

Dental Mıknatısların Oluşturduğu Manyetik Alanların Biyolojik Etkileri

Biological effects of magnetic fields produced by dental magnets

Filiz Yağcı

Erciyes Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi, Kayseri

Özet

Dental mıknatısların protetik diş tedavisinde ve ortodontide çok çeşitli uygulamaları vardır. Fakat tüm mıknatıslar, oral komşu dokulara yayılan statik manyetik alan (SMA) sızıntısı oluşturmaktadır. Son yıllarda manyetik alanlarla temasın artmasıyla, manyetik alanların insan sağlığına zararlı etkilerinin olup olmadığı tartışılmaktadır. SMA'ların biyolojik etkilerini ortaya koymak için çok sayıda in vitro hücre çalışmaları, in vivo hayvan çalışmaları ve epidemiyolojik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda hücrenin büyümesi, çoğalması, apoptozis, metabolik aktivitesi, manyetik oryantasyonları, morfolojisi ile iyon transportu, genotoksik etkiler, gen ekspresyonları incelenmiştir. İnsanlarda, hayvanlarda ve mikroorganizmalarda, manyetik alanların zararlı biyomanyetik etkileri olduğunu gösteren bir takım çalışmalar olduğu kadar, manyetik alan etkilerini hem in vivo hem de hücre kültürlerinde değerlendiren ve sonuçta hiçbir belirgin farklılık göstermeyen çalışmalar da vardır. SMA'ların dentoalveolar dokulardaki etkileri de tartışmalıdır. Bu derlemenin amacı manyetik alanların biyolojik etkileri hakkında genel bilgi vererek, manyetik alanların dentoalveolar dokulardaki biyolojik etkileri hakkındaki çalışmaları özetlemektir.

Anahtar kelimeler: Dental Mıknatıs, Manyetik Alan, Biyolojik Etki.

Abstract

Dental magnets have wide range of applications in prosthodontics and orthodontics. But all magnets produce static magnetic field leakages spreading to oral adjacent tissues. In the last years, due to the increase of contact with magnetic fields, it has been discussing if there are harmful effects of magnetic fields on human health. Numerous in vitro cell culture, in vivo animal and epidemiological studies have been performed to reveal biological effects of magnetic fields. In this studies, growth, mitotic activity, apoptosis, metabolic activity, magnetic orientation, morphology of cells and ion transport, genotoxic effects, gene expressions have been investigated. As well as there are several studies in humans, animals and microorganisms show that the magnetic fields may have harmful biomagnetic effects; there are studies evaluating magnetic field effects both in vivo and in cell cultures which observed no significant differences. The influence of the static magnetic fields on dentoalveolar tissues has been debated. The objective of this review is to summarize the studies about bioeffects of magnetic fields on dentoalveolar tissues while giving general information about biological effects of magnetic fields.

Key words: Dental magnet, magnetic field, biological effect.

GİRİŞ

Mıknatıslar protetik diş tedavisinde diş ve implant destekli overdenture'larda, hareketli bölümlü protezlerde, obturatörlerde ve çene yüz protezlerinde tutucu eleman olarak kullanılır (Resim 1). Mıknatısların küçük boyutları, kuvvetli ve sabit çekim güçleri, temizleme kolaylığı, destek dişe veya implanta minimal lateral kuvvet iletmesi gibi avantajları vardır.

Ortodontide dişlerin ekstrüzyonu ve intrüzyonunda, ark telleri boyunca diş hareketi sağlanmasında, maksiller dental arkın ekspansiyonunda, ön açık kapanışın düzeltilmesinde, fonksiyonel apareylerde ve gömülü dişlerin sürdürülmesinde kullanılır¹ (Resim 2).

Mıknatıslar belirli bir statik manyetik alana (SMA) sahiptir ve oral kavitede kullanıldıklarında çevre dokular da bu manyetik alana maruz kalır.²

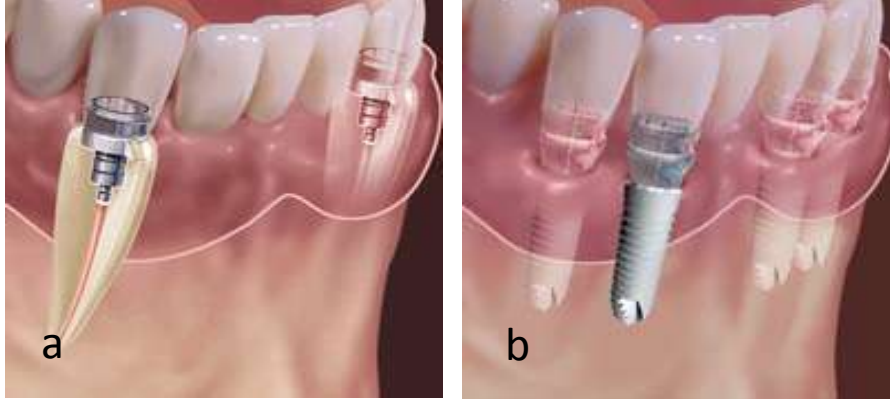
Manyetik akı yoğunluğu, Gauss (G), Tesla (T), weber/metre² (Wb/m²) veya Vs/ m² olarak ifade edilebilir ve birimler arasında aşağıdaki eşitlik söz konusudur.³

$$1 \text{ Tesla} = 1 \text{ Wb/m}^2 = 1 \text{ Vs/ m}^2 = 1 \times 10^4 \text{ Gauss}$$

Normalde yer kürenin ve vücudumuzun her bölgesinde elektromanyetik alan özellikleri saptanmış olup, vücut manyetik alanının 10^{-11} - 10^{-13} T arasında değiştiği bildirilmiştir. Yerkürenin manyetik alan büyüklüğü (5×10^{-5} T) ile karşılaştırıldığında vücut manyetik alanlarının bu alanla uyumlu olduğu görülmektedir.⁴ Protetik manyetik tutucular açık ve kapalı alan mıknatısları olarak iki tiptir. Açık alan sistemlerinde mıknatıs, kök içerisindeki ferromanyetik alaşımdan yapılan "keeper" ile temasa geçtiğinde manyetik alanlar eğilir, azalır ve keeper boyunca hareket etmeye başlar. Protezin hareket etmesiyle mıknatıs keeper'dan uzaklaştığında manyetik alanlar yayılır ve protezi tekrar eski konumuna getirmeye çalışır.⁵ Bu demektir ki açık alan sistemlerinde canlı dokular yaklaşık 7-20 mT manyetik alana maruz kalmaktadır. Kapalı alan mıknatısları kullanıldığında ise canlı dokular üzerindeki manyetik alan, en fazla 0,1 mT'ye ulaşır (dünyanın manyetik alanının iki katı).⁶

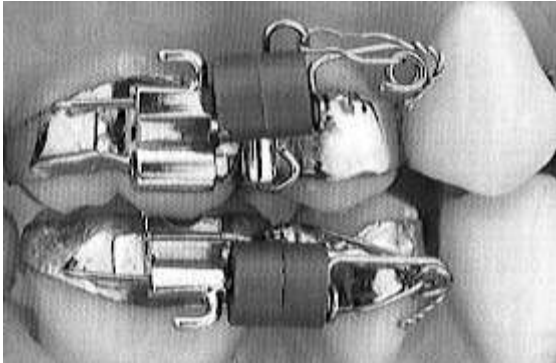
Kural olarak manyetik alanlar statik veya zamana bağlı olarak değişken olabilir. Statik alan, doğru akım varlığında oluşur; zamana bağlı olarak değişen alan ise alternatif akım kaynakları tarafından üretilir. Statik ve zamana bağlı değişen alanları ayrı ayrı değerlendirmek yararlı olacaktır. Zamana bağlı değişen manyetik alanın şiddetinde periyodik değişiklikler vardır ve vücuttaki endüksiyon akımını uyarır.⁷ Zamana bağlı olarak değişen alanlar, örnek olarak, elektrikli ev aletleri ve elektrik

iletim hatlarının çevresinde oluşur. Bununla birlikte, bazı ortodontik durumlarda birbirini iten mıknatıslar kullanılarak posterior dişlerin intrüzyonu sağlanırken mandibulanın hareketi ile manyetik alan daha çok zamana bağlı olarak değişen alana benzemektedir.⁸ Zamana bağlı olarak değişen alanlara karşı farklı biyolojik sistemlerde çok çeşitli reaksiyonlar rapor edilmiştir.^{9,10}



Resim 1. a. Diş destekli mıknatıs tutuculu overdenture uygulaması. b. İmplant destekli mıknatıs tutuculu overdenture uygulaması (Dyna magnetic system, Dyna Dental Engineering, Bergen op Zoom, Hollanda)

Dünya Sağlık Örgütü'nün belirlediği kurala göre genel toplum için sürekli SMA'ya maruz kalma limiti 40 mT'dir. Nishida ve arkadaşlarının çalışmasına göre dental manyetik ataçman ve doku arasındaki mesafe 0,4 mm veya daha fazla olduğunda ve manyetik tutucu ve keeper arasındaki boşluk da 0,1 mm olduğunda manyetik alan sızıntısı 40 mT'yi geçmemektedir.¹¹



Resim 2. Mıknatıslar ile molar distalizasyon sistemi (Magneforce™, ORMCO, ABD)

Mıknatısların insanlar, hayvanlar ve mikroorganizmalar üzerindeki biyomanyetik etkileri hakkındaki çalışmaların bazıları manyetik alanların zararlı etkileri olabileceğini göstermiştir.^{7,12-16} Son yıllarda SMA'lar, araştırmalarda, tıpta ve endüstride yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu yüzden de günlük hayatta SMA'ya maruz kalma olasılığı artmıştır. SMA'ların insan sağlığı

üzerinde oluşturduğu riskleri değerlendirmek önemlidir, çünkü epidemiyolojik çalışmalar SMA'ların lösemi, beyin tümörleri vb. hastalıklara yol açabileceğini öne sürmüştür.^{7,12}

SMA'nın etki mekanizması

Manyetik alan dokular ile etkileştiğinde üç parametre düşünülmelidir: alanın değişim ölçüsü, alanın şiddeti ve biyolojik örneğin maruz kaldığı alan vektörünün yönü.¹⁷ SMA'ların biyolojik sistemlerdeki etkisi, bu alanlardan etkilenme potansiyeline sahip olan membran moleküler yapısının özelliği (diamanyetik anizotropi) ile bağlantılıdır. Pek çok inorganik ve neredeyse tüm organik bileşikler bir derecede diamanyetizme sahiptir. Orta yoğunluktaki SMA'ların biyolojik sistemler üzerindeki etkisi için genel mekanizma, uyarılabilen membranların moleküler yapısı üzerindeki iyon spesifik kanalların fonksiyonunu değiştirmeye yeterli etkisi ile olabilecektir. Orta yoğunluktaki SMA'lar, membran fosfolipit moleküllerinin rotasyonunu, ortak diamanyetik özellikleri ile etkileyebilir. Bu da SMA'lara atfedilen neredeyse tüm biyo-etkileri açıklar. Bu hipotez birkaç farklı nörofizyolojik teknik kullanılarak test edilebilir.¹⁸ Ayrıca çözülmüş oksijenin hareketini ve enzim aktivitesini de etkileyebilir.¹⁹ Statik ve 50 Hz manyetik alanların, hücrelerde çoklu tepkileri stimüle ettiği iddia edilmiştir:

- Memeli hücrelerinde *in vitro* olarak proliferasyon yeteneğini engeller.²⁰
- Çeşitli mutajenik maddelere maruz kalan hücrelerde mutasyon oranlarını artırır.^{21,22}
- Hücreleri öldüren tedavilerden sonra tümör hücrelerinin yaşama oranlarını artırır.²³
- Kanserden kolay etkilenen fare türlerinde tümör oranını artırır.²⁴
- Kanserle ilişkili genlerin ekspresyonunu değiştirerek neoplastik gelişimi etkiler.²⁵

Bazı çalışmalar ise manyetik alanların hücre içi organellerin farklı fonksiyonları üzerindeki etkilerini ortaya koymuşlardır:

- Lipit peroksidasyonu ve reaktif oksijen türlerinin üretimi²⁶
- DNA hasarı²⁷
- İntraselüler Ca^{+2} sinyali²⁸

Bunlarla birlikte manyetik alanların son çalışmalarla ortaya konulan bazı sürpriz özellikleri, altta yatan mekanizmaları yorumlamayı karmaşık hale getirmiştir. Birincisi, göreceli olarak düşük manyetik alan enerjilerinde farklı etkiler gözlenmiştir. İkincisi, statik ve değişken manyetik alanların aynı anda varlığı, biyolojik sistemlerle manyetik alan etkileşimini optimale çevirmektedir. Üçüncüsü, biyolojik cevapların, tahmin edilemeyecek şekilde düşük amplitütte (<1 Gauss) ve frekanstaki (8-60 Hz) manyetik alanların belli pencereleri ile tespit edilmesidir.²⁹

Diş hekimliğinde SMA'nın biyolojik etkileri hakkındaki çalışmalar

Yamamoto ve ark., Nd-Fe-B mıknatıs diskleri, rat kalvary hücre kültürü yapılan kabın altına yerleştirerek hücreleri 20 gün boyunca SMA'ya maruz bırakmışlardır. Sonuçta toplam alan, sayı ve kemik nodüllerinin ortalama boyutundaki değişim istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Matriksteki kalsiyum içeriği ve osteoblastik fenotipin iki işareti belirgin artış göstermiştir. Bu bulgulara dayanarak SMA'nın osteoblastik diferansiyasyon ve/veya aktivasyonu teşvik ederek kemik oluşumunu uyardığı iddia edilmiştir.³⁰

Mc Donald da benzer şekilde, neodmiyum mıknatısın oluşturduğu SMA'nın (0,61 T) varlığında 1, 3, 5, 7 ve 10 gün sürelerince kültüre edilen yeni doğan rat kalvaryum osteoblast ve fibroblastlarını incelemiş ve fibroblastlarda artmış çoğalma ve sistemik aktivite gözlemlemiştir. Fakat Yamamoto ve arkadaşlarının çalışmasının aksine osteoblastlarda stimülasyon olmamıştır.³¹

Camilleri ve McDonald'ın çalışmalarında Wistar albino ratların sagittal suturlarına Nd-Fe-B mıknatıs yerleştirilmiş ve 1, 3, 5 ve 10. günlerdeki hücresel aktivite

ve kemik oluşumu incelenmiştir. Sonuçta manyetik alanla temasın bir yolla hücre bölünmesini engelleyebileceği açıklanmıştır. Yine kemik büyümesinin belirgin bir derecede etkilenmediği gösterilmiştir.¹⁹

Sato ve ark., HeLa S3 (insan epitelyal karsinoma) hücrelerini ve normal insan gingival fibroblastları kültüre ederek, yüzeyinde 0,2 T manyetik alana sahip Sm-Co mıknatıs bloklarının (5 x 4,5 x 1,5 cm) üzerine yerleştirmişlerdir. Manyetik alan uygulanan (1,1-0,35 T) hücrelerde, kontrollere göre DNA sentezi, DNA içeriği, hücre şekli ve hücre sayısı açısından anlamlı bir farklılık bulamamışlardır.³²

Manyetik alanın implantların osseointegrasyonuna etkisinin araştırıldığı bir çalışmada Kim ve ark., Nd-Fe-B mıknatıstan uzaklığı kontrol ederek 1, 2, 3, 5, 7 ve 10 mT manyetik alanlarda titanyum yüzeyine fibronektin tutunmasını ve insan osteosarkom TE-85 hücrelerinin yapışması ve çoğalmasını incelemişlerdir. Fibronektin tutunmasında belirgin bir fark bulunmamıştır. Yapışma deneyinde kontrol grubuna göre, 1, 2, 5 ve 10 mT gruplarında anlamlı farklılık bulunmuştur. Özellikle 1 mT'da en yüksek hücre yapışması değeri görülmüştür. Çoğalma deneyinde ise kontrol grubuna göre farklılık görülmemekle birlikte 1 mT grubu 2, 3 ve 7 mT'ye göre anlamlı derecede yüksek çoğalma değerleri göstermiştir.³³ Bu çalışmanın en önemli sonucu, manyetik alanların belli yoğunluklarının biyolojik cevapları artırdığının görülmüş olmasıdır.

Linder-Aronson ve Lindskog diğer bir çalışmada insan periodontal fibroblastlarını paslanmaz çelik kaplı, 32 mm çapında ve 7 mm kalınlığında Nd-Fe-B mıknatısların üzerine yerleştirilen petrielerde 5 hafta süre ile kültüre etmişlerdir. Bu çalışmada hücrelerin yapıştığı tabakada manyetik alan 107 mT ile 230 mT arasında değişmekteydi. Çalışma sonucunda SMA'ya maruz kalan hücrelerin yapışması ve büyümesinde belirgin zayıflama görülmüştür. Her iki gözlem de azalmış hücre döngüsü veya mitotik aktivite ile uyumludur.³⁴ Xu ve ark. da, ortodontik nedenlerle çekilen sağlıklı bir diştten aldıkları periodontal ligament hücrelerini kültüre ederek Nd-Fe-B mıknatıslar ile kendi geliştirdikleri bir sistem aracılığıyla manyetik alana maruz bırakmışlardır. Kültür kapları ve mıknatıslar arasındaki mesafe değiştirilerek, kapalı alan ve açık alan mıknatıslarını taklit etmek için manyetik akı sırasıyla 10 mT ve 120 mT'ye ayarlanmış; 12, 36 ve 60 saatlik uygulamalar yapılmıştır. Hastanın gün boyunca manyetik tutuculu protezi kullanma süresini taklit etmek için 12 saat seçilmiştir. Kontrol kültürleri sistemin dışında tutulmuştur. On iki saat

boyunca 10 mT manyetik akı uygulanan hücrelerde boyut ve şekil olarak kontrollerle fark görülmemiştir. Sırasıyla 36 ve 60 saatlik uygulama sonucunda ise hücrelerde büzülme ve sitoskeleton F-aktinlerde düzensizlik görülmüştür. 120 mT uygulamasında hücrelerde büzülme, sitoskeleton F-aktinlerde kısalma ve düzensizlik açıkça görülmüştür. 120 mT'nin 60 saat uygulanmasında ise büzülmiş hücrelerdeki F-aktinleri artık ayırt edilememiştir. Hücrelerdeki büzülme, hücrelerin kültür kabına yapışma yeteneklerinin de azalmasını belirtmektedir.³⁵ Periodontal ligament hücreleri ile yapılan bu iki çalışmada da SMA etkisi ile azalmış hücresel aktivite dikkat çekmektedir. Buna karşın, Mc Donald'ın rat fibroblastlarında SMA etkisi ile artmış hücresel aktivite rapor ettiği çalışması³¹ göz önüne alınırsa SMA etkisinin hücre tipine ve manyetik alanın şiddetine göre değiştiği görülmektedir.

Linder-Aronson ve ark., farelerin bacaklarına Co₅Sm mıknatıslar takarak epitel ve kemik dokudaki reaksiyonları histomorfometrik olarak inceledikleri çalışmalarında epitelde incelleme ve kemik doku oluşumunda gecikme tespit etmişlerdir. Fakat bu etkilerin büyük oranda geri dönüşümlü olduğu ve ortodontik nadir toprak mıknatıslarının oluşturduğu lokal yan etkilerin göz ardı edilebilir olduğu sonucuna varmışlardır.³⁶

Linder-Aronson ve arkadaşları maymunlarda boşluk kapatılmasında kapalı yay ile Sm-Co ortodontik mıknatısları karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada mıknatıslar, dişeti epiteli ile arasında 0,5-1 mm mesafe olacak şekilde 13 haftalık süre boyunca uygulanmıştır. Mıknatıslar birbirlerine göre hareket ettiğinden bu çalışmadaki manyetik alan, zamana bağlı değişen tiptedir. Çalışmanın sonucunda boşluğun kapatılmasında, kemik oluşumunda veya epitel kalınlığında istatistiksel olarak fark bulunmamıştır. Fakat mıknatısların altında daha fazla kemik rezorpsiyonu ve osteosit boşluğu görülmüştür.³⁷

SMA'nın ortodontik diş hareketine etkisinin araştırıldığı çalışmada Tengku ve ark., ratlara mıknatıslı ve mıknatıssız apareyler takmışlardır. SMA'nın (100-170 Gauss) diş hareketini artırmadığını ve diş hareketi sırasında periodontal ligamentin histolojik görünümünde büyük ölçüde bir değişiklik yapmadığını göstermişlerdir.³⁸

Yamaguchi ve ark.'nın insan gingival fibroblastlarını, Sm-Co manyetik blok üzerinde 6-8 ay süreyle 0,2 T manyetik alana maruz bıraktıkları çalışmalarında, hücre proliferasyonu nükleer DNA içeriği, laktat üretimi ve glikoz tüketimi ile ATP içeriği belirlenmiş ve hücre morfolojisi araştırılmıştır. Sonuçta kontrol grubuna göre manyetik alana maruz kalan grup, istatistiksel olarak

belirgin farklılık göstermemiştir.³⁹ Bu çalışma, hücre kültürü çalışmaları içinde en uzun süreli olanlardandır. Hsu and Chang çalışmalarında 290 mT SMA'nın tek başına rat dental pulpa hücre siklusuna ve proliferasyonuna zarar vermediğini göstermişlerdir. Fakat dexamethasone / b-glycerophosphate indüksiyonu (osteojenik indüksiyon) ile birlikte SMA uygulamasının rat dental pulpa hücrelerinin osteojenik diferansiasyonu ve mineralizasyonunu belirgin şekilde hızlandırdığı sonucuna varmışlardır.⁴⁰

Mıknatısların dokuya implante edildiği bazı hayvan çalışmalarında ise ne yumuşak ne de sert dokularda SMA etkisi ile belirgin bir fark oluşmadığı görülmüştür.^{14, 41-43}

Manyetik alanın biyolojik etkileri hakkında literatürde sınırlı sayıda insan çalışması vardır. Bunlardan biri olan Saygılı ve ark.'nın çalışmasında manyetik alanın maksiller bukkal mukozanın kan akışında zarar verici bir etki yapmadığı gösterilmiştir.⁴⁴

Bondemark ve ark., çalışmalarında 7 bireyin ortodontik amaçla çekilmesi planlanan premolar dişine, kutup yüzeyi bukkal gingival marjinden yaklaşık 1 mm mesafede olacak şekilde bir Sm-Co mıknatıs, kontralateral dişe ise demanyetize mıknatıs yapıştırmışlardır. Test tarafında, pulpada manyetik akı 10-15 mT, gingival marjinlerde ise 20-90 mT olarak ölçülmüştür. Sekiz haftalık test süresi sonunda dişler çekilmiş, EDTA ile dekalsifiye edilmiş, gingival biyopsiler alınmış, parafine gömülerek kesitleri ışık mikroskobu ile incelenmiştir. Pulpada hücre morfolojisinde ve düzeninde değişim görülmemiştir. Gingival dokularda da fark görülmemiştir.⁴⁵

Bondemark ve ark.'nın yaptıkları diğer bir insan çalışmasında akrilik kaplı Nd-Fe-B mıknatısları kutup kısmı bukkal mukozaya bakacak şekilde bir premolar dişe yapıştırmış, karşı taraf simetrik dişe ise demanyetize mıknatıs yapıştırmışlardır. Biyopsilerin alınacağı bölgede manyetik akım değerleri tüm örneklerde 80 ile 140 mT arasında değişmiştir. Mıknatıs ile temasta olan ve 9 ay boyunca SMA'ya maruz kalan bukkal mukozada histolojik olarak, her iki tarafta da görülen sürtünmeye bağlı epitel kalınlaşması dışında, kontrol tarafı ile farklılık görmemişlerdir.⁴⁶ Bu çalışma, literatürde SMA'nın en uzun süre uygulandığı *in vivo* çalışmalardan birisidir.

Yağcı ve ark. iki farklı ticari marka dental manyetik tutucunun oluşturduğu, maksimum değeri 148.1, 130, 107, 95.6 mT olan manyetik alanların insan gingival fibroblastlarının mitotik aktivitesine olası etkilerini primer hücre kültüründe mitotik indeks yöntemi ile

incelemiş ve manyetik alana maruz kalan hücreler ve kontrol grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulamamışlardır.⁴⁷

Miyakoshi'ye göre, pek çok makale kapsamlı olarak ele alındığında, manyetik yoğunluk göz önüne alınmaksızın SMA'lara maruz kalmanın etkisi ya yoktur ya da hücre büyümesinde veya genetik toksisitede çok küçük etkileri vardır. Bununla birlikte, iyonize radyasyon ve bazı kimyasallar gibi diğer dışsal faktörler ile kombine olduğunda, SMA'nın bunların etkilerini değiştireceğini öne süren güçlü kanıtlar vardır.^{48,40}

Bugüne kadar 2 T'nin altındaki akım yoğunluğundaki çevrede çalışmanın veya 2 T'nin altındaki akıma maruz kalmanın açık bir şekilde olumsuz sağlık etkileri bulunmamıştır.²⁹ Bu yüzden SMA'nın olumlu veya olumsuz biyolojik etkileri hakkında tam bilgiye ihtiyaç vardır. Manyetik alanların biyolojik etkileri hakkındaki iddiaların çoğunun biyofizik olarak mantıklı açıklanması zordur ve bu yüzden tartışmalara yol açmaktadır.³⁵

Sonuç

Literatürde yer alan çalışmalara bakıldığında farklı hücre tiplerine, farklı şiddetlerde ve farklı sürelerde SMA uygulandığı ve olası etkilerin farklı yöntemlerle analiz edildiği görülmektedir. Bu nedenle sonuçların birebir karşılaştırılması mümkün olamamaktadır. *In vitro* testlerden elde edilen sonuçların da *in vivo* şartları ve uzun süreli klinik kullanımın oluşturacağı yan etkileri yansıtmayacağı genel olarak bilinmektedir. Miknatis tutuculu protezlerin de uzun yıllar kullanıldığı göz önüne alındığında, miknatislerin uzun dönem klinik kullanımı sonucu olası etkilerin araştırılması için ileri çalışmalara ihtiyaç olduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Noar JH, Evans RD. Rare earth magnets in orthodontics: an overview. *Br J Orthod* 1999; 26: 29-37.
2. Riley MA, Walmsley IR, Harris IR. Magnets in prosthetic dentistry. *J Prosthet Dent* 2001; 86: 137-142.
3. Bondemark L, Kurol J, Wisten A. Extent and flux density of static magnetic fields generated by orthodontic samarium-cobalt magnets. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1995; 107: 488-496.
4. Cameron JR, Skofronick JG, Grant RM. Electrical signals from the body. *Physics of the Body. 2nd ed., Medical Physics Publishing, Wisconsin, USA* 1999; 251.
5. Ulusoy M, Aydın AK. Diş Hekimliğinde Hareketli Bölümlü Protezler. *Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Yayınları* 2003; 487-498.
6. Gillings BRD. Magnetic retention for complete and partial overdentures. Part I. *J Prosthet Dent* 1981; 45: 484-491.
7. Magnetic Fields, Environmental Health Criteria 69. WHO, Geneva, 1987.
8. Sandler P, Meghji S, Murray A et al. Magnets and orthodontics. *Br J Orthod* 1989; 16: 243-249
9. Rivas L, Rius C, Tello I, Oroza M. Effects of chronic exposure to weak electromagnetic fields in mice. *IRCS Medical Science* 1985; 13: 661-662.
10. Basset C. Pulsing electromagnetic fields: a new method to modify cell behaviour in calcified and noncalcified tissues. *Calcif Tissue Int* 1982; 34: 1-8.
11. Nishida MI, Tegawa Y, Kinouchi Y. Evaluation of leakage flux out of a dental magnetic attachment. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2007; 2007: 3520-3523.
12. Suzuki Y, Ikehata M, Nakamura K et al. Induction of micronuclei in mice exposed to static magnetic fields. *Mutagenesis* 2001; 16: 499-501.
13. Gillings BRD. Magnetic denture retention systems. In Preiskel HW editor. Precision Attachments in Prosthodontics: Overdentures and telescopic prostheses. Vol 2., *Quintessence Publishing Co, Chicago* 1985; 191-227.
14. Cerny R. The biological effects of implanted magnetic fields. Part 1. Mammalian blood cells. *Aust Orthod J* 1979; 6: 64-70.
15. Cerny R. The biological effects of implanted magnetic fields. Part 2. Mammalian tissues. *Aust Orthod J* 1979; 6: 114-123.
16. Cerny R. The use of magnetic forces in dentistry. *Aust Dent J* 1978; 23: 392-95.
17. Blechman A, Smiley H. Magnetic force in orthodontics. *Am J Orthod* 1978; 74: 435-442.
18. Rosen, AD. Mechanism of action of moderate-intensity static magnetic fields on biological systems. *Cell Biochem Biophys* 2003; 39: 163-173.
19. Camilleri S, McDonald F. Static magnetic field effects on the sagittal suture in *Rattus Norvegicus*. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1993; 103: 240-246.
20. Ross SM. Combined DC and ELF magnetic fields can alter cell proliferation. *Bioelectromagnetics* 1990; 11: 27-36.
21. Nordenson I, Mild KH, Andersson G, Sandstrom M. Chromosomal aberrations in human amniotic cells after intermittent exposure to fifty hertz

- magnetic fields. *Bioelectromagnetics* 1994; 15: 293-301.
22. Miyakoshi J, Yamagishi N, Ohtsu S, Mohri K, Takebe H. Increase in lipoxanthine-guanine phosphoribosyl transferase gene mutations by exposure to high-density 50 Hz magnetic fields. *Mutat Res* 1996; 349: 109-114.
 23. Liburdy RP, Sloma TR, Sokolic R, Yaswen P. ELF magnetic fields, breast cancer, and melatonin: 50 Hz fields block melatonin's oncogenic action on ERC breast cancer cell proliferation. *J Pineal Res* 1993; 14: 89-97.
 24. Morandi MA, Pak CM, Caren RP, Caren LD. Lack of an EMF-induced genotoxic effect in the Ames assay. *Life Science* 1996; 59: 263-271.
 25. Loberg LI, Engdahl WR, Gauger JR, Mc Cormick DL. Expression of cancer-related genes in human cells exposed to 60 Hz magnetic fields. *Radiat Res* 2000; 153: 679-684.
 26. Ishisaka R, Kanno T, Inai Y et al. Effects of a magnetic fields on the various functions of subcellular organelles and cells. *Pathophysiology* 2000; 7: 149-152.
 27. Fiorani M, Cantoni O, Sestili P et al. Electric and/or magnetic field effects on DNA structure and function in cultured human cells. *Mutat Res* 1992; 282: 25-29.
 28. Lyle DB, Fuchs TA, Casamento JP, Davis CC, Swicord ML. Intracellular calcium signaling by Jurkat T-lymphocytes exposed to 60 Hz magnetic field. *Bioelectromagnetics* 1997; 18: 439-445.
 29. Dini L, Abbro L. Bioeffects of moderate-intensity static magnetic fields on cell cultures. *Micron* 2005; 36: 195-217.
 30. Yamamoto Y, Ohsaki Y, Goto T, Nakasima A, Iijima T. Effects of static magnetic fields on bone formation in rat osteoblast cultures. *J Dent Res* 2003; 82: 962-966.
 31. McDonald F. Effect of static magnetic fields on osteoblasts and fibroblasts in vitro. *Bioelectromagnetics* 1993; 14: 187-196.
 32. Sato K, Yamaguchi H, Miyamoto H, Kinouchi Y. Growth of human cultured cells exposed to a non-homogeneous static magnetic field generated by Sm-Co magnets. *Biochim et Biophys Acta* 1992; 1136: 231-238.
 33. Kim HJ, Chang IT, Heo SJ et al. Effect of magnetic field on the fibronectin adsorption, cell attachment and proliferation on titanium surface. *Clin Oral Implants Res* 2005; 16: 557-562.
 34. Linder-Aronson A, Lindskog S. Effects of static magnetic fields on human periodontal fibroblasts in vitro. *Swed Dent J* 1995; 19: 131-137.
 35. Xu C, Zhen F, Chao YL, Du L, Zhang FQ. Magnetic fields of 10 mT and 120 mT change cell shape and structure of F-actins of periodontal ligament cells. *Bioelectrochemistry* 2008; 72: 41-46.
 36. Linder-Aronson A, Rygh P, Lindskog S. Effects of orthodontic magnets on cutaneous epithelial thickness and tibial bone growth in rats. *Acta Odontol Scand* 1995; 53: 159-163.
 37. Linder-Aronson A, Forsberg CM, Rygh P et al. Tissue response to space closure in monkeys: a comparison of orthodontic magnets and superelastic coil springs. *Eur J Orthod* 1996; 18: 581-588.
 38. Tengku BS, Joseph BK, Harbrow D et al. The effects of a static magnetic field on orthodontic tooth movement in the rat. *Eur J Orthod* 2000; 22: 475-487.
 39. Yamaguchi H, Hosokawa K, Soda A, Miyamoto H, Kinouchi Y. Effects of seven months exposure to a static 0,2 T magnetic field on growth and glycolytic activity of human gingival fibroblasts. *Biochim Biophys Acta* 1993; 1156: 302-306.
 40. Hsu SH, Chang JC. The static magnetic field accelerates the osteogenic differentiation and mineralization of dental pulp cells. *Cytotechnology* 2010; 62: 143-155.
 41. Cerny R. The reaction of dental tissue to magnetic fields. *Aust Dent J* 1980; 25: 264-268.
 42. Toto PD, Choukas NC, Sanders DD. Reaction of bone and mucosa to implanted magnets. *J Dent Res* 1962; 41: 1438-1449.
 43. Altay OT, Kutkam T, Köseoğlu O, Tanyeri S. The biological effects of implanted magnetic fields on bone tissue of dogs. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1991; 6: 345-349.
 44. Saygılı G, Aydınlık E, Ercan MT et al. Investigation of the effects of magnetic retention systems used in prostheses on buccal mucosal blood flow. *Int J Prosthodont* 1992; 5: 326-332.
 45. Bondemark L, Kurol J, Larsson A. Human dental pulp and gingival tissue after static magnetic field exposure. *Eur J Orthod* 1995; 17: 85-91.
 46. Bondemark L, Kurol J, Larsson A. Long-term effects of orthodontic magnets on human buccal mucosa- a clinical, histological and immunohistochemical study. *Eur J Orthod* 1998; 20: 211-218.
 47. Yağcı F, Kesim B, Akalın H ve ark. Dental protezlerde kullanılan mıknatısların oluşturduğu statik manyetik alanın insan gingival doku fibroblastlarının mitotik aktivitesine olan etkilerinin in vitro incelenmesi. *Erciyes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi* 2012; 21: 9-19.
 48. Miyakoshi J. Effects of static magnetic fields at the cellular level. *Prog Biophys and Mol Biol* 2005; 87: 213-223.

Yazışma Adresi:

Uzman Dr. Filiz YAĞCI
Erciyes Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi
Protetik Diş Tedavisi AD
Melikgazi Kayseri-Türkiye
Tel : 0 532 2203477
E-posta : filiztesar@hotmail.com