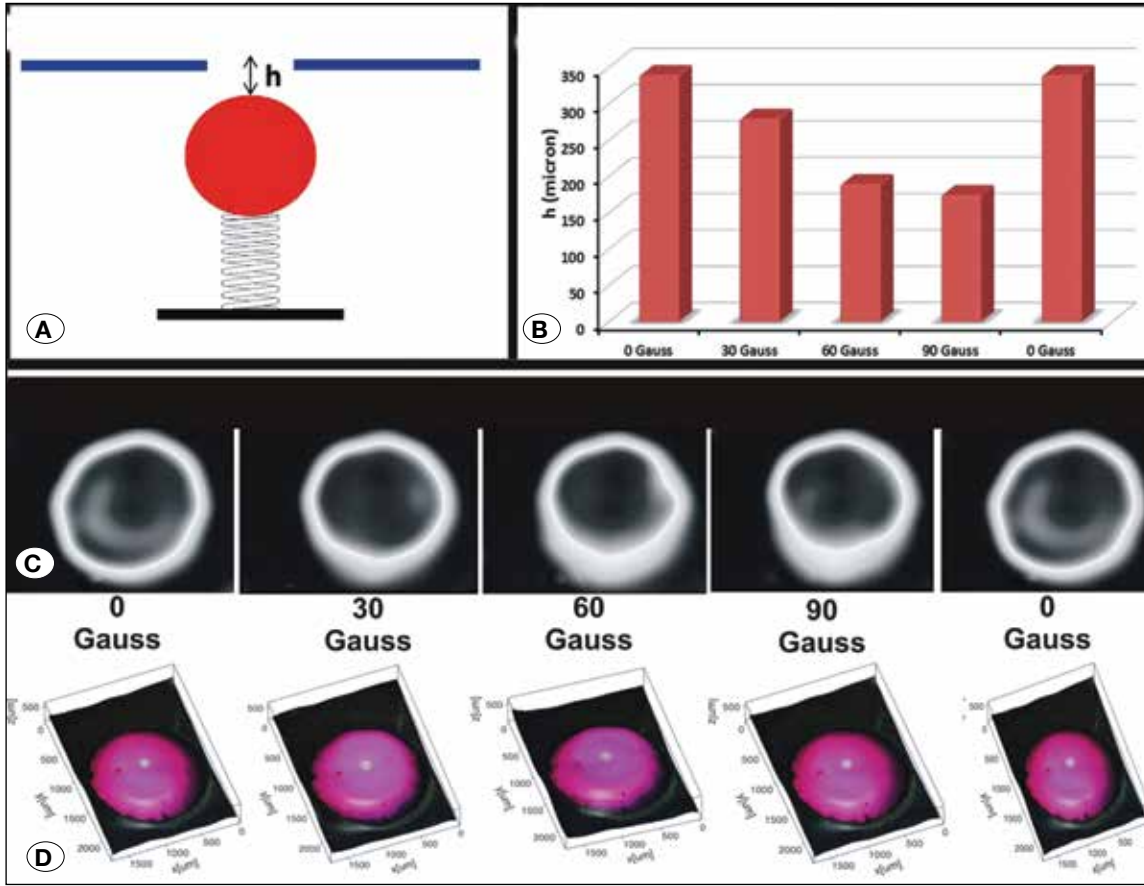
Nöronavigasyon sistemleri, preoperatif planlamaya yardımcı olması ve intraoperatif olarak çerçeveye ihtiyaç olmaksızın yol göstermesi açısından oldukça yararlı teknolojilerdir. Ancak, bu teknolojinin yararını sınırlayan faktörler bulunmaktadır (19). Özellikle orta hat şifti, gravitasyonel kuvvetler, kitle rezeksiyonu, subaraknoid mesafe dışına BOS kaçıışı/kaybı, beyin ödemi ve iyatrojenik deformatif kuvvetler preoperatif plan ile intraoperatif gerçek lokalizasyon arasında fark doğurmakta bu da cerrahi navigasyon sistemlerinin yararını ve cerrahi başarıyı sınırlamaktadır. Bu hata miktarının ortalama 11 mm olduğu ve 25 mm ye kadar çıkabileceği bildirilmiştir (11, 35,37). Bu nedenle nöronavigasyon sistemlerinin peroperatif USG ile birlikte yapılması önerilmiş ve navigasyon hatalarının bu şekilde azaltılmasının mümkün olacağı savunulmuştur (36). Orta hat yapılarındaki şiftin bu şekilde gerçek zamanlı olarak takip edilebilmesinin doğruluk payını artıracacağı vurgulanmıştır (5, 10). Beyin cerrahisi ameliyatları, her ameliyatın kendine has baş pozisyonu, bu pozisyonlara bağlı olarak anatominin açılmal lokalizasyonlarının değişmesi gibi peroperatif dinamik etkiler nedeniyle küçük değişikliklerden önemli derecede etkilenebilmektedir (14). Bu nedenle nöronavigasyon kullanıldığında hata payının azaltılmasına yönelik peroperatif önlemler veya en azından navigasyonun hata payının olabileceğinin dikkate alınması önem arz etmektedir.

### Motorlu Taşıt Kazaları ve Travmatik Beyin Hasarı

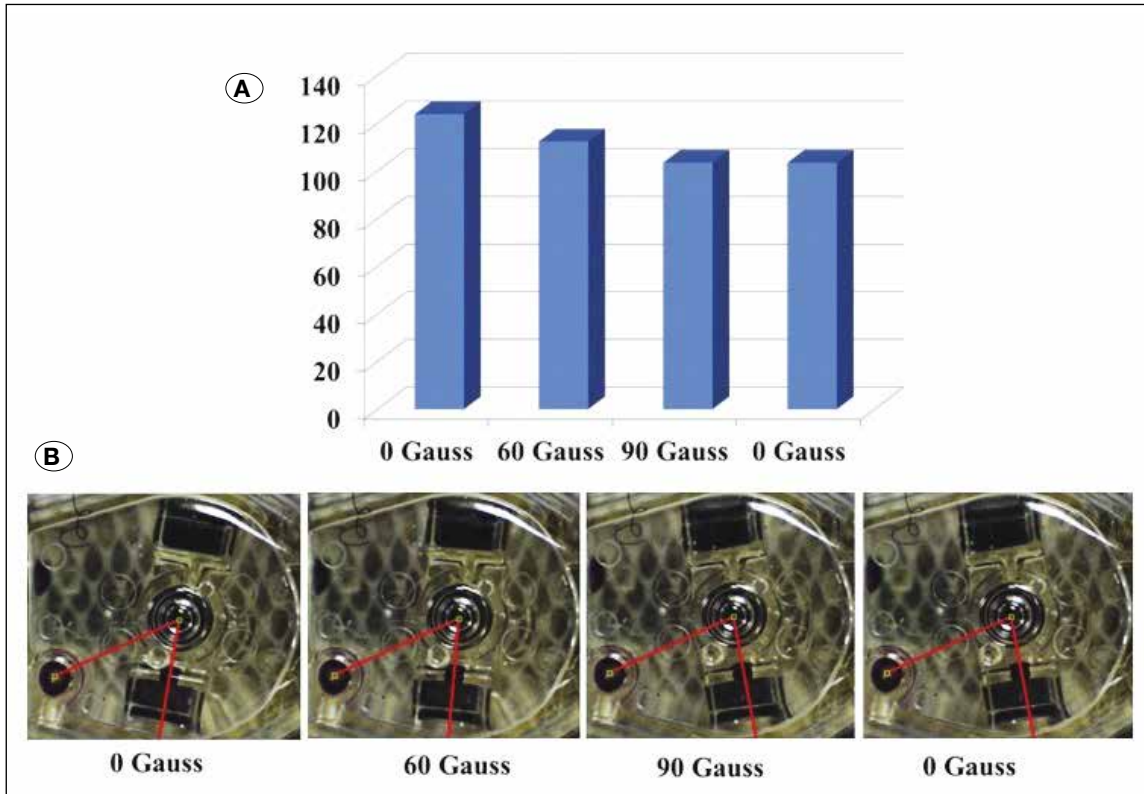
Günlük aktivitelerimizin vazgeçilmezlerinden biri hiç şüphesiz araçlarımızla trafikte geçirdiğimiz zamanlardır. Teknoloji devrimi ile birlikte ilk üretilen ve teknolojisi hâlâ geliştirilmekte olan motorlu taşıtlar aynı zamanda kazalar sonrasında nöroşirürjikal ve birçok travmaya sebep olmaktadır. Travmatik beyin hasarı, dünya çapında trafik kazasına bağlı ölümlerin yaklaşık yarısında yani yıllık 1,3 milyonda, trafik kazasına bağlı yaralanmaların yaklaşık 50 milyonda rol oynamaktadır (44). Travmatik beyin hasarı taşıt kazalarına bağlı ölüm ve ciddi yaralanmaların çoğunun sebebidir. Yetişkin bireylerden ziyade genç bireyler ve yaşlı bireyler bu durumdan en çok zararı gören kişiler olmaktadır (7,9). Bu konuda kadınlar erkeklere göre daha fazla risk altındadırlar (8). Bu konuda birçok önlem alınmış olmasına rağmen taşıt kazalarına bağlı travmatik beyin hasarı oranları istenen düzeylere henüz inmemiştir. Bu sebeple, bu konuda daha fazla çaba harcanması gerekmektedir (2).

### Teknolojik Cihazlar ve Omurga Rahatsızlıkları

Gelişen teknoloji ile beraber genç bireylerin sosyal vakitlerini değerlendirme şekilleri önemli ölçüde değişmiştir. Teknolojinin bu derece hızlı ilerlemediği dönemlerde vücut duruşu ve sağlığı açısından faydalı sportif aktiviteler daha çok yapılırken, günümüzde oturularak yapılan teknolojik cihazlarla olan aktiviteler (televizyon izlemek, bilgisayar ve/veya televizyona bağlanan konsollar) ön plana geçmiştir. Bu durumda, vücudun spordan kazandığı faydaların kaybedilmesinin yanı sıra ayrıca sedanter bir yaşam şekli geçirilmekte ve sinir sistemi ile omurganın zarar görmesi de kaçınılmaz olmaktadır.



Şekil 1: Strata II programlanabilir şant valfinde açılış basıncını belirleyen yay ve küre parçalarının şematizasyonu. Valf içerisinde dolaşan beyin omurilik sıvısının geçiş gösterdiği yükseklik  $h$  olarak gösterilmiştir. B) Şant valfine uygulanan farklı manyetik alan kuvvetlerinde  $h$  değerindeki değişimler. C) Farklı manyetik alan kuvvetlerinde kürenin uzaysal konum değişikliğinin iki boyutlu ve D) üç boyutlu görünümü.



Şekil 2: Codman Certas programlanabilir şant valfinin açılış basıncını belirleyen yapıları farklı manyetik alan kuvvetleri ardından izlenen açılma yerdeğişimlerinin sayısal verileri ve B) şantın içerisindeki bu yapıların çıplak gözle yer değişimi.

Tüm dünyada bel ağrısı maluliyetle geçirilmiş yıllara sebep olan etmenlerin başında gelmektedir (43). Genç bireylerde de bel ağrısı yaygınlığı yetişkinler kadar fazladır ve bel ağrısı olan genç bireylerin yetişkinlik döneminde kronik bel ağrısı rahatsızlığı geçirmeleri 4 kat daha fazladır (18). Televizyon veya bilgisayar başında iken paraspinal kasların aktif olmadığı daha düzensiz bir omurga dizilimi kullanılmaktadır (3,33). Bu da aktivitelerin yapılma süreleri ve sıklığına bağlı olarak genç bireylerde akut ve kronik bel ağrılarına yol açmaktadır. Eğri bir duruşla yapılan bu tür aktivitelerden ötürü kronik bel ağrısı geliştirme olasılığı televizyon izleyenler için 3,22 kat, bilgisayar kullananlar için ise 1,7 kat artmaktadır. Kalabalık şehirlerde okullar yerleşim yerlerinden uzak olsa da toplu taşıma ile transfer işlemleri yapıldığından yine genç bireylerde sedanter yaşam biçimi kaçınılmaz olmaktadır ve bu durum işi daha zor hale getirmektedir (28).

Boyun ve omuz ağrısı genç bireylerde oldukça yaygındır. On ile on yedi yaş arası bireylerde, okul ve sosyal aktiviteleri kısıtlayan tarzda, 1 yılda görülen boyun ve omuz ağrısı prevalansı erkeklerde %14, kızlarda %23'tür (24). Auvinen ve ark. tarafından Finlandiyalı 3185 kız ve 2808 erkek olguda yapılan çalışmaya göre, oturarak televizyon seyretmenin ve bilgisayar kullanmanın bel ağrısına ve aynı zamanda boyun ve omuz ağrılarına sebep olduğu ortaya konulmuştur (4).

#### Radyasyon Maruziyeti ve Spinal Cerrahi

Yaşamın her alanında olduğu gibi tıbbi alanda da hızla gelişen teknoloji, hastaların cerrahi sonrası yatış süresinin kısalması, hastanın günlük yaşantısına ve iş hayatına geri dönüşünün hızlandırılması ve hasta konforunun artırılması gibi amaçlarla günümüzde revaçta olan minimal invazif girişimlerin gelişimini sağlamıştır.

İyonize radyasyon spinal cerrahi sırasında bilindiği gibi sıklıkla kullanılmaktadır. Günümüzde, özellikle de minimal invazif spinal girişimlerin popüler olması nedeniyle cerrahlar, ameliyathane ekibi ve hatta hastalar açısından ekstremitelere, gözlere ve derin dokulara daha fazla radyasyon maruziyeti mevcuttur ve bu durum da radyasyona bağlı komplikasyonlarda artışa neden olabileceği ihtimalini ortaya çıkarmıştır (1,30,41,45).

X-ışınları ile çalışan floroskopi cihazları ilk olarak 1980'lerde ameliyathanelerde kullanılmaya başlanılmıştır ve günümüze dek bu cihazların gelişimi devam etmiştir (13). O-arm sistemler gibi konik ışın tabanlı görüntüleme sistemlerinin ortaya çıkışı ile mükemmel sonuçlar bildirilse de bu sistemlerin pahalı olması, öğrenme sürecinin uzun olması ve radyasyon maruziyeti göz önünde bulundurulduğunda bu teknolojilerin ne zaman ve nerede kullanılması gerektiği ile ilgili tartışmalar halen süregelmektedir (12,13,20).

Srinivasan ve ark. yaptığı çalışmada diskektomi, perkütan vida yerleştirilmesi, minimal invazif lomber cisimler arası füzyonu, vertebroplasti ve kifoplasti gibi uygulamalar değerlendirilmiştir. Bunlardan minimal invazif pedikül vidası yerleştirme, minimal invazif lomber cisimler arası füzyon, vertebroplasti/kifoplasti ve perkütan endoskopik lomber diskektomi en yüksek dozlarda radyasyon kullanılan cerrahi prosedürler olarak tespit edilmiştir (41). Ahn ve ark. tarafından yapılan çalışmada ise perkütan

endoskopik lomber diskektomi sırasında cerrahların maruz kaldığı radyasyon dozu belirlenmiştir (1). Bu çalışmalarda, cerrahın pozisyonunu ayarlamak, uygun koruyucu ekipmanları kullanmak (kurşun yelekler, tiroid koruması, kurşun eldivenler gibi), floroskopi cihazının kullanımının ve dozunun minimize edilmesi gibi yöntemler ile spinal cerrahların radyasyon maruziyetinin azaltılması ve bu sayede uzun dönemde ortaya çıkabilecek radyasyona bağlı komplikasyonların önlenmesi önerilmiştir (1,41).

Yapılan pek çok çalışma spinal cerrahi sırasında cerrahların ve ameliyat ekibinin maruz kaldığı radyasyon dozu üzerinde dururken, İpreburg ve ark. da yaptıkları çalışmada transforaminal endoskopik lomber diskektomi sırasında hastaların maruz kaldığı radyasyon dozunu hesaplamışlardır (21). L4-5 seviyesi ve yukarısındaki diskektomi prosedürlerinde ortalama floroskopi zamanı 38,4 saniye ve hastanın maruz kaldığı hesaplanan radyasyon dozu da 1,5 mSv olarak tespit edilmiştir. L5-S1 seviyesi için ortalama floroskopi zamanı 54,6 saniye ve hastanın maruz kaldığı hesaplanan radyasyon dozu da 2,1 mSv olarak tespit edilmiştir. Sonuç olarak diğer minimal invazif spinal cerrahi uygulamaları gibi endoskopik lomber diskektomide de hastaların floroskopi nedeniyle radyasyona maruz kaldığı, ancak maruz kalınan bu sınırlı radyasyon dozunun korkulacak veya işlemde vazgeçilecek boyutta olmadığı belirtilmiştir (21).

#### ■ SONUÇ

Gündelik hayatımızın vazgeçilmez bir parçası haline gelen teknolojik ürünlerin ve biyomedikal cihazların istenmeyen nöroşirürjikal komplikasyonlara sebebiyet verebileceği akılda tutulmalıdır. Gelişen teknolojiye rağmen motorlu taşıt kazalarında ortaya çıkan travmatik beyin hasarına bağlı morbidite ve mortalite günümüzde de sık karşılaştığımız bir problem olmaya devam etmektedir. Teknolojik cihazların sık kullanımı sedanter yaşam tarzına neden olmakta ve çeşitli omurga rahatsızlıklarına yol açmaktadır. Ayrıca gelişen teknoloji her geçen gün yeni minimal invazif cerrahi girişimlerin de gelişimini sağlamaktadır. Özellikle minimal invazif uygulamalar sırasında daha yoğun maruz kalınan radyasyonun uzun dönem olası olumsuz etkilerinden korunmak için günlük cerrahi pratik sırasında gerekli önlemlerin alınması son derece önemlidir.

#### ■ KAYNAKLAR

1. Ahn Y, Kim CH, Lee JH, Lee SH, Kim JS: Radiation exposure to the surgeon during percutaneous endoscopic lumbar discectomy: A prospective study. *Spine* 38(7): 617-625, 2013
2. Antona-Makoshi J, Mikami K, Lindkvist M, Davidson J, Schick S: Accident analysis to support the development of strategies for the prevention of brain injuries in car crashes. *Accid Anal Prev* 117: 98-105, 2018
3. Astfalck RG, O'Sullivan PB, Straker LM, Smith AJ, Burnett A, Caneiro JP, et al. Sitting postures and trunk muscle activity in adolescents with and without nonspecific chronic low back pain: An analysis based on subclassification. *Spine (Phila Pa 1976)* 35(14): 1387-1395, 2010

4. Auvinen J, Tammelin T, Taimela S, Zitting P, Karppinen J: Neck and shoulder pains in relation to physical activity and sedentary activities in adolescence. *Spine (Phila Pa 1976)* 32(9): 1038-1044, 2007
5. Barone DG, Lawrie TA, Hart MG: Image guided surgery for the resection of brain tumours. *Cochrane Database Syst Rev* (1):CD009685, 2014
6. Bartsch H, Bartsch C, Seebald E, Deerberg F, Dietz K, Vollrath L, Mecke D: Chronic exposure to a GSM-like signal (mobile phone) does not stimulate the development of DMBA-induced mammary tumors in rats: Results of three consecutive studies. *Radiat Res* 157(2):183-190, 2002
7. Bener A, Omar AOK, Ahmad AE, Al-Mulla FH, Abdul Rahman YS: The pattern of traumatic brain injuries: A country undergoing rapid development. *Brain Inj* 24(2): 74-80, 2010
8. Bose D, Segui-Gomez M, Crandall JR: Vulnerability of female drivers involved in motor vehicle crashes: An analysis of US population at risk. *Am J Public Health* 101(12):2368-2373, 2011
9. Bruns J, Hauser WA: The epidemiology of traumatic brain injury: A review. *Epilepsia* 44(10): 2-10, 2003
10. Bucholz RD, Yeh DD, Trobaugh J, McDurmont LL, Sturm CD, Baumann C, Henderson JM, Levy A, Kessman P: The correction of stereotactic inaccuracy caused by brain shift using an intraoperative ultrasound device. *CVRMed-MRCAS'97*: 459-466, 1997
11. Coenen VA, Krings T, Weidemann J, Hans FJ, Reinacher P, Gilsbach JM, Rohde V: Sequential visualization of brain and fiber tract deformation during intracranial surgery with threedimensional ultrasound: An approach to evaluate the effect of brain shift. *Oper Neurosurg* 56(1):133-141, 2005
12. Costa F, Cardia A, Ortolina A, Fabio G, Zerbi A, Fornari M: Spinal navigation: Standard preoperative versus intraoperative computed tomography data set acquisition for compute-guidance system: Radiological and clinical study in 100 consecutive patients. *Spine* 36(24):2094-2098, 2011
13. Costa F, Tosi G, Attuati L, Cardia A, Ortolina A, Grimaldi M, Galbusera F, Fornari M: Radiation exposure in spine surgery using an image-guided system based on intraoperative cone-beam computed tomography: Analysis of 107 consecutive cases. *J Neurosurg Spine* 25(5):654-659, 2016
14. De Lorenzo D, De Momi E, Conti L, Votta E, Riva M, Fava E, Bello L, Ferrigno G: Intraoperative forces and moments analysis on patient head clamp during awake brain surgery. *Med Biol Eng Comput* 51(3):331-341, 2013
15. Falcioni L, Bua L, Tibaldi E, Lauriola M, De Angelis L, Gnudi F, et al: Report of final results regarding brain and heart tumors in Sprague-Dawley rats exposed from prenatal life until natural death to mobile phone radiofrequency field representative of a 1.8 GHz GSM base station environmental emission. *Environ Res* 165:496-503, 2018
16. Gegg C, Olavarria G, Pattisapu JV: Shunt malfunction after roller coaster ride. *Childs Nerv Syst* 25:509-510, 2009
17. He Y, Murphy RK, Roland JL, Limbrick DD Jr: Interactions between programmable shunt valves and the iPad 3 with Smart Cover. *Childs Nerv Syst* 29(4):531-533, 2013
18. Hestbaek L, Leboeuf-Yde C, Kyvik KO, Manniche C: The course of low back pain from adolescence to adulthood: Eight-year follow-up of 9600 twins. *Spine (Phila Pa 1976)* 31(4): 468-472, 2006
19. Hill DL, Maurer CR Jr, Maciunas RJ, Barwise JA, Fitzpatrick MJ, Wang MY: Measurement of intraoperative brain surface deformation under a craniotomy. *Neurosurgery* 43(3):514-526, 1998
20. Houten JK, Nasser R, Baxi N: Clinical assessment of percutaneous lumbar pedicle screw placement using the O-arm multidimensional surgical imaging system. *Neurosurgery* 70(4):990-995, 2011
21. Ipreburg M, Wagner R, Godschalx A, Telfeian AE: Patient radiation exposure during transforaminal lumbar endoscopic spine surgery: A prospective study. *Neurosurg Focus* 40(2): E7, 2016
22. Jandial R, Aryan HE, Hughes SA, Levy ML: Effect of vagus nerve stimulator magnet on programmable shunt settings. *Neurosurgery* 55(3):627-630, 2004
23. Kim SY, Koo SJ: Effect of duration of smartphone use on muscle fatigue and pain caused by forward head posture in adults. *J Phys Ther Sci* 28(6):1669-1672, 2016
24. Kujala UM, Taimela S, Viljanen T: Leisure physical activity and various pain symptoms among adolescents. *Br J Sports Med* 33: 325-328, 1999
25. Lee KE, Kim SH, Ha TY, Yoo YM, Han JJ, Jung JH, Jang JY: Dependency on smartphone use and its association with anxiety in Korea. *Public Health Rep* 131(3):411-419, 2016
26. Lefranc M, Ko JY, Peltier J, Fichten A, Desenclos C, Macron JM, Toussaint P, Le Gars D, Petitjean M: Effect of transcranial magnetic stimulation on four types of pressure-programmable valves. *Acta Neurochir (Wien)* 152(4):689-697, 2010
27. Meyers J: Watch the incredible 70-year evolution of the cell phone. Available at: <https://www.businessinsider.com.au/complete-visual-history-of-cell-phones-2011-5#1938-l>. Accessed March 10,2017
28. Meziat Filho N, Coutinho ES, Azevedo e Silva G: Association between home posture habits and low back pain in high school adolescents. *Eur Spine J* 24(3): 425-433, 2015
29. Miwa K, Kondo H, Sakai N: Pressure changes observed in Codman-Medos programmable valves following magnetic exposure and filliping. *Childs Nerv Syst* 17(3):150-153, 2001
30. Mroz TE, Abdullah KG, Steinmetz MP, Klineberg EO, Lieberman IH: Radiation exposure to the surgeon during percutaneous pedicle screw placement. *Clinic Spine Surg* 24(4):264-267, 2011
31. Nomura S, Fujisawa H, Suzuki M: Effect of cell phone magnetic fields on adjustable cerebrospinal fluid shunt valves. *Surg Neurol* 63(5):467-468, 2005
32. Ortler M, Kostron H, Felber S: Transcutaneous pressure adjustable valves and magnetic resonance imaging: An ex vivo examination of the Codman-Medos programmable valve and the Sophy adjustable pressure valve. *Neurosurgery* 40(5):1050-1058, 1997
33. O'Sullivan P, Dankaerts W, Burnett A, Chen D, Booth R, Carlsen C, et al: Evaluation of the flexion relaxation phenomenon of the trunk muscles in sitting. *Spine (Phila Pa 1976)* 31(17): 2009-2016, 2006

34. Ozturk S, Cakin H, Kurtuldu H, Kocak O, Erol FS, Kaplan M: Smartphones and programmable shunts: Are these indispensable phones safe and smart? *World Neurosurg* 102: 518-525, 2017
35. Reinges M, Nguyen HH, Krings T, Hütter BO, Rohde V, Gilsbach J: Course of brain shift during microsurgical resection of supratentorial cerebral lesions: limits of conventional neuronavigation. *Acta Neurochir* 146(4):369-377, 2004
36. Riva M, Hennersperger C, Milletari F, Katouzian A, Pessina F, Gutierrez-Becker B, Castellano A, Navab N, Bello L: 3D intra-operative ultrasound and MR image guidance: pursuing an ultrasound-based management of brainshift to enhance neuronavigation. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 12(10):1711-1725, 2017
37. Roberts DW, Hartov A, Kennedy FE, Miga MI, Paulsen KD: Intraoperative brain shift and deformation: A quantitative analysis of cortical displacement in 28 cases. *Neurosurgery* 43(4):749-758, 1998
38. Schneider T, Knauff U, Bitsch J, Firsching R: Electromagnetic field hazards involving adjustable shunt valves in hydrocephalus. *J Neurosurg* 96(2):331-334, 2002
39. Sevansson P: Smartphones now outsell 'dumb' phones. Available at: <http://www.newshub.co.nz/technology/smartphones-now-outsell-dumb-phones-2013042912>. Accessed March 10, 2017
40. Shellock FG, Wilson SF, Mauge CP: Magnetically programmable shunt valve: MRI at 3-Tesla. *Magn Reson Imaging* 25(7):1116-1121, 2007
41. Srinivasan D, Than KD, Wang AC, La Marca F, Wang P I, Schermerhorn TC, Park P: Radiation safety and spine surgery: Systematic review of exposure limits and methods to minimize radiation exposure. *World Neurosurg* 82(6):1337-1343, 2014
42. Strahle J, Selzer BJ, Muraszko KM, Garton HJ, Maher CO: Programmable shunt valve affected by exposure to a tablet computer. *J Neurosurg Pediatr* 10(2):118-120, 2012
43. Vos T, Flaxman AD, Naghavi M, Lozano R, Michaud C, Ezzati M, et al.: Years lived with disability (YLDs) for 1160 sequelae of 289 diseases and injuries 1990-2010: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet* 380(9859): 2163-2196, 2010
44. World Health Organization. WHO Global Status Report on Road Safety 2013: Supporting a Decade of Action. Luxembourg: WHO Press, 2013
45. Yu E, Khan SN: Does less invasive spine surgery result in increased radiation exposure? A systematic review. *Clin Orthop Rel Res* 472(6): 1738-1748, 2014
46. Zuzak TJ, Balmer B, Schmidig D, Boltshauser E, Grotzer MA: Magnetic toys: Forbidden for pediatric patients with certain programmable shunt valves? *Childs Nerv Syst* 25(2):161-164, 2009