

ELEKTRİK AKIMLARININ ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİDE KULLANILIŞI

Doç. Dr. Ünal Kuzgun (*)

Elektrik akımlarının özellikle kırık iyileşmesini hızlandırmak amacıyla kullanım alanına girmesi son 10 yılın en heyecan verici konularından birisi olmuştur. Kırık tedavisinde elektrik akımlarının ilk kullanılışı ise geçen asrın sonlarında denenmiş ve belirli bir temele dayanmadan, sadece elektrik gibi bir enerjinin etkisini ampirik yoldan saptama amacını güden bu çalışmalar başarısızlıkla sonlanmış-
tır.

1950 yıllarında Japonya'da Fukada ve Yasuda, gene aynı yıllarda ABD'de Bassett kemikte piezoelektrik fenomenin mevcudiyetini saptamışlardır (1, 2, 27). Tabiatıta mevcut 8 kristale has bir özellik olan piezoelektrik olayı basınç karşısında elektriksel polarizasyona uğrama şeklinde tarif etmek mümkündür. Başta kuvartz kristali olmak üzere bu 8 çeşit kristalde gözlemlenen olayın çok benzerinin kemik dokusunda gözlemlenmesi başta kemik dokusu olmak üzere bağ dokusunun diğer elemanlarının elektriksel özellikleri ve bunların çegitli tip akımlarla uyarılmaları üzerine çalışmaları yoğunlaştırdı.

Piezoelektrik fenomende kemik üzerine basınç uygulandığında strese maruz kalan bölgelerde negatif elektrik potansiyellerinin, buna karşın gerilmeye maruz kalan bölgelerde ise pozitif elektrik potansiyellerinin meydana geldiği saptanmıştır.

1968 yılında Cochran kuru ve ıslak kemik üzerinde yaptığı çalışmalarda da piezoelektrik özellikleri kaydetmiş ve piezoelektrik davranışın kemiğin canlılığı ile ilgili olmadığını kanıtlamıştır (15).

Kemikte oluşan piezoelektrik olayın kemiğin canlılığı ile ilgili olmadığını böylece anlaşılması üzerine kaynağının araştırılması yönünde çalışmalar yapılmış ve bu konuda üç fikir ortaya çıkmıştır. Birinci görüş sahipleri piezoelektrisitenin kaynağının kollajen olduğunu ve uzun helikal moleküllerin stres sonucu bükülmeleri ile elek-

(*) Şişli Etfal Hastanesi Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği Şefi.

triksel potansiyelin ortaya çıktığını savunurlar. Bir diğer görüş ise hidroskiapatit kristallerinden kaynaklandığı şeklindedir. Üçüncü görüş kollajen ile hidroskiapatit ara yüzeyinde bir stres sonucu ortaya çıktığını ileri sürer.

Ancak daha sonraki yıllarda yapılan diğer çalışmalarda, örneğin hidroskiapatit kristali ihtiva etmeyen ve ara maddesi hemen hemen kollajen olan tondonda da piezoelektrik fenomenin ortaya konmuş olması ve saf kollajenin piezoelektrik davranışının saptanmış olması kemikte ortaya çıkan piezoelektirisitenin kollajenden kaynaklandığı fikrini haklı çıkarmaktadır (4, 5, 6).

Piezoelektirisitenin anlamlılığı konusunda çalışmalar Bassett tarafından başlatılmış ve 1964'de Becker ile birlikte yaptıkları bir deneyde, kemiğe anod ve katod olarak iki elektrod yerleştirildiğinde ve mikroamper seviyesinde akımlar uygulandığında katod etrafında osteogenezin meydana geldiğini, anod etrafında ise bir miktar dejenerasyonun ortaya çıktığını saptamışlardır (2). Bassett bu deneye geçmeden önce Wolff kanunu ile piezoelektrik fenomen arasında bir bağlantı kurmaya çalışmıştır. Wolff kanununda kemiğin kompresyon altında kalan bölümlerinde osteogenezisin, gerilmeye maruz kalan bölgelerinde ise osteoklastik rezorpsiyonun ortaya çıkışı ve piezoelektrik fenomende ise kompresyon altında kalan bölümlerde negatif elektrik potansiyellerinin saptanması görüşlerini birleştirmiştir. Kemiğin mekanik strese maruz kalmayıp negatif elektrik potansiyelleri uygulanması halinde göstereceği değişikliklerin araştırılması yukarıda belirttiğimiz deneyde olduğu gibi osteogenezisin gelişmesi şeklinde kendini göstermiştir.

Bassett tarafından yapılan bu deney daha sonraları dünyanın çeşitli merkezlerinde tekrarlanmış ve deneysel olarak mikroamper şiddetinde elektrik akımlarının iki elektrod aracılığıyla kemik dokusuna uygulanması halinde katod etrafında rejenerasyonun meydana geldiği, anod etrafında ise ya hiçbirşey olmadığı veya dejenerasyonun ortaya çıktığı saptanmıştır. Akım şiddeti 100 mikroamperin üzerine çıktığı zaman katod etrafında da dejenerasyonun meydana geldiği görülmüştür (9, 17, 18, 19, 24, 25, 28, 33, 38, 41, 43, 46).

Çeşitli merkezlerde, değişik araştırmacılar tarafından yürütülen bu çalışmalarda kullanılan elektrodlar, akım kaynağı veya gerilim kaynakları ve uygulanan yöntemler farklılıklar göstermektedir. Elektrod olarak paslanmaz çelik tel, gümüş-gümüş klorid, tantalum, ba-

kır vs. gibi elektrodlar kullanılmıştır. Enerji kaynağı olarak akım kaynağı kullananlar olduğu gibi gerilim kaynağı kullananlar da olmuştur. Cieszynski ise pozitif elektriğin osteogenez üzerine olumlu etkisinin bulunduğunu ileri sürmüştü de bu görüş diğer araştırmacılar tarafından desteklenmemiştir. Daha sonraları Cieszynski de negatif elektriğin olumlu etkileri konusunda deneylerini bildirmiştir (12, 13, 14).

Bassett ve Becker 1962'de yaptıkları in vitro bir deneyde kollajen solüsyonunu 1 mikroamper şiddetinde bir elektrik alanına tabi tuttuklarında 1-5 dk. içinde katod etrafında muntazam bir kollajen bandının meydana geldiğini gözlemlemişlerdir (1). Elektriksel yönden yüklü kollajen moleküllerinin çok küçük miktardaki elektrik akımlarının etkisi altında kısa sürede muntazam bir fibril oluşturmaları çok dikkat çekici bir bulgu olarak görülmüştür.

Gene Bassett ve Hermann'ın yaptıkları in vitro bir çalışmada 3-T-6 fibroblast kültürleri 1000 V/cm. lik bir elektrik alanında kollajen sentezinde ve DNA sentezinde % 100'e kadar varan bir artma meydana geldiği saptanmıştır (6).

Tüm bu deneysel çalışmalar bağ dokusunun pluripotansiyel hücrelerinden kaynaklanan hücrelerin ve bunların sentezini sağladıkları maddelerin (örneğin kollajen gibi) belirli elektrik akımlarının etkisi altında metabolik faaliyetlerinin değiştirilebildiğini ve organik ara maddenin daha süratli ve düzgün bir şekilde oluşmasının sağlanabileceğini ortaya koymaktadır.

Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlardan sonra insan üzerindeki ilk başarılı uygulama 1971 yılında Friedenbergl ve arkadaşları tarafından bir medial malleol psödatrozu olgusunda 20 mikroamper şiddetinde bir elektrik akımının katod olarak kırık sahasına konulan bir paslanmaz çelik tel aracılığı ile uygulanması sonucu kaynamanın elde edilmesi şeklinde sağlanmıştır (23).

1971'den itibaren günümüze kadar geçen 10 yıl içinde direkt elektrik akımı uygulamasıyla ilgili birçok klinik çalışmanın sonuçları yayınlanmış ve yöntem gerek invaziv gerekse semiinvaziv uygulamanın başarılı sonuçlar vermesiyle rutin uygulama alanına girebilmiştir (10, 11, 18, 19, 20, 29, 31, 36, 39, 40, 43).

Direkt elektrik akımlarının uygulanmasında bir ameliyata gerek duyulması nedeniyle, elektrik enerjisinin vücut dışından uygulan-

bilmesi amacıyla Bassett tarafından pulsing elektromagnetik alanlar geliştirilmiştir. Bu yöntemde düşük frekanslı elektromagnetik alanlar vücut dışından uygulanan bobinler aracılığı ile kırık bölgesine verilmekte ve herhangi bir ameliyata gerek kalmamaktadır (4, 5, 6, 7, 8). Aynı yöntemin benzeri İngiltere'de Watson tarafından da geliştirilmiş ve klinik uygulamada başarılı sonuçlar alındığı bildirilmiştir.

Almanya'da Kraus ve Lechner ise, elektromagnetik alanları psö-dartroz bölgesine bir osteosentez materyeli yerleştirdikten sonra bu materyele bağladıkları bir iletici aracılığıyla uygulamışlardır.

Ortopedi ve Travmatolojide elektrik akımlarının uygulanışı açısından bu durumda üç yöntem ortaya çıkmaktadır :

1. İnvaziv yöntem,
2. Semiinvaziv yöntem,
3. Noninvaziv yöntem.

Bunlardan invaziv ve semiinvaziv yöntemler d-c akım uygulaması şeklindedir. Kırık veya psödartroz bölgesine katod olarak elektrod yerleştirilmekte, ancak kırık bölgesinden uzakta kemiğe veya cilde implante edilmektedir. İnvaziv yöntemde elektrodlar dışında besleyici devre ve güç kaynağı da vücut içinde bırakılmaktadır. Bu uygulama büyük bir ameliyatı gerektirmekte ve tedavi sonunda materyellerin çıkarılması için ikinci bir ameliyat gerekli olmaktadır. Semiinvaziv yöntemde ise elektrodlar yerleştirilmekte ancak devre ve güç kaynağı vücut dışında tutulmaktadır. Brighton ve Friedenbergtarafından geliştirilen bu yöntemin avantajı tedaviden sonra devre ve elektrodların çıkarılması için ikinci bir ameliyata gerek duyulmamasıdır.

Pulsing elektromagnetik alanların bobinler aracılığı ile uygulanması ise hiçbir cerrahi girişimi gerektirmemektedir. Ancak tedavinin uygulanması sırasında bobinlerin beslenebilmesi için şehir cereyanına gerek duyulmakta ve bu da hastanın yatağa bağlı kalmasına neden olmaktadır. Bundan başka direkt elektrik akımı uygulaması için gerekli akım miktarı bugün 10 ile 20 mikroamperler arasında kesin olarak saptanmıştır. Pulsing elektromagnetik alan uygulamasında ise Bassett frekansı 65 Hz., pulse duration'ı 300 mikro sn. olan, kırık bölgesinde 1.5 mv/cm. gerilim endükleyen ve 2 Gauss şiddetinde bir akım önermekte, buna karşın Watson 1 Hz. lik akımların yararlı olduğunu savunmaktadır.

Noninvaziv yöntemde dozaj sorunu henüz tam olarak halledilmiş değildir ve terapötik etkinin Bassett tarafından iddia edildiği gibi frekansların özelliğinden mi kaynaklandığı yoksa kırık sahasında endüklenen gerilimin mi önemli olduğu konusu açıklığa kavuşmamıştır.

Elektrik akımlarının etkinliğinin araştırılması başlangıçta ve daha büyük bir oranda kemik dokusunda olmakla beraber, bağ dokusundan menşe alan diğer bölgelerde de etkili olabileceği konusunda çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Özellikle yara iyileşmesinde sürenin kısaltılması ve nedbe oluşumunun baskı altına alınması konusunda gerek d-c akım uygulaması ile gerekse magnetik alan uygulaması ile başarılı sonuçlar bildirilmiştir. Yumuşak doku yaralanmalarının tedavisinde sürenin kısaltılması açısından da elektrik akımlarının etkinliğini gösteren çalışmalar mevcuttur.

Basset'in de belirttiği gibi uyarılmayan hücreler olarak asrımızın ortasına kadar tanımlanan bağ dokusu elemanlarının çeşitli akım tipleri ile uyarılabilmeleri modern bir elektroterapi çağını açmış bulunmaktadır (6). Etkinin mekanizması henüz tam olarak açıklanmamış olmakla beraber hücre düzeyinde olduğu, gerek hücre membranında polarizasyon olayları ile gerekse hücrenin biosimik faaliyetinin direkt etkilenmesi sonucu ortaya çıktığı kabul edilmektedir. Ancak özellikle kırık iyileşmesinde elde edilen olumlu sonuçların bağ dokusunun diğer hücreleri üzerinde de sağlanabileceği ve bu konuda çeşitli araştırmaların yapıldığı bilinmektedir.

Ortopedi ve Travmatoloji sahasında son 20 yılın üzerinde çok çalışılan konularından birisi olan elektrik akımlarının etkinliğinin araştırılması konusunun önümüzdeki 10 yılın en aktüel konusu olacağı kabul edilmektedir. Kuşkusuz bu çalışmaların yürütülmesi tek başına bir ortopedistin başarabileceği bir iş değildir. Kuru ve yaş kemiğin elektrofizyolojik özelliklerini, doku kültürleri ve hayvan deneylerinde çeşitli akım tiplerinin etkinliğini araştırmak ve sonuçta klinikte karşılaşılan çeşitli sorunların çözümlenmesinde bu yöntemleri uygulayabilmek için ortopedistle birlikte fizik veya elektronik mühendislerinin ortaklaşa bir çalışma içine girmeleri gerekmektedir. Özellikle geliştirilecek bir yöntemin klinikte uygulanabilir olması için ortopedistin görüşü çok önemlidir. Örneğin angule bir psödartroz olgusunda birlikte enfeksiyonda mevcutsa sorunun halli için tek başına elektrik akımının kullanılmaya çalışılması yeterli olmayacaktır. En-

feksiyonun ortadan kaldırılması, angulasyonun düzeltilmesi cerrahi girişimleri gerektirecektir. Bu girişimlerden sonra elektrik akımının uygulanması gene ortopedist tarafından planlanmalıdır. Yapılan çalışmalar ışığında gereksinmelerimizi ortaya koyarak mühendisin bu konuda geliştireceği cihaza yön vermemiz mümkün olabilir. Eğer direkt elektrik akımı uygulaması düşünülecekse böyle bir cerrahi girişimden sonra semiinvaziv yöntemin seçilmesi doğru olacaktır.

Daha önce ameliyat uygulanmış ve kaynamamış psödatroz olgularında eğer internal fiksasyon materyali duruyorsa, elektromagnetik alan uygulaması mümkün olamaz. Çünkü yurdumuzda kullandığımız internal fiksasyon materyalleri nonmagnetik olmadığından magnetik alanın bozulması söz konusudur. Bu gibi olgularda semiinvaziv yöntem uygulanabilir. İnvaziv yöntemin uygulanabilmesi için piyasada satılmakta olan Osteostim'den yararlanılabilir. Ancak bu yöntemin hem pahalı oluşu, hem de iki major ameliyatı gerektirmesi gibi sakıncaları vardır. Yurt koşulları gözönüne alındığında invaziv yöntem uygulaması için olmadan kendi imkanlarımız'a bu gibi vücut içinde tutulabilecek, gerekli sterilizasyonun yapılabileceği cihazları emniyetli bir şekilde kullanmamız henüz mümkün görülmemektedir. Bu açıdan d-c akım uygulamasında semiinvaziv yöntemin seçilmesi daha emin görülmektedir. Semiinvaziv yöntem uygulaması ise Brighton ve Friedenberğ'in önerdikleri üzere alçı tespiti ile birlikte yapılabileceği gibi eksternal fiksatörlerle de yapılabilir. Eksternal fiksatör olarak Hoffmann aparatı proksimal ve distal pinlerinin fiberle yalıtılmış olması nedeniyle ihtiyaca cevap verebilir. Kullanılan diğer eksternal fiksatörlerin bağlantı bölümlerinin de fiberle yalıtılması imkanı mevcuttur.

Özet :

Sonuç olarak diyebiliriz ki, elektrik akımlarının başta kaynamamış ve sorun arzeden kırıklar olmak üzere Ortopedi ve Travmatolojinin çeşitli sorunlarının hallinde önemli katkıları olabileceği görülmektedir. Uygulama alanında ortopedistin endikasyonu, klinik görüşü ve yöntemin hasta ile uyumluluğunun sağlanması şarttır. Yurdumuzun imkanları gözönüne alındığında semiinvaziv yöntem ve pulsing elektromagnetik alan uygulaması çeşitli problemlerin hallinde kullanma alanına sahiptirler. Cihazların geliştirilmesi için bir ortopedistin elektrik veya elektronik mühendisi ile ortak çalışma içine girmesi, hastayı tedavi süresince daima takip altında tutmaları zo-

runludur. Yöntemin bugüne kadar hiçbir zararlı etkisi bildirilmemiştir. Yurdumuzda çeşitli merkezlerde yürütülmekte ve yürütülecek çalışmaların da birlikte değerlendirilmesiyle daha olumlu sonuçlara varılabileceği kanısındayız.

KAYNAKLAR

1. BASSETT C.A.L., BECKER R.O. : Generation of Electric Potentials by Bone in response to mechanical stress. *Science* 137 : 1063, 1962.
2. BASSETT C.A.L., PAWLUK R.J., BECKER R.O. : Effects of electric currents on bone in vivo. *Nature* 204 : 652, 1964.
3. BASSETT C.A.L. : Electrical effects in bone. *Sci. Am.* 213 : 18, 1965.
4. BASSETT C.A.L., PAWLUK R.J., PILLA A.A. : Acceleration of fracture repair by electromagnetic fields. A Surgucally noninvazive method. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 238 : 242, 1974.
5. BASSETT C.A.L., PAWLUK R.J., PILLA A.A. : Augmentation of Bone repair inductively coupled electromagnetic fields. *Science*, 184 : 575, 1974.
6. BASSETT C.A.L., PAWLUK R.J. : Noninvasive methods for stimulating osteogenesis. *J. Biomed. Mat. Res.* 9 : 371, 1975.
7. BASSETT C.A.L., PILLA A.A., PAWLUK R.J. : A Non-operative salvage of surgically resistant pseudoarthroses and Non-unions by pulsing electromagnetic fields. *Clin. Orthop.* 124 : 128, 1977.
8. BASSETT C.A.L., PILLA A.A., MITCHELL A. : Treatment of skietal disorders with pulsing electromagnetic fields. XIV World Congress (SICOT), October 15-20, 1978, Kyoto-Japan (Abstracts).
9. BRIGHTON C.T. : Electric currents hasten bone fracture healing. *Naval Res. Rev.* 1-8 October, 1972.
10. BRIGHTON C.T., FRIEDENBERG Z.B., ZEMSKY L.M., POLLIS R.P. : Direct current stimulation of non-union and congenital pseudoarthrosis. *J. Bone Jt. Surg.* 57-A : 368, 1975.
11. BRIGHTON C.T., FRIEDENBERG Z.B., MITCHELL E.I., ESTERHAL J.L. : Treatment of nonunion with constant direct current. XIV World Congress (SICOT) October 15-20, 1978, Kyoto-Japan (Abstracts).
12. CIESZYNSKI T. : Studies on regeneration of ossal tissue. 11. Treatment of bone fractures in experimental animals with electrical energy. *Arch. Immunol. Ther. Exp.* 11 : 191, 1963.
13. CIESZYNSKI T. : Studies on the regeneration of ossal tissue. 111. Influence of positive and negative electricity upon callus formation in humans. *Arch. Immunol. Ther. Exp.* 12 : 269, 1964.
14. CIESZYNSKI T. : Stimulation and depression of bone regeneration by electric polarisation in humans. *Calcif. Tissue Res.* 4 : 134, 1976.
15. COCHRAN G.V.B., PAWLUK R.J., BASSETT C.A.L. : Electromechanical characteristics of bone under physiologic moisture condition. *Clin. Orthop.* 58 : 249, 1968.
16. COCHRAN G.V.B. : Experimental methods for stimulation of bone healing by means of electrical energy. *Bull. New York Acad. Med. Ser.* 48 : 899, 1972.

17. COCHRAN G.V.B. : Acceleration of bone healing by electrical stimulation. *Bull. Res.* 9 : 291, 1974.
18. CONNOLY J.F., ORTIZ J., PRICE R.R., BAYUZICK R.J. : The effect of electrical stimulation on the biophysical properties of fracture healing. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 238 : 519, 1974.
19. DEKLEVA N., ZIVOJIN B., BELESLIN B., INGMAJIC V., VUJNOVIC L. : Electromagnetic fields role in fracture healing. XIV World Congress (SI-COT) October 15-20 1978, Kyoto-Japan (Abstracts).
20. DWYER A.F. : The use of electrical current stimulation in spinal fusion. *Orthop. Clin. North. Amer.* 6 : 265, 1975.
21. DWYER J.P., MATTHEWS B. : The electrical response to stress in dried recently excised and living bone. *Injury*, 1 : 279, 1970.
22. FRIEDENBERG Z.B., BRIGHTON C.T. : Electrical potentials in bone. *J. Bone Jt. Surg.* 48-A : 915, 1966.
23. FRIEDENBERG Z.B., HARLOW M.C., BRIGHTON C.T. : Healing of nonunion of the medial malleolus by means of direct current. A case report. *J. Trauma* 11 : 883, 1971.
24. FRIEDENBERG Z.B., ROBERTS P.G., DIDIZIAN N.H., BRIGHTON C.T. : Stimulation of fracture healing by direct current in the rabbit fibula. *J. Bone jt. Surg.* 53-A : 1400, 1971.
25. FRIEDENBERG Z.B., ZEMSKY L.M., POLLIS R.P., BRIGHTON C.T. : The response of non-traumatized bone to direct current. *J. Bone Jt. Surg.* 56-A, 1023, 1974.
26. FRIEDENBERG Z.B., ANDREWS E.T., SMOLENSKI B.I., PEARL B.W., BRIGHTON C.T. : Bone reaction to varying amounts to direct current. *Surg. Gynec. Obs.* 131 : 894, 1970.
27. FUKADA E., YASUDA I. : On the piezoelectric effect of bone. *J. Phys. Soc. (Japan)* 12 : 1158, 1957.
28. HASSLER C.R., RYBICKI E.F., ROTARU J.R., HUGHES K.E. : The effect of electrode configuration and calculatid current density upon electrically augmented bone healing. *Proc. Ann. Conf. Eng. Med. Biol.* 16 : 297, 1974.
29. HASSLER C.R., RYBICKI E.E., DIEGLE R.B., CLARK L.C. : Studies of enhanced bone healing via electrical stimuli. *Clin. Orthop.* 124 : 9, 1977.
30. HAMBURY H.J., WATSON J., SIVYER A., ASHLEY D.J.B. : Effects of microamp electrical currents on bone in vivo and its measurement using Strontium 85 uptake. *Nature (London)* 231 : 190, 1971.
31. INOUE S., OHASHI T., FUKADA E., ASHIHARA T. : Electric stimulation for osteogenesis using different stimulation methods. XIV World Congress (SI-COT) October 15-20, 1978, Kyoto-Japan (Abstracts).
32. KLAPPER L., STALLARD R.E. : Mechanism of electrical stimulation of bone formation. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 238 : 530, 1974.
33. LAVINE L.S., LUSTRIN I., SHAMOS M. : Experimental model for studying the effect of electric current on bone in vivo. *Nature* 224 : 1112, 1969.
34. LAVINE L.S., LUSTRIN I., SHAMOS M.H., MOSS M.L. : The influence of electric current on bone regeneration in vivo. *Acta Orthop. Scand.* 42 : 305, 1971.
35. LEVY D.D. : Induced osteogenesis by electrical stimulation. *J. Electrochem. Soc.* 118 : 1438, 1971.

36. MASUREIK C., ERIKSON C. : A Clinical evaluation of the effect of small electrical currents on the healing of jaw fractures. *J. Dental Res.* 55-B, 294, 1976.
37. NORTON L.A., RODAN C.A., BOURRET L.A. : Cyclic AMP fluctuation in bones grown in electricfields. *J. Dental Res.* 55-B : 215, 1976.
38. O'CONNOR B.T., CHARLTON H.M., CURRY J.D., KIRBY D.R.S., WOODS C. : Effects of electric current on bone in vivo. *Nature* 222 : 162, 1969.
39. OHASHI T., INOUE S., UDA K., HASE H., KOJIKAWA K. : Direct current electric stimulation for nonunion and delayed union of the tibia. XIV World Congress (SICOT), October 15-20, 1978, Kyoto-Japan (Abstracts).
40. PATERSON D., CASS C.A., LEWIS G.N., NELSON J.W., ATKINSON R.N. : Clinical experience in Australia with an implanted bone growth stimulator (1976-1978). XIV World Congress (SICOT) October 15-20, 1978, Kyoto-Japan, (Abstracts).
41. PAWLUK R.J., BASSETT C.A.L. : Electromechanical factors in healing cortical bone defects. *Cic. Tiss. Res.* 4 (Suppl), 120, 1970.
42. RICHEZ J., CHAMAY A., BIELER L. : Bone changes due to pulses of direct electrical microcurrent. *Virchows Arch. Path. Anat.* 357 : 11, 1972.
43. ROMANO R.L., BURGESS E.M., RUBENSTEIN C.P. : Percutaneous electrical stimulation for clinical tibial fracture repair. *Clin. Orthop.* 114 : 290, 97.
44. RUHLER T., STANKOVIC P., MEFFERT O., TILING Th., STRACHE D. : Electromagnetic bone stimulation by the Kraus-Lechner system. Quantitative measurement of osteons. XIV World Congress (SICOT) October 15-20, 1978, Kyoto-Japan, (Abstracts).
45. TKACHENKO S.S., RUTSKII V.V. : Basis and experience in the use of electromagnetic stimulation in the surgical treatment of fractures. *Orthop. Traumatol. Protez.* 1 : 1, 1975.
46. WEIGERT M., VERHAHN C., MULLING M. : Beschleunigung der knöchernen heilung von osteotomien und Schafen durch elektrischen Strom. *Z. Orthop.* 110 : 959, 1972.
47. YASUDA I., NOGUCHI K., SATA T. : Dynamic callus and electric callus, *J. Bone Jt. Surg.* 37-A, 1292, 1955.
48. YASUDA I. : Mechanical and electrical callus. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 238 : 457, 1974.