

50HZDE ELEKTRİK ALANININ ORGANİZMA ÜZERİNDE ETKİSİ

jiri silny

UDK: 538.3:621.3.029.42:574.6

ÖZET

Yazıda elektriksel ve magnetik alanların etkisinde kalmış kişilere ilişkin birçok gözlem yer almaktadır. Bu alanların etkileri organizma üzerinde bir hafta kadar sürmektedir. Elektromagnetik alanların doku ve sinirler üzerinde doğuracağı uyarılar, ısı ve elektrokimyasal tepkiler gibi etkileri incelemektedir, özellikle 50 Hz'de ortaya çıkan etkiler, deneysel koşullarda incelenmiş ve biyolojik imler kaydedilerek çözümlenmiş ve deneysel sonuçlar verilmiştir.

Bu sonuçlara göre kaydedilen hemen tüm biyolojik imlerde elektrik alanlarından doğan önemli sayılabilecek değişiklikler gözlemlenmekle birlikte, değişiklikler fizyolojik verilerin doğal uzanım alanında kalmakta, patolojik sonuçlar doğurmamaktadır.

SUMMARY

Numerous observations on men submitted to an electric or magnetic field are reported in the article. They show a teek influence on the arganism. The possible effects of electromagnetic fields, such as for examplâ, stimulation of the nerves and tissues, production of heat, electrochemical reactions are investigated. Amongst these effects those produced at 50 Hz are examined mor e closely and experimental conditcns worked out, the biological signals recorded and analysed an finally the obtained experimental resul ts are stated successively.

The final concluslon is, relatively cautious: although significant changes were observed in almost ali the recorded biological signals, due to electric fields, these changes are within the range of normal possible physiological data, and should in no way be considered as pathological consequences.

1. GİRİŞ

Bugünkü durumuyla elektriksel iletimin en az masraflı ve en pratik enerji iletim biçimi olduğu kanıtlanmıştır. Teknik nedenlerle bu çeşit enerji iletimi için, düşük sıklıklarda (16 2/3, 50,60 Hz) ve yüksek gerilimlerde çalışan hava hatları kullanılmaktadır. Hava hattının çevresinde, yeğinliği, iletilen gerilim, akım ve iletim öğelerinin geometrik özellikleriyle orantılı, karmaşık ve heterojen bir yapıya sahip, elektrik ve magnetik alanlar oluşur. Hatların yerden yüksekliğinden daha büyük uzaklıklarda alan oldukça zayıflar.

Elektrik ve magnetik alanların yeğinliği göz önüne alındığında, yerden bir metre yükseklikte doğrudan hattın altında en büyük değerler gözlenir. Halen kullanılan ve yakın gelecekte kurulacak olan hava hatları için bu değerler elektrik alanı için 20 kV/m'yi [1], magnetik alan için de 10 pT/kA'i [2] geçmez.

Doğa da yeğinliği yapay alanlarınkinden daha küçük olan doğal, düşük sıklıklı elektrik ve magnetik alanlar da vardır. Bu doğal alanların sıcak kanlı hayvanlar üzerindeki etkilerini saptamaya yönelik ilk bilimsel çalışmalar, yapay alanların etkilerini bulmayı amaçlayan araştırmalardan da-

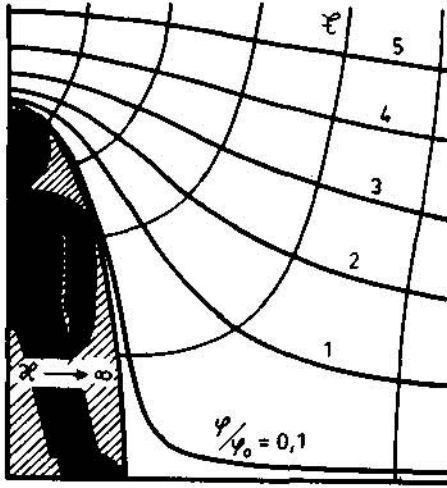
ha ayrıntılı ve kapsamlı incelemeler için olanaklar ortaya çıkardı.

Modern yöntemlerle ve pek çok sayıda yapılan araştırmalara karşın, sorun bugüne değin hala çözümlenememiş durumdadır. Deneylein sonuçları birbirinden farklı ve hatta birbiriyle çelişir olabilmektedir. Elektrik ve magnetik alanların etkilerinin oluşumunun tam olarak açıklanamamasına karşın, organizmanın herhangi bir şekilde etkilendiği açıktır.[3]

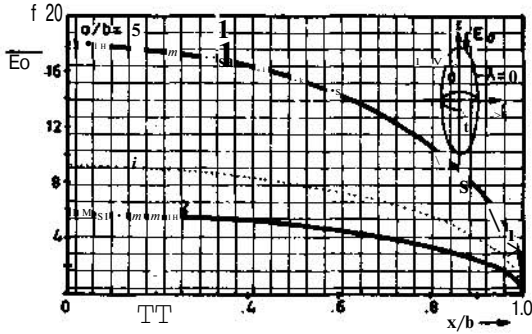
Deneylein sonuçları arasındaki farklılıklar deney koşullarının farklılığından kaynaklanmaktadır. Bana göre şöyle bir varsayım da bulunmak olanaklıdır: elektrik ve magnetik alanların organizma üzerindeki etkileri azdır ve organizmanın reaksiyonu da farklı deney koşullarını yansıtır bir nitelik taşımaktadır.

Başka bir varsayım da şu olabilir: "Organizma elektrik ve magnetik alanların etkilerine karşı çok duyarlıdır. Farklı alan yeğinliklerine karşı gösterilen reaksiyonlar farklıysa da alan yeğinliği ile reaksiyonlar arasında doğrusal bir bağımlılık ypkstur"

Bu ikinci varsayım diğlerinden daha az akla yakındır, çünkü sıcak kanlı hayvanlarda, bugüne değin, alan etkimesi sonucu, herhangi bir anormal davranış biçimi saptanmamıştır



Şekil 1. Özgün homojen alanın dağılımının bozulması.



Şekil 2. İletken bir öğenin yüzeyi üzerinde görel alan yoğunluğu dağılımı.

2. OLASI ELEKTROMAGNETİK ALAN ETKİLERİ

Hernekadar bir elektrik alanının varlığı, Maxwell bağıntılarına göre bir magnetik alanın varlığına siki sıkıya bağlıysa da, düşük sıklıklarda ve hat çevresinde elektrik alan esas olarak hattın gerilimi, magnetik alan da hattın akımı tarafından belirlenir.

Topraklanmış şebekelerde her faz iletkeninin gerilimi, toprakla hat arasında heterojen bir elektrik alanı oluşturur. Vücutu oldukça iyi bir iletken olan ve alan içinde ayakta duran bir insan, alanın boşluktaki özgün dağılımını bozar (Şekil 1). Bu nedenle ve vücudun şekline bağlı olarak, vücudun üst ucunda, alan yoğunluğu, normal değerinin 8-12 katına çıkabilir (Şekil 2) [1]. Alışık alanların çevredeki iletkenlerde akım endükledikleri olgusu göz önüne alındığında, vücudun üst yarısında endüklenen akımın daha büyük değere olacağı açıktır.

Vücudun içinde, endüklenen akım iletim (conduction) akımına dönüşür. Bu akım da, ortalama yoğunluğu 600 $\mu\text{V}/\text{cm}$ olan ve ortalama 6 pA/cm^2 lik bir akım yoğunluğu yaratan zayıf bir alan meydana getirir [4]. Bu alan özgün durumda homojen, yoğunluğu 20 kV/m olan elektrik alanının içerisinde yer almaktadır.

İletkenliğin büyük ölçüde heterojen olması nedeniyle (100-2000 fi-cm) vücutta endüklenen akımlar, yüksek direnilli deri ve yağ tabakalarından geçerek, düşük direnilli (100 fi-cm) kan damarlarında dolaşmaya başlarlar.

Alışık magnetik alanlar ise vücudu oluşturan tüm maddelerin içine işleyerek, örneğin 30 μT 'lık bir en büyük magnetik alan yoğunluğu için yaklaşık 100 pV/cm 'lik bir elektrik alanı meydana getirirler. Bu elektrik alanının yoğunluğuna ve vücuttaki maddelerin iletkenliklerine bağlı olarak, 1 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ değerinde bir parazit akım yoğunluğu ortaya çıkar. Bugün için, organizmada raagnetik alana duyarlı herhangi bir hücre bilinmediği için olası bir magnetik alan etkisini, onun oluşturduğu ikincil bir elektrik alanı sonucu olarak düşünmek gerekmektedir.

Sonuç olarak elektrik alanının olası etkilerini şu şekilde sıralayabiliriz:

- Sinirlerin ve dokuların uyarılması,
- Joule yasasına göre ısı oluşumu,
- Elektrokimyasal reaksiyonlar,

Sinirlerin ve dokuların uyarım eşiğine (0,1-1 V/cm), pratikte rastlanan değerleriyle, ne elektrik alan etkimesiyle ne de yapay magnetik alanların endüklemesi yoluyla ulaşılabilir. Benzer şekilde, dıştaki alan tarafından vücudun içinde oluşturulan iletim akımı, deri ve iç organların farkedilir derecede ısınmasına yol açacak büyüklükte değildir. Bu son varsayım çok fazla sayıda deney yapılarak doğrulanabilir yada çürütülebilir, çünkü elektrokimyasal reaksiyonların yoğunluğu oldukça küçüktür.

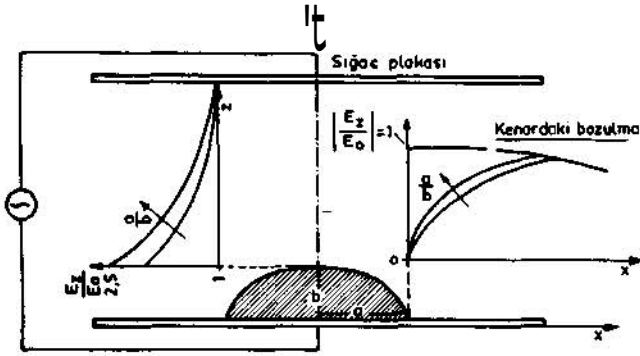
3. 50 Hz SIKLIKLI ELEKTRİK ALANININ ETKİLERİNİN ÇÖZÜMLEMESİ

A. Deney Koşulları:

Elektrik alanının organizma* Üzerindeki etkileri, bu etkilerin daha kolay gözlenebileceği hayvanlar üzerinde (özellikle fareler ve kediler) yapılan deneylerle incelendi. Alan etkisi, biyolojikimleri kaydederek ve alan etkili sonucu oluşan değişikliklerin sayısal hesaplamalarını yaparak gözlemlendi. Deneylerin hatasız yapılabilmesi için gerekli koşullar kesin olarak belirlendi ve olanaklar elverdiğince standartlaşmaya gidildi.

Elektrik alanları, pratikte, ancak matematiksel yaklaşımlarla tanımlanan karmaşık ve çeşitli biçimler alabilen bir yapıya sahiptirler. Bu nedenle, bu alanların deneylerde aynen yaratılmaları oldukça zordur. Ayrıca sonuçların karşılaştırılmasının güçlüğü yüzünden bu fazla önemli de değildir. Bir sığağın plakaları arasında elde edilene oldukça yakın, deneysel düzgün bir alan, bu yüzden, deneyler için yeterli sayılabilir. Bir yandan önceden belirlenmiş koşullara bağlı kalmak, diğer yandan deney aletlerini olanaklar ölçüsünde hafif tutmak ve bu aletleri, deney nesnesinin özgün alanı düşey doğrultuda olabildiğince az bozacağı ve yatay doğrultudaki bozulmaların sığağın kenarındaki bozulmayla karışmayacağı biçimde seçmek gereklidir (Şekil 3).

20 kV/m 'lik alan içinde duran bir insanın üzerinde görülecek alan yoğunluğunun aynısını deneylerde de elde etmek için, yoğunluğu farelerde 80 kV/m , kedilerde de 60 kV/m olan 50 Hz sıklıklı alanlar oluşturuldu. Yoğunlukların bu değerlerde seçilme-



Şekil 3. Deneyel araçların yerleştirilmesinde, alan dağılımının (X,Z koordinat sisteminde) bozulmasının şematik olarak gösterilişi.

sinin nedeni hayvanlar da alan yeğinliği değerinin 1:5 oranında azalıyor olmasıdır[4].

Akustik uyarıların yada ısı değişimlerinin deney hayvanlarının yaşamsal işlevlerine zarar vermesini önlemek amacıyla, deney araçları, akustik ve termal olarak yalıtılır ve bir termostat kullanılarak sıcaklık sabit bir değerde tutulur. •

Deney üç aşamada tamamlanmaktadır: hazırlık evresi, elektrik alanının etkisi altındaki aşama (A) ve alanın olmadığı denetim evresi (B).

Hazırlık evresi süresince biyolojik imlerin kaydı için kullanılan elektrodlar ya anestezi altındaki hayvana tutturulur (farelerde) yada daha önceden uygun yerine takılmış özel başlıklara bağlanır (kedilerde). Hazırlık süresinin sonunda görülebilecek herhangi bir uyusukluk hali ortadan kaldırılmalıdır. Hazırlık süresi farelerde yaklaşık 3 saat, kedilerde yarım saattir. Elektrik alanının etkisi altındaki zaman süresi boyunca A ve B evreleri birbirini izler ve her evre dört saat kadar devam eder. En uygun deney koşulları göz önüne alınarak hazırlanan program deneyin hangi evre de başlayacağını belirlediği gibi geçici değişimlerin istatistiksel olarak giderilmesini de olanaklı kılar.

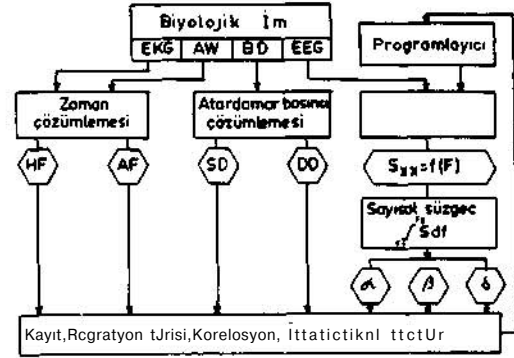
A ve B evrelerinin birlikte bulunacağı testlerin yanısıra, belirli bir programa uygun olarak denetim testleri de (bir alan yok iken) uygulanır.

Farelerde 16 saat olan (ABAB.BABA, BBBB) tüm deney süresi, kedilerde 6 saate indirilmelidir (B/2, 3/2A).

B. Kaydedilmiş Biyolojik İmler ve Çözümlenmeleri:

Sıcak kanlı bir hayvanın organizması üzerinde 50 Hz'lik elektrik alanının etkisini saptamak için deney boyunca aşağıdaki parametreler sürekli olarak kaydedildi ve kayıtlar çözümlendi: elektrokardiyogram, elektroensefalogram, solunum devri, atardamar basıncı, deri ve rektum ısısı. Einthoven tekniğinin biraz değişik biçimi kullanılarak elde edilen elektrokardiyogram kayıtları önce geniş bantta işleme uğrar, daha sonra da bu kayıtlar üzerindeki solunum eğrisi süzülerek ayrılır (Şekil 4).

Ayırıldıktan sonra bu iki im üzerinde, kardiyak ve solunum sıklıklarının elde edilebileceği bir çözümleme yapılır.



Şekil 4. Biyolojik imlerin sayısal incelenmesinde izlenen hesaplama aşamaları (akış-çizimi).

Damar kasılma basıncı, hayvanların kuyrukları düzeyindeki kan basıncı iminden yararlanarak ölçülür. Bu ölçme yönteminde aşağıdaki ilkedeki hareket edilir: Ölçme bileziğindeki dinamik basınç ne zaman anlık kan basıncına eşit olursa, bileziğin arkasında kaydedilen kan basıncı dalgası sıfıra doğru gider. Bu nedenle, bilezikteki basınç, artışın başlamasından basınçların eşitlenmesine değin geçen süreyi ölçmeyi olanaklı kılacak biçimde doğrusal olarak artar ve böylelikle bu zaman aralığının uzunluğu, atardamar kasılma basıncının doğrudan bir ölçütü olarak kabul edilebilir.

Elektrik alanının merkezî sinir simtemi üzerindeki etkisini belirlemek için dört elektroensefalogram kaydı alındı ve çözümlendi. Beynin işlevi ile ilgili bilgileri almak için, sağ ve sol korteks (kabuk) ile sağ ve sol hipokampus (beyindeki beyaz çıkıntılar) incelenmek üzere seçildi. Beyine platin elektrodlar yerleştirilerek alınan kayıtlar standartlaştırıldı. Bu kayıt yöntemiyle daha kaliteli biyolojik imler alınabilir. Ayrıca elektrodların, bir fiş kullanılarak kayıt aletlerine rahatça ve güvenilir biçimde tutturulması da olanaklı olur. Kayıt süresince 50 Hz'lik karışım imleri, dört elektroensefalogram kaydından uygun bir yükseltmeyle ve özel süzgeçler kullanılarak ayrılır. Böylece elde edilen elektroensefalogram kayıtları üzerinde tayf yoğunluk çözümü yapılır.

Elektroensefalogram rastgele, durağan (stationary) bir im olduğundan (20 saniyeden küçük bir zaman aralığında gösterilebilen bir durağanlık) [4], ani güç yoğunluğu hesaplanmalıdır. Güç yoğunluğunun gösteriminde dört ayrı band ayırılır: alfa bandı (18-13 Hz), beta bandı (14-24 Hz), delta bandı (0,5-4 Hz) ve teta bandı (4-8 Hz) (elektroensefalografideki alışlagelmış bir yöntem göre). Her kayıta ilişkin ani güç yoğunluğunun elektrik alanı etkisindeki değerini alanın olmadığı zamanki değeriyle band band karşılaştırarak alanın kayıtlarda yapacağı değişimleri ortaya çıkarmak olanaklıdır. Bu gösterim yöntemi yalnızca elektroensefalogramdaki değişimlerin gözle görülerek değerlendirilmesine müsaade eder. Bu nedenle, alan etkisinin niceliksel bir değerlendirmesini yapmak için, alfa beta, delta ve teta bantları cinsinden-ortalama güç yoğunluğu tanımı yapılmıştır.

Biyolojik imlerin bütün parametreleri, ilkesel olarak, yalnızca test süjelerinin bir grubundan diğere

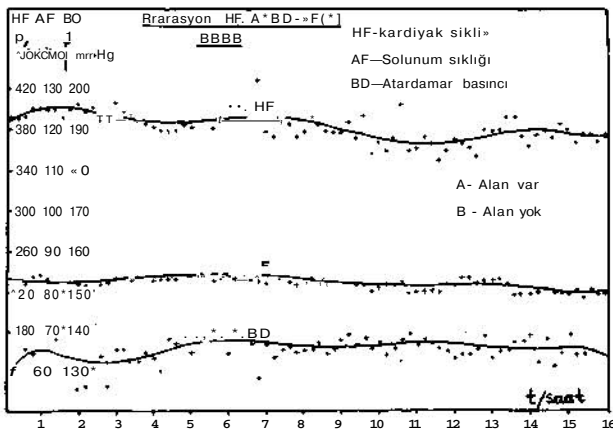
rine değil, aynı zamanda aynı tür içerisindeki ögeler arasında da kuvvetli değişimler gösterir. Zamanına, yere, hayvan türlerine ve hatta tesadüflere bağlı olan bu etkiler ancak, çok sayıda deney sonuçlarına ilişkin sayısal istatistiksel değerlendirme ve hesaplamalar yapılarak yok edilebilirler. Testler bu yüzden, en uygun deney planına uygun kurallara göre yapılmalıdır.

Deneylerin özdeş koşullarda birçok kez yinelenmesi rastgele hataların hesaplanıp, giderilmelerini olanaklı kılar. Deney sırasında sınıflandırmaya gidilmesi biyolojik imleri etkileyen geçici ve deneysel etmenlerin ortadan kaldırılmasını türünün incelenmesi gereklidir. Verilerin türdeşliği her deney için ortak bir temele göre istatistiksel sayısal bir işlemi gerektirir. Böylece, geçici değişimlerin eğilimini gösteren ortalama değerler varyans çözümüyle bulunur. Daha sonra her biyolojik imin değişimindeki ortak noktalar regresyon ve korelasyon çözümlerleriyle belirlenir. Bu yolla, organizma üzerinde olası bir etkinin kanıtlanması olanaklı olabilir.

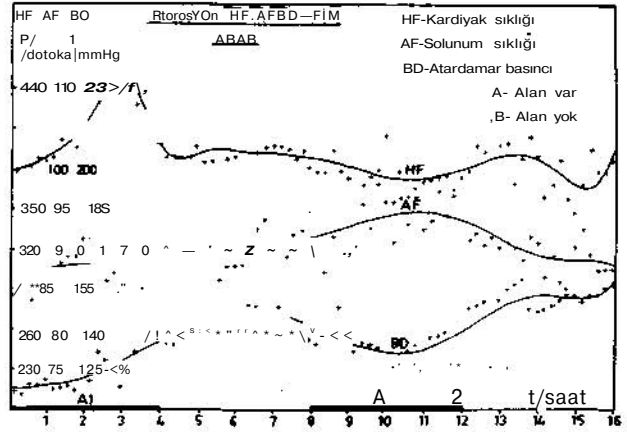
C. Deney Sonuçları:

Bugüne değin fareler üzerinde toplam 64, kediler üzerinde de toplam 48 deney yapıldı. Bu deneyler denetim testleri ve elektrik alanının etkisi altında yapılan testler olarak gerçekleştirildi. Aynı zamanda deney sonuçlarından ortalama değerler çıkarıldı. Bu ortalama değerler (ilgili eğriler üzerinde) zamana bağlı olarak küçük çarpımla gösterilir ve regresyon eğrisinin çiziminde esas olarak alınır. Regresyon eğrisi yaklaşık olarak, onuncu dereceden bir polinom ile matematiksel olarak ifade edilebilir. Sonuçlar 5'den 10'a kadar olan şekillerde gösterilmektedir ve şu öneme sahiptirler: Şekil 5'de kardiyak sıklığı, solunum sıklığı ve atardamar basıncı, 8 tane türdeş denetim testinin sonuçlarının ortalaması olarak gösterilmiştir (Test şeması BBBB). Her eğrinin zamana göre değişimi ortalama değerlerin çevresindeki görece küçük sapmaları göstermektedir.

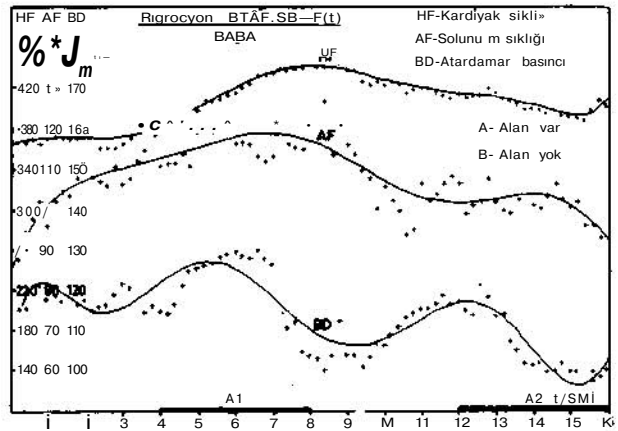
Şekil 6'da ABAB şemasına göre gerçekleştirilen 9 tane türdeş testin ortalama sonuçları gösterilmektedir. Şekil 5 ile karşılaştırıldığında, bu



Şekil 5. Denetim testi sonuçları.



Şekil 6. Alan içinde yaşamsal işlevlerdeki değişimler (test şeması ABAB).



Şekil 7. Biyolojik imlerin alan etkisiyle değişimi (test şeması BABA).

ortalama değerlerden olan sapmaların daha büyük olduğu görülür. Bu, özellikle kardiyak sıklığının zaman içindeki değişiminin, olağandan çok büyük artmaların kaydedildiği, ilk evresinde (A) açıkça görülebilir.

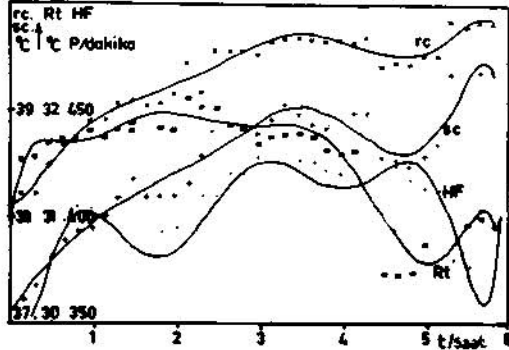
Şekil 7'de kardiyak sıklığı, solunum sıklığı ve atardamar basıncının zamana göre değişimi, 7 tane alan testinin ortalama sonucu olarak gösterilmiştir (Test şeması BABA). Bu şekilde adı geçen biyolojik imlerin alan etkisiyle değişimleri açıkça görülmektedir (örneğin kardiyak sıklığında ilk evrede, A, görülen artış).

Şekil 8'de, 6 denetim testinin ortalama sonucu olarak, sıcaklık eğrilerindeki geçici değişimler gösterilmektedir. Kardiyak sıklığı ve oda sıcaklığı, deri sıcaklığı ve rektal sıcaklığı ile birlikte ifade edilmektedir. Eğrilerin incelenmesiyle, test hayvanlarının durumlarında herhangi bir kötüleşme olmadığı sonucuna varılabilir, çünkü deri ve rektal sıcaklığının eşzamanlı değişimi aynen oda sıcaklığının değişimini izler.

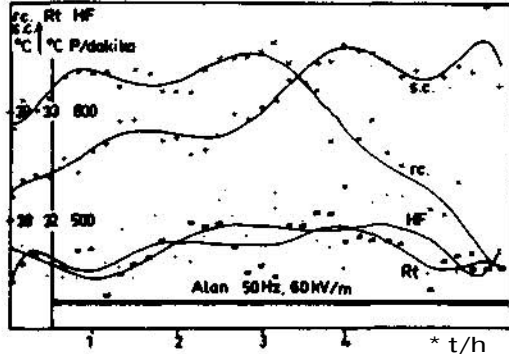
Şekil 9'daki eğriler Şekil 8'de geçerli olan koşulların aynı zamanda elde edilmiştir. Yalnızca 50 Hz'lik bir alan 30 dakikalık bir testten sonra

uygulanmıştır. Denetim testlerinin aksine (Şekil 8) deri ve rektal sıcaklıkları, 3 saatlik bir alan etkimesi sonucu farklı yönlerde değişmektedirler.

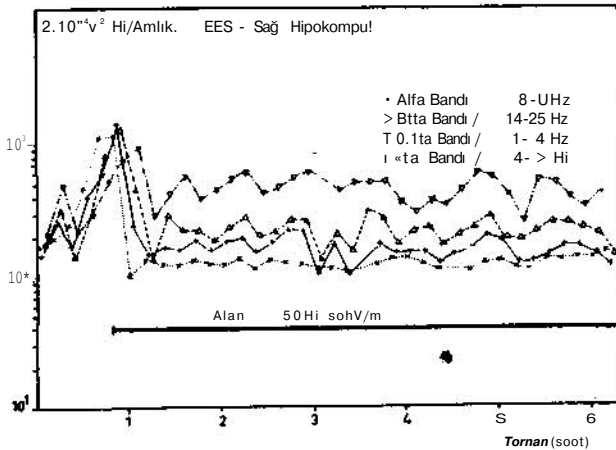
Şekil 10'da bir elektroensefalogramın çözümlenmesine örnek olarak, alan testindeki sağ hipokampusun kayıtları görülmektedir. Alan etkisiyle ani gücü ortalama yoğunluğunda, her dört bantta



Şekil 8. Rektal sıcaklığı (r.c.), deri sıcaklığı (s.c.), kardiyak sıklığı (HF) ve oda sıcaklığının (RT) zamana göre değişimi (Denetim testi).



Şekil 9. Rektal sıcaklığı (r.c.), deri sıcaklığı (s.c.), kardiyak sıklığı (HF) ve oda sıcaklığının (RT), bir test alanı varken, zamana göre değişimi (test seması B/2, A).



Şekil 10. a, 6, 6, 0 E-antiarında sruç yoğunluğunun zamana göre değişimi.

da hafif bir düşme olmaktadır. Bu, test hayvanındaki bir uyarım durumuyla açıklanmalıdır. Alanın neden olduğu bu değişiklikler elektroensefalogram bütün kayıtlarında, bazı farklılıklarla görülür. Denetim testlerinde bu tür değişim belirtilerine ise rastlanmaz.

6. ÖZET

50 Hz'de elektrik alanının organizma üzerindeki etkisi araştırılırken, test alanının yeğinliği, bir yandan pratik değerlere uygun, diğer yandan test süjelerinin fiziksel yapısına elverişli olacak biçimde ayarlandı. Elektrik alanının etkisi altında hemen bütün biyolojik imlerde önemli değişimler kaydedildi. Burada yalnızca, içerisinde yer alınan çevre koşullarında, alan etkimesi sonucu oluşan değişikliklerin normal sapma sınırlarını aşmış olmadığıyla ilgilenilmektedir. Elektroensefalogramın alfa, beta, delta ve teta bantlarında (özellikle sağ korteks gözönüne alındığında) ani güç yoğunluğu yavaş yavaş düşerek ilk değerinin % 50'sine gelmekte ve alan etkisinin olduğu tüm evre boyunca bu görece düşük düzeyde değişmeden kalmaktadır.

Her ne kadar, vücutta oluşan ve hesaplanarak deney sonuçlarıyla karşılaştırılan alan yeğinlikleri, Joule etkisi sonucu, hissedilir bir ısıtmaya yol açmıyorsa da, alan etkisi sonucu, deri sıcaklığı eğrileri ve rektal sıcaklığı eğrilerinin keşiştiği noktalar (yada eğrilerin birbirine dokunduğu temas noktaları) bulmak olanaklıdır.

Kardiyak sıklığının zaman içindeki değişiminde, genellikle alan etkisi sonucu % 10-20 oranında bir artış görülür. Bu artış farelerde sürekli bir büyüme gösterir, kedilerde ise bir salınım biçimini alır.

Bütün adı geçen değişiklikler fizyolojik olarak normal kabul edilen sınırlar içerisinde kalırlar ve hiçbirisi de patolojik olarak nitelenemezler. Etkilerin oluşum sorunu ise, henüz içerdiği zorluk nedeniyle, deneyler çerçevesinde çözülebilmemiş değildir. Bu, karmaşık elektrokimyasal reaksiyonlara ilişkin bir sorun olup incelenmesi fizyolojinin kapsamı içerisinde yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Schneider, K.H., H.Studinger, H.Steinbigler, D.Utmishi, ve J.füesinger, "Displacement currents to the human body caused by the electric field under overhead lines.", CIGRE Report Group 36 (1974).
- [2] Schneider, K.H., "Elektrische und magnetische Felder in Hochspannungsanlagen.", etz-b, Band 28, 1976, s.617.
- [3] Schmidt, H.G., H.Tolazzi, Gutachten über Art und Umfang der Gefährdungsmöglichkeiten der Arbeitnehmer an Arbeitsplätzen in elektrischen Hochspannungsanlagen durch die Einwirkung elektrischer und elektromagnetischer Felder, Universität Berlin, 1974.
- [4] Silnu, J., "Zur technischen Problematik der Untersuchung des Einflusses elektrischer 50 Hz-Felder auf den Organismus." Dissertahon an der RWTH Aachen, Şubat 1976.