

Çok düşük (50 Hz) frekanslı manyetik alanın farelerin serum kortizol ve testosteron düzeyleri ile testis histolojisi üzerindeki etkilerinin belirlenmesi

Nilsel OKUDAN¹, A. Emine ÇİÇEKÇİBAŞI², Mustafa BÜYÜKMUMCU², İlhami ÇELİK³,
Hakkı GÖKBEL¹, Ahmet SALBACAK², Tuğba TELATAR³

¹Selçuk Üniversitesi Meram Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalı,
²Selçuk Üniversitesi Meram Tıp Fakültesi Anatomi Anabilim Dalı,
³Selçuk Üniversitesi Veteriner Fakültesi Histoloji Anabilim Dalı, KONYA

ÖZET

Amaç: Endüstriyel ülkelerde, 50 Hz'lik çok düşük frekanslı manyetik alanlara (ÇDF-MA) giderek daha fazla maruz kalındığından, bu alanların insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinin belirlenmesine yönelik araştırmalar yoğunluk kazanmıştır. Bu çalışmada, farelerde farklı şiddetlerdeki ÇDF-MA'nın serum kortizol ve testosteron düzeylerine etkisinin ve testislerde oluşan histolojik değişikliklerin belirlenmesi amaçlanmıştır. **Gereç ve Yöntem:** Çalışmada Selçuk Üniversitesi Deneysel Tıp Araştırma ve Uygulama Merkezi'nden temin edilen 64 fındık faresi (Swiss albino fare) kullanıldı. Uygulama gruplarındaki hayvanlar 40 gün süreyle 50 Hz'lik farklı şiddetlerdeki (10, 30 ve 50 mG) manyetik alana maruz bırakıldı. **Bulgular:** Erkek farelerin serum kortizol düzeyleri alan etkisiyle önemli derece düşerken, dişilerin serum kortizol düzeyleri etkilenmedi. Erkek ve dişi farelerin serum kortizol düzeyleri birlikte değerlendirildiğinde, gruplar arasında fark yoktu. Serum testosteron düzeyleri, 50 mG manyetik alana maruz bırakılan erkek hayvanlarda diğer gruplardakinden önemli derecede yüksekti. Hem kontrol grubunda hem de çalışma gruplarında testislerde önemli bir histolojik değişikliğe rastlanmadı. **Sonuç:** Farelerin farklı şiddetlerdeki ÇDF-MA'na maruz bırakılmasıyla serum kortizol ve testosteron düzeyleri arasında doğrusal bir ilişkinin bulunmadığı ve testislerde histolojik değişiklik oluşmadığı sonucuna varıldı.

Anahtar kelimeler: Manyetik alan, kortizol, testosteron, testis

Selçuk Tıp Derg 2006; 22: 1-7

SUMMARY

Effects of extremely low frequency (50 Hz) magnetic field on serum cortisol and testosterone levels and testes histology of the mice

Aim: Since public exposure to extremely low frequency (50 Hz) magnetic fields (ELF-MF) is gradually increasing in industrialized countries, research efforts have focused on the possible effects of the ELF-MF fields on the human health. In this study, it was aimed to find out the effects of ELF-MF at various intensities on serum cortisol and testosterone levels and to determine histological changes in the testes of the ELF-MF-exposed mice.

Material and method: Sixty four mice (Swiss albino mice) obtained from Selçuk University Experimental Medicine Research and Application Center were used in the study. The experimental groups were exposed to 50 Hz MF at different intensities (10, 30 and 50 mG) for 40 days. **Results:** The serum cortisol levels of the male mice decreased by field effect but in female mice no significant differences were found between control and exposure groups. However, the differences between the control and exposure groups were not significant when the serum cortisol levels of male and female mice were regarded as a wholes. Serum testosterone level of the 50 mG group was significantly higher than those of the other groups. No significant histological changes were determined in the testes in both control and any exposure groups. **Conclusion:** There is no direct correlation between the ELF-MF intensity and serum cortisol and testosterone levels, and ELF-MF does not cause histological changes in testes.

Key words : Magnetic fields, cortisol, testosterone, testes

Haberleşme Adresi: Dr. Nilsel OKUDAN
S.Ü. Meram Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalı, KONYA
e-posta: nokudan@selcuk.edu.tr

Geliş Tarihi : 26.12.2005 Yayına Kabul Tarihi : 03.02.2006

Son yıllarda kullanıma giren ve çok farklı frekanslarda manyetik alan (MA) yayan araçların neden olduğu elektromanyetik kirlenmenin, insan sağlığına zararlı olabileceği ilk kez epidemiyolojik çalışmalarla gündeme gelmiştir. Bu konudaki ilk araştırmalarda (1-4) yüksek gerilim hatlarından kaynaklanan çok düşük frekanslı MA'a (ÇDF-MA) maruz kalmayla çocukluk lösemisine yakalanma sıklığı arasında ilişki bulunmuştur. Erişkin dönemdeki kanserlerle MA'a maruz kalma arasında ilişki olabileceği de ileri sürülmüştür (2,5,6).

Ülkemizde elektriğin üretim ve dağıtımı çok düşük frekanslı (50 Hz) alternatif akım halinde yapılmakta ve elektrikli araçların çoğu bu frekansta çalışmaktadır. Evde kullanılan TV, fırın, bulaşık makinesi, çamaşır makinesi, saç kurutma makinesi ve elektrikli battaniye yanında, sanayide ve tıpta kullanılan pek çok araçtan da farklı şiddetlerde ÇDF-MA yayılmaktadır. Bu MA kaynaklarına; mikro dalga fırınlar, cep telefonları ve bunların baz istasyonları, radyo - televizyon vericileri ve alıcılarıyla, bilgisayar monitörlerinden gelen çok farklı frekanslı MA'lar da eklenince, durum daha karmaşık hale gelmekte ve günlük yaşamda maruz kalınan MA'nın zararlı etkilerinin belirlenmesi zorlaşmaktadır. Bu nedenle, MA'nın insan sağlığına etkileri konusunda hâlâ aydınlatılmayı bekleyen pek çok karanlık nokta vardır.

MA, elektrik alanın aksine, pek zayıflamadan vücudun derinlerine nüfuz eder ve bu yüzden vücudun derinlerindeki MA şiddeti dışarıdaki alan şiddetiyle hemen hemen aynıdır. Bu nedenle, ÇDF-MA'nın manyetik alan bileşeninin etkileri üzerinde daha çok durulmaktadır (7). Bu çalışmada, ülkemizde kullanılan frekans olan 50 Hz frekanslı MA'nın zararlı etkilerinin belirlenmesine çalışılmıştır.

Çok yüksek gerilim taşıyan bir iletim hattının tam altındaki manyetik alan şiddeti, güç tüketimi esnasında yaklaşık 1 G'tur. Bu alan şiddeti dağıtım hatlarının altında 100 mG'a düşer ve hattın uzaklaşınca uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak hızla azalarak ev içi ortamda maruz kalınan değer altına düşer (7). Ülkemizdeki çarpık yapılaşmadan dolayı, gerek iletim ve gerekse de dağıtım hatlarının yakınında ve hatta altında pek çok konut ve işyeri inşa edildiğinden, bazı yüksek gerilim hatları en önemli MA kaynağı haline gelmiştir (8). İdeal

koşullarda, manyetik alan şiddeti ev içinde 0-2 mG (0-0.2 μ T) arasında olmalıdır. Ülkemizde yapılan ölçümler, dağıtım hatları ile iletim hatlarına izin verilen mesafelerdeki mesken ve parkların bu elektrik hattına yakın bölümlerinde ölçülen ÇDF-MA şiddetinin önerilen değerlerden yüksek olduğunu göstermektedir (8). TV alıcıları, bilgisayar monitörleri, mutfak araçları insanların en fazla maruz kaldıkları ÇDF-MA kaynaklarıdır. Ancak, bunlardan yayılan MA şiddeti, araçlardan uzaklaştıkça hızla düşer ve 1 metreden uzak mesafelerde pratik olarak sıfırdır. Elektrikli battaniye, tıraş makinesi ve saç kurutma makinesinin doğurduğu asıl problem, bunların vücuda yakın kullanılmalarının gerekmesidir. Elektrik tesisatından kaynaklanan ev içi manyetik alan şiddeti ise, uygun topraklama yapıldığında çok düşüktür.

Dişi ve erkek üreme sistemleri ÇDF-MA'nın muhtemel hedefleri arasındadır. Lee ve ark. (9), 60 Hz'lik 0.1 mT ve 0.5 mT şiddetindeki alanlara 8 hafta süreyle maruz bıraktıkları 7 haftalık BALB/c farelerin vücut ve testis ağırlıklarında önemli değişimler gözlememekle birlikte, germ hücrelerindeki apoptozis sıklığının kontrol grubundan yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Margonato ve ark. (10), sıçanların 440 saat süreyle 50 Hz'lik, 25 ve 100-kV/m şiddetindeki iki farklı elektriksel alana maruz bıraktıkları bir çalışmada, kontrol ve deney grupları arasındaki serum lüteinizan hormon (LH), folikül uyarıcı hormon (FSH) ve testosteron düzeyleri arasındaki farklar önemsiz olduğu halde, 25 ve 100-kV/m grupları arasındaki farkların önemli olduğunu bulmuşlardır. Aynı çalışmada, deney gruplarının testis / vücut ağırlığı oranında hafif bir artış gözlenmekle birlikte, kontrol ve deney grubundaki hayvanların testis histolojileri arasında fark bulunmamıştır.

MA'nın endokrin sistem üzerine etkilerinin belirlenmesine yönelik çalışmalarda (11-13) ÇDF ve çok yüksek frekanslı (ÇYF) manyetik alanların etkileri arasında önemli farklar tespit edilmiştir. Arnetz ve Berg (13), ÇDF-MA yayan bilgisayar monitörleri karşısında çalışanların serum melatonin düzeylerinin düştüğünü, adrenokortikotropik hormon düzeylerinin ise arttığını tespit etmişlerdir. Gamberale ve ark. (12), elektriksel alan şiddeti 2.8 kV/m, MA şiddeti 23.3 mT olan 400 kV'lık yüksek gerilim hattı altında çalışan işçilerin serum tiroid hormonu, FSH, prolaktin, kortizol, testosteron ve neopterin düzeylerinde MA'dan kaynaklanan

değişiklikler gözlemlenmemişlerdir. Mann ve ark. (11) ise, 900-MHz'lik MA uygulaması ile serum kortizol düzeyinde 1 saat süren, hafif bir yükselme olduğunu, büyüme hormonu, LH ve melatoninin ise, ne gece boyunca üretimlerinde ne de sekresyon dinamiklerinde önemli değişikliklerin olmadığını saptamışlardır. Araştırmacılar (11), organizmanın yeni bir uyarana adaptasyonuna işaret eden kortizol düzeyindeki hafif bir yükselme hariç, zayıf şiddetli MA'nın endokrin sistem üzerinde etkili olmadığını ileri sürmüşlerdir.

Bu çalışmada, ülkemizde kullanılan elektrik şebeke frekansı olan 50 Hz frekanslı farklı şiddetlerdeki MA'nın fındık farelerinin serum kortizol ve testosteron düzeyleriyle, testisin histolojik yapısı üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

GEREÇ VE YÖNTEM

a) Elektromanyetik alan ölçümleri ve alan oluşturulması

Ölçümler geniş bant, yüksek duyarlılığa sahip, genel amaçlı AC manyetometre (Walker Scientific, Model: BBM-3D, Walker Scientific Inc., Rockdale Street, Worcester, Massachusetts 01606, USA) kullanılarak gerçekleştirildi. Manyetometrenin 2000, 200 ve 20 mG aralıklarında ölçüm yapılabilen 3 farklı alan şiddeti ölçüm kademesi vardır ve cihaz 12 Hz - 50 kHz frekans bant aralığında ölçüm yapılabilmektedir. Manyetometrenin hassasiyeti, 20 mG kademesinde 0.01 mG (1 nT), 200 mG kademesinde 0.10 mG, 2000 mG kademesinde ise 1.00 mG'tur.

Manyetik alanda oluşabilecek olan distorsiyonları engellemek ve homojen bir MA oluşturabilmek amacıyla; MA'ya maruz bırakılan hayvanlar çalışma süresince, şeffaf polivinil kloridten (PVC) özel olarak imal ettirilen 32 cm çaplı silindirik karkaslar üzerine 0.40 mm çaplı izole bakır telden yapılan sargı ve bunun verniklenmesiyle hazırlanan bobin sistemleri içine yerleştirilmiş olan şeffaf PVC kafeslerde beslendi. Sarım sayısı ve tel çapı, sargıdan optimal düzeyde akım geçerken en düşük (10 mG) ve en yüksek (50 mG) manyetik alan şiddeti elde edilecek ve sargının ısınmasıyla hayvanlarda ısı stresi oluşumuna yol açmayacak şekilde belirlendi. Isınma olup olmadığının kontrolü için kafes içindeki farklı noktalarda, termometre kademesi olan dijital bir ölçü aletiyle (Maxcom MX 250TX) periyodik sıcaklık ölçümleri

yapıldı. Sargıların beslemesi, 150 W'lık voltaj regülâtöründen sağlanan alternatif akımla beslenen ve çıkış gerilimi 12 V, çıkış gücü 30 W olan bir transformatörle gerçekleştirildi. Alan şiddetlerinin hassas biçimde ayarlanmasında transformatörün girişine bağlanan bir dimmer devresi ile çıkışına bağlanan bir mekanik reostadan yararlanıldı.

b) Hayvan materyali

Selçuk Üniversitesi Deneysel Araştırma ve Uygulama Merkezi Etik Kurulundan onay alındıktan sonra merkezden temin edilen 64 adet yirmi günlük albino faresi (Swiss albino fare) kullanıldı. Hayvanlar 1 haftalık alıştırmaya döneminde takiben her birinde her iki cinsiyetten eşit sayıda olmak üzere toplam 16 hayvan bulunan 4 gruba ayrılarak; deney gruplarındaki hayvanlar kesintisiz biçimde 40 gün süreyle Tablo 1'de bildirilen MA şiddetlerine maruz bırakıldı, kontrol grubundaki hayvanlar ise deney gruplarının beslendiği kafeslerde bobinlere akım verilmeden beslendi. Hayvanlara kısıtlamasız standart sıçan yemi ve içme suyu verildi. Çevresel elektromanyetik alanların etkilerini en aza indirebilmek için kafesler, laboratuvarın manyetik alan şiddetinin en düşük (<0.1 mG) olduğu bölüme yerleştirildi. Laboratuvarın ortalama sıcaklığı 22°C, nispi nem oranı % 55-60 arasında tutuldu.

Deney sonunda fareler, ketamin anestezisi altında kan örnekleri alındıktan sonra dişe edilerek, testis örnekleri alındı. Kan örneklerinden elde edilen serumlar, hormon analizleri yapıncaya kadar -82°C'de saklandı.

c) Serum kortizol ve testosteron düzeylerinin belirlenmesi

Hormon analizleri için intrakardiyak kan örnekleri düz biyokimya tüplerine alındı ve serumlar elde edildi. Kortizol ve testosteron düzeyleri IBL marka ELISA kiti kullanılarak belirlendi.

d) Histolojik incelemeler

Hayvanlardan alınan testis dokusu örnekleri, fosfat tamponlu formal-salinde (0.1M, pH 7.4) bir gece tespit edildikten sonra yıkama, dehidrasyon ve parlatma işlemlerini takiben parafinde bloklandı. Bloklardan alınan 6 µm kalınlığındaki kesitler Crossman'ın üçlü boyamasıyla boyanarak (14), dijital kameralı Nikon Eclipse E 400 araştırma mikroskopuyla incelendi ve gerekli görülen böl-

gelerin dijital görüntüleri kaydedildi.

e) İstatistiksel analizler

Değerler $\bar{X} \pm SS$ şeklinde sunuldu. Gruplar arası farkların karşılaştırılmasında Kruskal-Wallis varyans analizi kullanıldı. Farkın anlamlı olduğu durumlarda, söz konusu verinin kontrol grubuyla yapılan karşılaştırmalarında Bonferroni düzeltmesi yapılarak Mann - Whitney U testinden yararlanıldı. $P < 0.05$ olduğunda, farklar anlamlı kabul edildi.

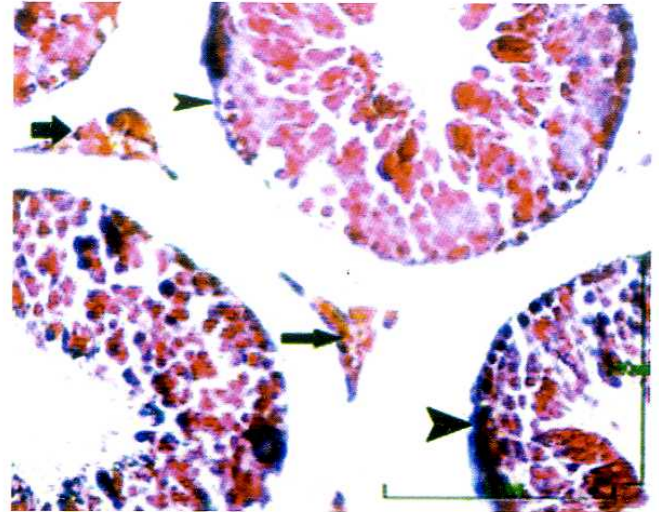
BULGULAR

Deney süresince hayvanlar normal bir gelişim seyri izlediler ve ölüm gözlenmedi.

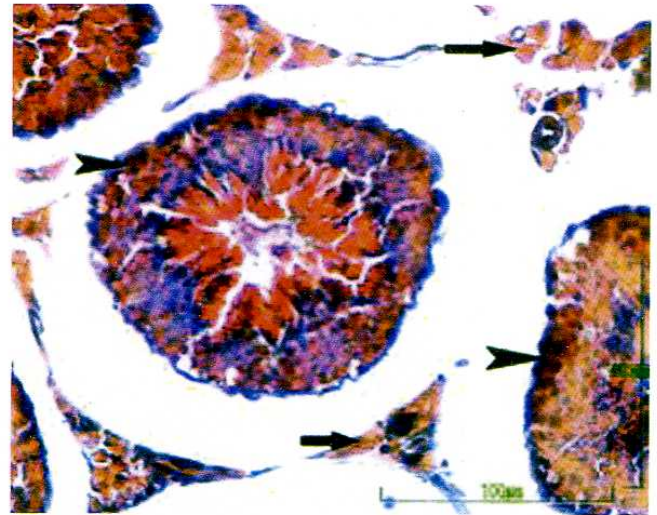
Erkek ve dişi farelerin serum kortizol düzeyleri birlikte değerlendirildiğinde, gruplar arasında fark yoktu. Kontrol grubuyla karşılaştırıldığında erkek farelerde uygulama gruplarının tamamında ortalama serum kortizol düzeyi, önemli derecede düşüktü (Tablo 1). Dişilerde ise, serum kortizol düzeyi açısından gruplar arasında fark bulunmadığı görüldü. Erkek hayvanların, manyetik alan etkisine serum kortizol seviyeleri açısından daha fazla duyarlı oldukları belirlendi.

Serum testosteron düzeyleri, 10 ve 50 mG manyetik alana maruz bırakılan hayvanlarda kontrol grubu ve 30 mG şiddetindeki alana maruz bırakılan hayvanlarınkinden önemli derecede ($P < 0.005$) yüksek olarak belirlendi (Tablo 1).

Yapılan histolojik incelemelerde yüksek testosteron düzeyleri tespit edilen hayvanların testislerindeki interstisyel hücrelerin (Leydig hücreleri) kontrol grubundakinden (Şekil 1) daha iri olduğu ve sitoplazmalarının daha fazla asidofil gösterdiği dikkati çekti (Şekil 2). Bununla birlikte, tubulus seminiferus kontortuslardaki spermatogenezis aktivitesi ve Sertoli hücrelerinde gruplar arasında fark bulunmadığı tespit edildi.



Şekil 1. Kontrol grubu fare testislerinde Leydig hücreleri görünümü



Şekil 2. MA uygulanan (50 mG) fare testislerinde Leydig hücrelerindeki değişiklikler.

TARTIŞMA

Endüstriyel ülkelerde yaşayan hemen her birey, farklı elektrikli araçlardan kaynaklanan 50-60 Hz frekansta ÇDF-MA'ya her gün maruz kalmaktadır (15). Wachtel'e (16) göre 60 Hz'lik 1-10 mG şiddetindeki ÇDF-MA'ya maruz kalmanın insan

Tablo 1: Grupların serum kortizol ve testosteron düzeyleri ve bu değerlerin istatistiksel analiz sonuçları ($\bar{X} \pm SS$)

Gruplar	Kortizol seviyeleri (ng/mL) Testosteron (ng/mL)			
	♂ (n = 8)	♀ (n = 8)	♂+♀ (n = 16)	♂ (n = 8)
Kontrol	101.16±36.72 ^a	80.81±34.59 ^a	90.98±36.03 ^a	1.67±0.09 ^a
10 mG	62.49±23.38 ^b	70.53±31.46 ^a	67.38±28.28 ^a	3.06±3.20 ^a
30 mG	64.93±36.96 ^b	78.91±29.18 ^a	72.70±32.62 ^a	1.69±0.41 ^a
50 mG	70.48±28.10 ^b	55.60±18.56 ^a	65.27±25.70 ^a	4.32±4.23 ^b

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler birbirinden farklıdır.

sağlığına zararlı olması ihtimali yüksektir. Hücre çoğalması ve farklılaşma, crossing over gibi kritik olaylar sıklıkla gerçekleştiği için özellikle dişi ve erkek üreme sistemlerinin ÇDF-MA'nın muhtemel hedefleri arasında oldukları ileri sürülmekle birlikte, bu konuda yapılan çalışmalar arasında uyum yoktur. Carlsen ve ark. (17), elektrikli araçların yaygınlaştığı 1940-1990 yılları arasında erkeklerin seminal plazma hacminin ve sperm miktarının önemli derecede düştüğünü bildirmişlerdir. Irgens ve ark. (18) manyetik alana uzun süre maruz kalan erkeklerin sperm kalitelerinin düşük olduğunu bildirmişlerdir. Tarama çalışmalarının sonuçları ise 50 Hz'lik manyetik alana maruz kalınmakla mortallite, morfoloji, sperm sayısı gibi kriterleri olumsuz etkilenmediğini göstermektedir (19). Bununla birlikte, Niehaus ve ark. (20) 50 Hz'lik manyetik alana 56 gün maruz bırakılan hamsterlerde testisteki hücre sayılarının arttığını tespit etmişlerdir.

Ryan ve ark.'nın (21) sonuçları, 60 Hz'lik 20 mG-10 G arası şiddetteki MA'nın sıçanların üreme sistemi fonksiyonları üzerinde etkili olmadığını göstermektedir. Halbuki Al-Akhras ve ark. (22), erkek ve dişi sıçanları 50 Hz'lik 25 µT şiddetindeki MA'a 90 gün süreyle maruz bırakmışlar ve bu erkek sıçanlarla çiftleştirilen dişi sıçanların gebe kalma oranlarında önemli düşüşlerin olduğunu ve rezorbe edilen fötüs sayısının arttığını tespit etmişlerdir. Araştırmacılar (22) bu durumun, ÇDF-MA etkisiyle hipotalamo-hipofiziyal-gonadal hormon arkında oluşan bozukluk sonucu erkeklerde testosteron salgılamada düzeninin aksamasına bağlı olduğunu ileri sürmüşlerdir. Benzer şekilde, De vita ve ark. (23) 50 Hz'lik manyetik alana maruz bırakılan erkek farelerin anormal spermatid oranlarında artış gözlemişlerdir. Bununla birlikte, Elbetieha ve ark. (24), aynı şiddetteki ÇDF-MA'nın farelerin üreme organlarında zararlı etki göstermediğini tespit etmişlerdir. Elbetieha ve arkadaşlarına (24) göre, her iki çalışmada farklı sonuçların elde edilmesi, farklı hayvan türlerinin kullanılmasına veya hayvanların ağırlıkları arasındaki farka bağlı olabilir. Zira alternatif manyetik alanın oluşturduğu anaför akımlarının şiddeti, biyolojik sistemin kütlesiyle doğru orantılı olarak artmaktadır (7). Bu çalışmada hayvan materyali fare olup, serum testosteron düzeylerinde testislerin histolojik yapılarında alan etkisiyle oluşan değişiklikler araştırılmıştır. Testosteron düzeyleri 50 mG ÇDF-MA'ya maruz

bırakılan grupta, kontrol grubundan ve 10 ve 30 mG gruplarından yüksek bulunmuştur. Bu gruplarda testisin interstisyel (Leydig) hücrelerinin daha iri olduğu, sitoplazmalarının daha asidofilik özellik gösterdiği de tespit edilmiştir.

Son yıllarda, aromatik bileşiklerin ve hücre zarı transmembran proteinlerinin α-heliks bölümleri ile tubulinlerin manyetik anizotropi gösterdikleri ve statik manyetik alan çizgilerine paralel biçimde yönlendikleri saptanmıştır (25). Nitekim, statik manyetik alanın boğa spermlerinin tertiplenmeleri üzerindeki etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada (25), spermlerin baş kısımlarının alan çizgilerine dik doğrultuda olacak şekilde tertiplendikleri ortaya konmuştur. Bu bulgu, spermatozoonlar üzerinde MA'nın direkt etkilerinin de olabileceğini akla getirmektedir. MA'nın kromozomlarda bozukluklara neden olduğunu gösteren güvenilir bilgiler azdır. Ancak transkripsiyon ve sonuçta protein sentezi üzerine uyarıcı etkilerinin olduğu iyi bilinmektedir. Oluşan uyarım, hücrede ısı şoku sırasında ortaya çıkan stresi takiben meydana gelen duruma çok benzemektedir. Özellikle, bu durumda sentezlenen hsp-70 proteinini kodlayan transkript, MA etkisi ile daima oluşmaktadır. Manyetik alanın ısı şoku stresine yol açması için gerekli olan MA enerji seviyesinin, ısı ve elektrikle oluşan stres için gereken enerji seviyelerinden kat kat düşük olması ilginçtir. İstirahat anında serum kortizol düzeylerinde önemli derecede azalma görülmektedir. (26) Hücrelerdeki stres-yanıt mekanizması çok düşük şiddetteki MA ile harekete geçirilebilmektedir (27).

ÇDF-MA'nın katekolamin sentezini artırırken, melatonin sentezini baskıladığı iyi bilinmektedir. Melatonin düzeyindeki düşüş, östrojen seviyesindeki artışla sonuçlanarak endokrin sistemde değişime yol açabilir. Bunun hipotalamo-hipofiziyal-gonadal eksende inhibitör etkiye yol açabileceği ve testiküler testosteron sekresyonundaki düşüşle de germ hücrelerinde apoptoz hızının artabileceği ileri sürülmektedir. Araştırmacılar (9), uzun süre 60-Hz MA'ya maruz kalan farelerin testiküler germ hücrelerinde apoptozun arttığı sonucuna varmışlardır.

Çok düşük frekanslı MA'ların etkilerinin, yüksek frekans bandındaki alanların bilinen "termal etkileriyle" ilişkisi yoktur. Biyolojik sistemler üzerindeki etkileri hakkında önemli bulgular elde edilmiş

olmakla birlikte, MA'nın hücresele düzeydeki etki mekanizmaları henüz tam olarak ortaya konmamıştır. MA etkisiyle hücredeki RNA-polimerazın aktivitesinin arttığı (28), oluşturduğu zayıf indüksiyon akımlarıyla fizyolojik akımları bozarak vücuttaki hücre göçlerini etkilediği (29), hücredeki ipliksel moleküllerin doğrultularını etkilediği (30,31), melatonin sentezi ritmini etkilediği (32) ileri sürülmüştür. Yukarıdaki nedenlerle yapay MA'lar,

bazı hücresele mekanizmalar aracılığıyla canlıları stres unsuru olarak etkileyebileceğinden, uzun vadedeki bu etkilerinin de bilinmesi faydalı olacaktır. Bu nedenle MA'nın muhtemel biyolojik etkilerinin ve etki mekanizmalarının aydınlatılmasına yönelik hücresele düzeyde ileri çalışmaların yapılmasının gerektiği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

1. Wertheimer N, Leeper ED. Electrical wiring configurations and childhood cancer. *Am J Epidemiol* 1979; 109:273-84.
2. Wertheimer N, Leeper ED. Adult cancer related to electrical wires near the home. *Int J Epidemiol* 1982; 11:345-55.
3. Tomenius L. 50 Hz electromagnetic environment and incidence of childhood tumours in Stockholm Country. *Bioelectromagnetics* 1986; 7:191-207.
4. Feychting M, Ahlbom A. Magnetic fields and cancer in children residing near Swedish high-voltage power lines. *Am J Epidemiol* 1993; 138:467-81.
5. Floderus B, Persson T, Stenlund C. Increased risk of leukemias and brain tumors in occupational exposure to magnetic fields. *Lakartidningen* 1992; 89:4363-6.
6. Tynes T, Andersen A. Electromagnetic fields and male breast cancer. *Lancet* 1990; 336: 1596.
7. Barnes FS. Typical electric and magnetic field exposures at power-line frequencies and their coupling to biological systems. In: "Electromagnetic fields, Biological interactions and mechanisms." Ed. Blank M., American Chemical Society, Washington, DC; 1995; 37-55.
8. Salbacak A, Karabulut AK, Çelik İ, Soyulu R. Manyetik Alanların Memeli Embriyogenezisi Üzerine Etkileri: In Vitro Kültürü Yapılan Rat Embriyolarında Morfolojik ve Histolojik Araştırmalar. S.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü, 2002 Proje No: TF- 99/133.
9. Lee JS, Ahn SS, Jung KC, Kim YW, Lee SK. Effects of 60 Hz electromagnetic field exposure on testicular germ cell apoptosis in mice. *Asian J Androl* 2004; 6:29-34.
10. Margonato V, Veicsteinas A, Conti R, Nicolini P, Cerretelli P. Biologic effects of prolonged exposure to ELF electromagnetic fields in rats. I. 50 Hz electric fields. *Bioelectromagnetics* 1993; 14:479-93.
11. Mann K, Wagner P, Brunn G, Hassan F, Hiemke C, Roschke J. Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on the neuroendocrine system. *Neuroendocrinology* 1998; 67:139-44.
12. Gamberale F, Olson BA, Eneroth P, Lindh T, Wennberg A. Acute effects of ELF electromagnetic fields: a field study of linesmen working with 400 kV power lines. *Br J Ind Med* 1989; 46,10:729-37.
13. Arnetz BB, Berg M. Melatonin and adrenocorticotrophic hormone levels in video display unit workers during work and leisure. *J Occup Environ Med* 1996; 38:1108-10.
14. Culling CFA, Allison RT, Barr WT. *Cellular Pathology Technique*, London: Butterworths and Co Ltd; 1985.
15. Livingston GK, Witt KL, Gandhi OP, Chatterjee I, Roti JL. Reproductive integrity of mammalian cells exposed to power frequency electromagnetic fields. *Environ Mol Mutagen* 1991; 17:49-58.
16. Wachtel H. Firing-pattern changes and transmembrane currents produced by extremely low frequency fields in pacemaker neuron. NTIS Document No. CONF-781016:132-146 Hanford Life Sciences Symposium, 18th Annual Meeting, (1979) 16-18 October, 1978, Richland, WA.
17. Carlsen E, Giwercman A, Keiding N, Skakkebaek NE. Declining semen quality and increasing incidence of testicular cancer: is there a common cause? *Environ Health Perspect* 1995; 103 Suppl 7:137-9.
18. Irgens A, Kruger K, Ulstein M. The effect of male occupational exposure in infertile couples in Norway. *J Occup Environ Med* 1999; 41:1116-20.
19. Lundsberg LS, Bracken MB, Belanger K. Occupationally related magnetic field exposure and male subfertility. *Fertil Steril* 1995; 63:384-91.
20. Niehaus M, Bruggemeyer H, Behre HM, Lerchl A. Growth retardation, testicular stimulation, and increased melatonin synthesis by weak magnetic fields (50 Hz) in Djungarian hamsters, *Phodopus sungorus*. *Biochem Biophys Res Commun* 1997; 234: 707-11.
21. Ryan BM, Symanski RR, Pomeranz LE, Johnson TR, Gauger JR, McCormic DL. Multigeneration reproductive toxicity assessment of 60-Hz magnetic fields using a continuous breeding protocol in rats. *Teratology* 1999; 59:156-62.
22. Al-Akhras M, Elbetieha A, Hasan M, Al-Omari I, Darmani H, Albiss B. Effects of extremely low frequency magnetic field on fertility of adult male and female rats. *Bioelectromagnetics* 2001; 22:340-4.
23. De vita R, Cavaiolo L, Raganella P, Eleuteri MG, Grollino MG, Calugi A. Effects of 50 Hz magnetic fields on mouse spermatogenesis monitored by flow cytometric analysis. *Bioelectromagnetics* 1995; 16:330-4.
24. Elbetieha A, Al-Akhras M, Darmani H. Long-Term Exposure of male and female mice to 50 Hz magnetic field effects on fertility. *Bioelectromagnetics* 2002; 23:168-72.
25. Emura R, Ashida N, Higashi T, Takeuchi T. Orientation of bull sperms in static magnetic fields. *Bioelectromagnetics* 2001; 22:60-5.
26. Ghaly M, And Teplitz D. The biological effects of grounding the human body during sleep as measured by cortisol levels and subjective reporting of sleep, pain and stress. *J Altern Complement Med*. 2004; 10:767-76.
27. Goodman R, Blank M. Biosynthetic stress response in cells exposed to electromagnetic fields. "Electromagnetic fields, Biological interactions and mechanisms." Ed. Blank M., Washington, DC: American Chemical Society; 1995; 3423-36.

28. Greene JJ, Skowronski WJ, Mullins JM, Nardone RM, Penafiel M, Meister R. Delineation of electric and magnetic field effects of extremely low frequency electromagnetic radiation on transcription. *Biochem Biophys Res Commun* 1991; 174:742-9.
29. Blank M, Soo L. The Na/K-ATPase as a model for electromagnetic field effects on cells. *Bioelectrochem Bioenerg* 1993; 30:85-92.
30. Murthy NS. Liquid crystallinity in collagen solutions and magnetic orientation of collagen fibrils. *Biopolymers* 1984; 23:1261-7.
31. Hinsenkamp M, Lheureux P, Mortins D. Transmembrane Na/K exchange under electromagnetics fields. *Reconstr Surg Traumat* 1985; 19:63-9.
32. Bardasano JL, Meyer AJ, Picazo L. Pineal cells with multipolar spindles in chicken embryos exposed to magnetic fields-first trials. *Z Mikrosk Anat Forsch* 1986; 100: 85-92.