



Kemik delmenin lokal sıcaklık ve kemik rejenerasyonu üzerine etkisi: In vivo çalışma

Faruk KARACA¹, Bünyamin AKSAKAL², Mustafa KÖM³

¹Firat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Elazığ;

²Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya ve Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul;

³Firat Üniversitesi Veteriner Fakültesi, Cerrahi Bölümü, Elazığ

Amaç: Bu çalışmada kemik delme işleminin lokal kemik ısısı ve kemik rejenerasyonu üzerindeki etkilerinin saptanması ve optimal delme hızı ve basınç kuvvetinin bir hayvan modelinde belirlenmesi amaçlandı.

Çalışma planı: Çalışmaya iskelet gelişimini tamamlamış 12 adet Yeni Zelanda beyaz tavşanı katıldı. Tavşanların ağırlığı 2.8 ile 3.2 kg arasında değişmekteydi. Tavşanlar 2 gruba ayrılarak, 21. ve 42. gün sonunda ötenazi ile sakrifiye edildiler. Her iki grup için aynı delme protokolü kullanıldı. Tavşanların tibiasında 3 farklı basınç kuvveti (5, 10 ve 20 N) ve 3 farklı delme hızı (230, 370 ve 570 d/d) ile 3 delik açıldı. Delme sırasında oluşan bölgesel ısı kaydedildi. Daha sonra, tavşanların kemik rejenerasyonu histopatolojik çalışmalar ile incelendi.

Bulgular: Kemik ısısı delme süresi ve derinliğine bağlı değişim gösterdi. Yüksek delme hızına kıyasla düşük hızlarda kemik ısısının azaldığı ve kemik rejenerasyonun daha iyi olduğu gözlemlendi. Matkap uçlarındaki titanyum boron nitrit kaplamanın kemik ısısı ve yapısına etki etmediği saptandı. En iyi kemik rejenerasyonunun 230 d/d ve 20 N ile delme işleminin gerçekleştirildiği B Grubu tavşanlarda olduğu görüldü.

Çıkarımlar: Daha düşük devirde ve daha yüksek basınçla delme ile daha iyi kemik rejenerasyonu elde edilmektedir. Çalışma sonuçlarımıza göre optimal delme hızı 230 d/d ve basıncı 20 N idi.

Anahtar sözcükler: Delme; histopatoloji; kemik iyileşmesi; kemik rejenerasyonu.

İmplant cerrahisinde kemik hasarlarını ve nekrozu en alt seviyede tutmak oldukça önemlidir. Bu bağlamda, delme esnasında termo-nekroz riskini en aza indirmek ve iyi kemik rejenerasyonu sağlamak için delme sırasında oluşan ısının etkilerinin dikkatli şekilde incelenmesi gerekmektedir.^[1,2]

Delme koşullarının kemik üzerindeki etkilerin inceleyen çalışmalar literatürde mevcut olmakla birlikte, etkin delme parametreleri ve kemik rejenerasyonunun

histopatolojisi arasındaki ilişki henüz tam olarak belirlenmemiştir.^[3-5] Bazı durumlarda kemik rejenerasyonunun endokondral kemikleşmeyi de içerdiği ve kortikal kemik oluşumunun sekonder olarak meydana gelen yavaş ve kompleks bir süreç olduğu bildirilmiştir.^[6] Bununla birlikte, delme işlemi sonrası kemik rejenerasyonunu gösteren bir *in vivo* çalışma literatürde mevcut değildir. Delme işlemi sonrasında kemik rejenerasyonu için geçerli bir model belirleyebilmek amacıyla, sabit bir delme çapı ve ortamın-

Yazışma adresi: Dr. Bünyamin Aksakal, Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Müh. Böl., Davutpaşa-Esenler, 34210 İstanbul.

Tel: +90 212 – 383 4662 / 4690 e-posta: baksakal@yildiz.edu.tr

Başvuru tarihi: 15.10.2012 **Kabul tarihi:** 11.11.2013

©2014 Türk Ortopedi ve Travmatoloji Derneği

Bu yazının çevrimiçi İngilizce versiyonu
www.aott.org.tr adresinde
doi: 10.3944/AOTT.2014.3074
Karekod (Quick Response Code)



Tablo 1. Deneyler sırasında kullanılan delme parametreleri.

Devir Sayısı (d/d)	Matkap Ucu Tipi																	
	Kaplamasız									TiBN Kaplamalı								
	230			370			570			230			370			570		
Delme Kuvveti (N)	20	10	5	20	10	5	20	10	5	20	10	5	20	10	5	20	10	5
Gruplara Göre Deney No.																		
21 Gün	A1-1	A1-2	A1-3	A2-1	A2-2	A2-3	A3-1	A3-2	A3-3	A4-1	A4-2	A4-3	A5-1	A5-2	A5-3	A6-1	A6-2	A6-3
42 Gün	B1-1	B1-2	B1-3	B2-1	B2-2	B2-3	B3-1	B3-2	B3-3	B4-1	B4-2	B4-3	B5-1	B5-2	B5-3	B6-1	B6-2	B6-3

da çeşitli delme parametrelerinin kullanıldığı kemik kalitelerini karşılaştırdık.

Bu *in vivo* çalışmanın amacı, deneysel hayvan modelinde delme kuvveti, delme hızı, delme derinliği, süresi ve matkap türlerinin kemik yapısı ve rejenerasyonu üzerindeki etkilerini incelemektir.

Gereç ve yöntem

Bu çalışma, Fırat Üniversitesi Hayvan Etik Kurulu'nun (2010/7 Etik No:30) onayı ile gerçekleştirildi. Çalışmada ağırlıkları 2.8 ile 3.2 kg arasında olan, iskelet gelişimini tamamlamış 12 adet beyaz Yeni Zelanda tavşanı kullanıldı. Hayvanlar klimalı bireysel kafeslere yerleştirilerek, 10 gün bu kafeslerde bakımları yapıldı. Tüm hayvanlara yeterince su ve gıda verildi.

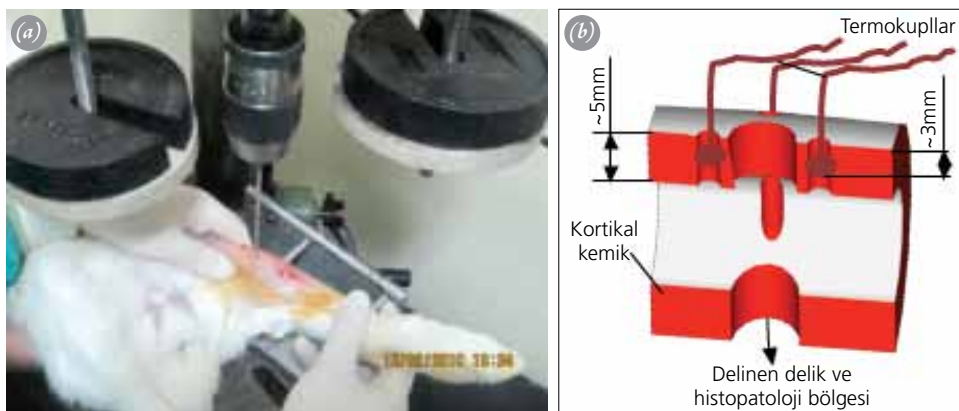
Tüm operasyonlar yarı-aseptik şartlarda Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi'nin laboratuvarında gerçekleştirildi. Tavşanların tamamı kas içine enjekte edilen 45 mg/kg ketamin (Ketasol %10; Interhas, Ankara) ve 5 mg/kg ksilazin HCl (Rompun %2; Bayer, İstanbul) ile anesteziye alındı. Operasyondan önce tavşanların sağ bacağı tıraşlandı ve kesilecek yüzey povidone-iyot çözeltisi ile dezenfekte edildi. Tibia üzerinde uzunlamasına 3 cm'lik deri kesisinden sonra, periost kaldırılarak tibianın

proksimal metafizinin medial yüzeyi ortaya çıkarıldı. Daha sonra cilt 2/0 emilebilir suturelerle dikildi. Hayvanlara operasyon sonrası 3 gün boyunca kas içi 20 mg/kg sefazolin sodyum (Cefamezin 500 mg, Eczacıbaşı, İstanbul) ve 3 mg/kg ketoprofen (Profenid 100 mg.; Eczacıbaşı, İstanbul) uygulandı. Onuncu gün sonunda dikişler alındı.

Tavşanlar her birinde 6 tavşan olacak şekilde 2 gruba ayrılmıştı. Operasyon sonrası A Grubu tavşanlara 21., B Grubu tavşanlara 42. günlerde CO₂ solutularak ötenazi yapıldı ve delme işlemine geçildi. Tavşanların tibiasında 3 farklı basınç kuvveti (5, 10 ve 20 N) ve 3 farklı delme hızı (230, 370 ve 570 d/d) ile 3 delik açıldı (Tablo 1).

Delme işlemi tüm tavşanlarda modifiye edilen bir matkap ile gerçekleştirildi (Şekil 1a). Operasyonlarda toplam boyu 130 mm, kesme boyu 50 mm, helis açısı 15° olan standart cerrahi matkap uçları (AISI 4020) kullanıldı. Kortikal kemiğin dikey doğrultudaki tam boyu yaklaşık 5 mm idi. Delme esnasında sıcaklığı ölçmek için 3 mm derinliğe gömülmüş üç termokupl kullanıldı (T-tipi, bakırdan, 0.2 mm çapında, Teflon izoleli ELIMKO) (Şekil 1b). Termokupullar delik cidarının 0.5 mm uzağına gömüldüler.

Birinci grupta standart, kaplamasız, 2.7 mm çapında matkap uçları (TIPMED, İzmir) kullanıldı. İkinci grup-



Şekil 1. (a) *In vivo* delme işlemine ait bir görüntü. (b) Deliğe ait histopatoloji kesiti, termokupl montaj yerleri ve delme derinlikleri. [Bu şekil, derginin www.aott.org.tr adresindeki çevrimiçi versiyonunda renkli görülebilir.]

ta ise aynı çapta 85 µm titanyum boron nitrit (TiBN) kaplı uçlar kullanıldı. Kaplama, PVD (Physical Vapor Deposition) yöntemi ile 3.10-3 mmHg, -70V, 4A, 70 dakika kaplama koşullarında (Atatürk Üniversitesi) Yüzey Teknolojileri Laboratuvarı'nda gerçekleştirildi.

Her tavşanın sağ tibiasına proksimalden distale doğru olmak üzere farklı delme hızı ve sürelerinde üçer delik delindi. Tavşanların sadece sağ bacakları kullanıldı. Delme işlemleri 230, 370 ve 570 d/d devirlerde ve 5, 10 ve 20 N basınç kuvvetleri ile gerçekleştirildi. Devir hızı 230 d/d olmak üzere birinci delik 20 N, ikincisi 10 N ve üçüncüsü 5 N delme kuvveti ile delindi. Devir hızı 370 d/d ve daha sonra 570 d/d'ye çıkarıldığında yeni tavşanlar kullanılarak aynı kuvvetlerle (5, 10 ve 20 N) delme işlemi tekrarlandı.

A ve B Grubu numuneler %10'luk formalin çözeltisinde en az 48 saat ayrı cam kaplarda bekletildi. Numuneler daha sonra musluk suyuyla yıkandı ve ardından 30'ar dakika boyunca, sırasıyla, %50, 60, 70, 80 ve 90'lık etanol serisinden, sonrasında da bir saat boyunca %95 ve 99.8'lik etanolden geçirildi. Numuneler bu işlemin ardından 1:1 oranında etanol ve ksilen çözeltisinde 30 dakika bekletildikten sonra 60°C sıcaklığındaki parafin bloklar içerisine daldırılıp bir saat bekletilerek parafin bloklar elde edildi. Bloklardan transvers kesitler (5 µm) alınarak histokimyasal ve immünohistokimyasal boyama için hazırlandı. Histolojik gözlem için hematoksil-eozin (H-E) ve miyelinin görüntülenmesi için solokrom siyanin boyar maddeleri kullanıldı. Kesitler solokrom siyanin (Eriochrome cyanine RC, Sigma E-2502; Sigma-Aldrich Corp., St. Louis, MO, ABD) ile 15 dakika boyandı. Musluk suyu ile yıkandıktan sonra, 10 dakika boyunca demir alum çözeltisinde (amonyum demir [III] sülfat dodekahidrat, Merck A993675; Merck KGaA, Darmstadt, Almanya) inkübe edilmesini takiben numuneler etanol ile dehidre edildi ve Entellan® içinde (Merck Millipore Corp., Billerica, MA, ABD) bekletildi. Hazırlanan numunelerin bir patolog tarafından BX40 ışık mikroskobu (Olympus Corp., Tokyo, Japonya) ile körleme analizi yapıldı. Histogramlar vasıtasıyla, fibröz dokuların ve rejenerasyon hücrelerinin miktarı göz önünde bulundurularak farklı delme parametrelerine ait delik civarındaki hasarlı veya nekrotik bölgeler incelendi.

Delme parametrelerinin 21 ve 42 günlük *in vivo* canlılık sürecinin ardından delme ısı üzerine ve dolayısıyla yeni kemik dokusu oluşumuna etkileri değerlendirildi.

Delme hızı ve delme ısı arasındaki ilişkiyi tanımlamak için çoklu regresyon analizinden yararlandı. Devir sayısının sıcaklık üzerine etkisi regresyon analizinde kısmi korelasyon ile belirlendi. İstatistiksel anlamlılık seviyesi $p < 0.05$ olarak esas alındı.

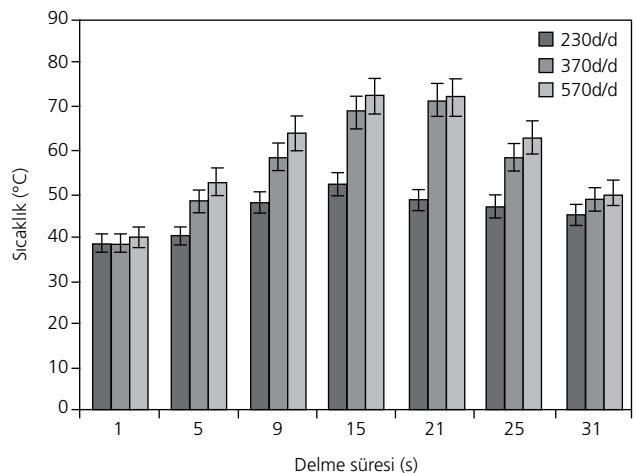
Tablo 2. Farklı devir sayıları için çoklu regresyon analizi.

Parametre	Kısmi korelasyon	p
230 d/d	0.8176	0.0016
370 d/d	0.9285	0.0001
570 d/d	0.5650	0.0180
Korelasyon	0.99	0.0044

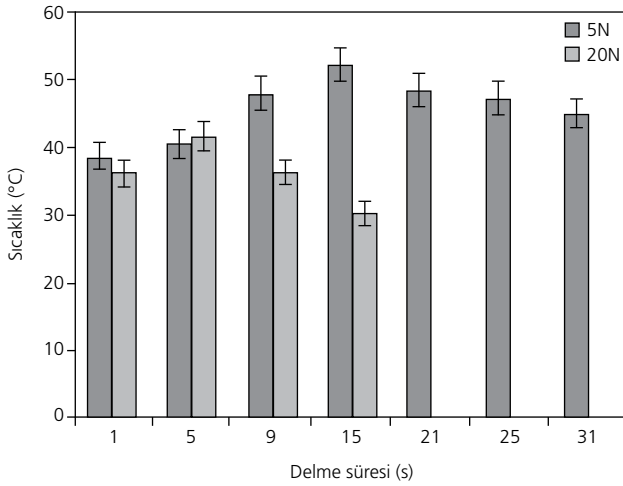
Bulgular

Şekil 2'de gösterildiği üzere artan devir sayısı ile birlikte sıcaklık da artmaktaydı. En yüksek sıcaklıklar olarak 370 d/d, 23 saniye ve 3.5 mm derinlikte 75°C'ye ulaşıırken, 230 d/d'de, 12 saniye ve 2 mm derinlikte 50°C'ye ulaşıldı. Bu sonuçların, daha yüksek devir sayılarının yüksek sıcaklıklara neden olarak nekrotik kemik doku oluşum riskini artırdığı öne sürülebilir. Devir sayısının delme sıcaklığına etkisi Tablo 2'de istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Çoklu regresyon analizinden elde edilen kısmi korelasyon katsayıları şöyle idi; R(230d/d) kısmi=0.81, R(370d/d)kısmi=0.92 ve R(570d/d)kısmi=0.56 (Tablo 2). Her ne kadar üç devir sayısının delme sıcaklığı üzerine pozitif etkisi olsa da, 370 d/d devir hızının sıcaklık artışında en büyük etkiye sahip olduğu görüldü.

Delme kuvveti, kemiğin dikine doğrultuda kalınlığı değişse de delme süresini değiştirerek sıcaklık oluşumunu etkilemişti. Örneğin, 20 N'luk delme kuvveti ile 5 saniye içerisinde sıcaklık maksimum değere ulaşmasına karşın, 5 N'luk delme kuvveti ile 15 saniyede maksimum değere ulaştı (Şekil 3). 20 N'luk kuvvet ile kortikal kemik yapıda ilerleme hızı 0.5 mm/san idi ve bu değer 5 N'luk uygulamanın hemen hemen üç katıydı. Matkap ucu, 20 N'luk kuvvet kullanıldığında 3.5 mm derinliğe ve dolayısıyla maksimum sıcaklığa (58°C) 5 saniyede



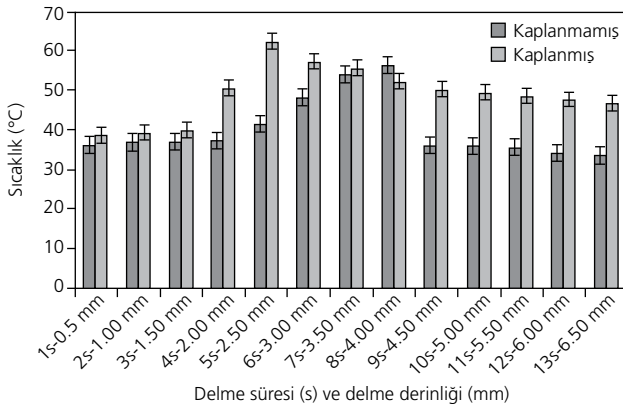
Şekil 2. 40 N'luk delme kuvvetinde devir sayısı (230, 370 ve 570 d/d) ve delme süresine bağlı sıcaklık değişimi.



Şekil 3. Farklı delme kuvvetleri (230 d/d'de 5N-20N) için delme süresine bağlı sıcaklık dağılımı.

ulaşmasına karşın aynı derinliğe 5 N'luk kuvvetle ulaşılması 15 saniye sürdü. Bu yüzden, 20 N'luk kuvvetle delme süresi yaklaşık 2/3 oranında azalmaktadır.

Şekil 2, 40 N'luk kuvvet ile farklı delme süresi ve hızlarında (230, 370 ve 530 d/d) sıcaklıktaki değişimleri gösterirken, Şekil 3 aynı süre zarfında (31 saniye) 230 d/d hız ile farklı delme kuvvetlerinin sıcaklığa etkisini göstermektedir. İlerleme hızı 5 N'luk delme kuvveti kullanıldığında 0.16 mm/san idi. Delme işlemi 20 N'luk kuvvette 15 saniye sürdüğünden, Şekil 3'te 20 N'luk sütunlar 15 saniyeden sonra yer almamaktadır. Matkap ucu kaplamasının etkisinin, delme süresi ve derinliği bakımından değerlendirilmesi amacıyla Şekil 4'de kaplamalı ve kaplamasız uçların 20 N kuvvet ve 230 d/d devir hızındaki performansları gösterilmektedir. Şekil 4'te görüldüğü üzere, TiBN kaplı uçla 2.1 mm derinlik ve 62°C maksimum sıcaklığa 5 saniyede ulaşılmıştır. Oysa kaplamasız uçla 56°C'lik maksimum sıcaklığa 4 mm derinlik ve 8 saniye sürede ulaşılmıştır.

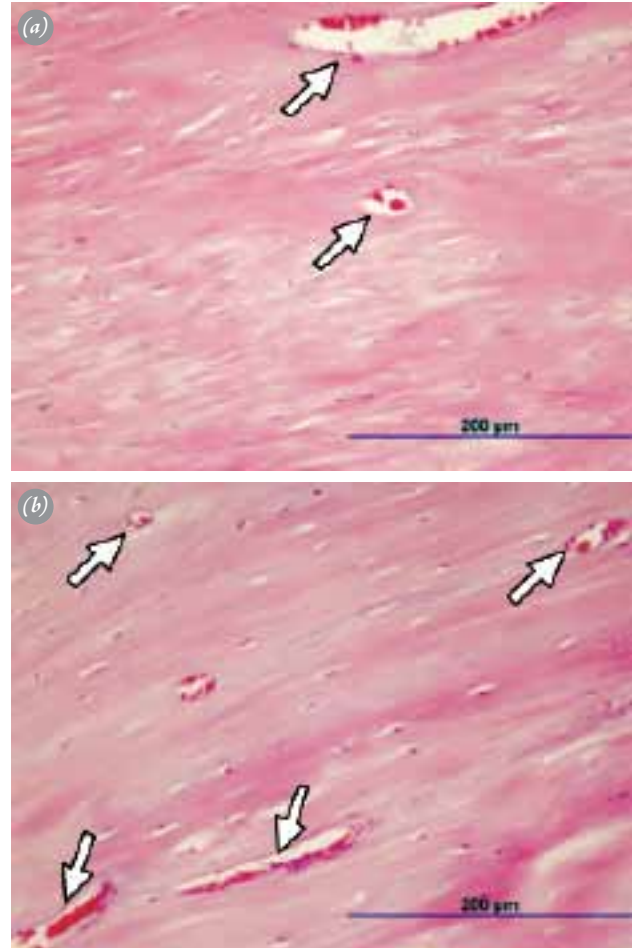


Şekil 4. Kaplamalı ve kaplamasız uçlar (20 N ve 230d/d'de) için delme süresine bağlı sıcaklık dağılımı.

Şekil 5a ve 5b'de, 21 günlük canlılık süresine ait 230 d/d devir hızı ile 20 N ve 5 N'luk delme parametreleri ile işlenmiş numunelerin histogramları verilmiştir. Şekil 6'da ise 570 d/d ve 20 N'luk delme koşullarında işlenmiş numunenin 21 günlük histogramını göstermektedir. Şekil 5a ve Şekil 6 karşılaştırıldığında, dokularda ve hücre şekillenmesinde dikkat çekici farklar göze çarpmaktaydı. Primer kemik şekillenmesi 570 d/d ve 20 N parametreleriyle işlenen numunelerde 21. günde görüldüğü halde, yine aynı sürede, 230 d/d ve 5 N ile işlenen numunelerde şekillenmenin neredeyse tamamlandığı gözlemlendi.

Tartışma

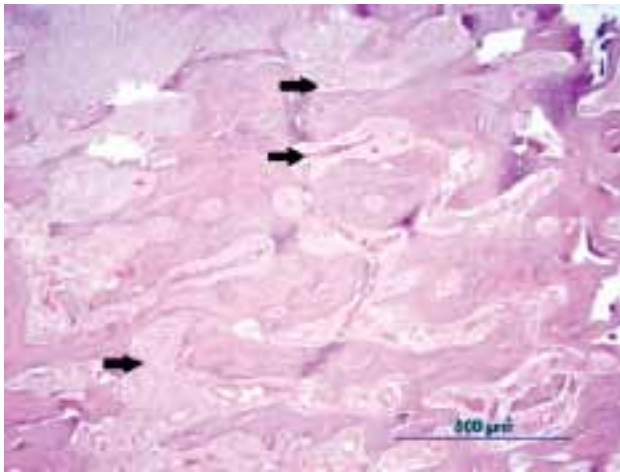
Delme koşulları ve kemik hasarı arasındaki ilişki literatürde farklı çalışmalarda ele alınmıştır. Kemik sıcaklığının 47°C'den daha yüksek olduğu durumlarda osteositler nekroza uğramaktadır.^[7] Sugita ve ark. ke-



Şekil 5. Kaplamasız uçlarla delinen numunelerin 21 günlük canlı takibinin ardından elde edilen histogramlar. (a) 230 d/d ve 20 N, (b) 230 d/d ve 5 N (oklar kortikal kemik filizlenmelerini gösteriyor). [Bu şekil, derginin www.aott.org.tr adresindeki çevrimiçi versiyonunda renkli görülebilir.]

mik içerisinde sıcaklık dağılımını yarı-sonsuz lineer bir model ve termografik ölçümlerle hesaplamışlardır.^[8] Bir diğer çalışmada, yeni frezelenen kemik yüzeyinde oluşan sıcaklık iki kızılötesi termometre ile ölçülmüştür.^[9] Augustin ve ark.'nın çalışmasında çeşitli delme parametrelerinin kemik sıcaklığının artışı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.^[10] Tu ve ark. ise delme işlemini simüle eden bir elastik-plastik dinamik sonlu eleman modelini kullanmıştır.^[11] Başka bir çalışmada, fasyal sinir kanalı çevresindeki delme işlemine bağlı termal enerjinin etkisi kobay faresinin fasyal sinir kanalı kullanılarak değerlendirilirken,^[12] bir diğer çalışmada diz artroplastisi esnasında tibial delme için robot destekli bir yöntem geliştirilmiştir.^[13] Bachus ve ark., *in vitro* çalışmalarında uygulanan farklı delme kuvvetlerinin delme bölgesi civarındaki kortikal dokunun sıcaklığı üzerine farklı etkileri olduğunu bildirmişlerdir.^[14] Sharawy ve ark. ise, üç farklı devir sayısına bağlı ısı oluşumunu ölçmüşler ve delme işleminde devir sayısının delme süresi ile doğrudan ilişkili olduğunu saptamışlardır.^[15]

İmplant bölgesindeki kemik dokunun canlı kalması için kritik eşik olarak maksimum sıcaklığa 1 dakikadan daha az bir süre maruz kalınması gerektiği literatürde gösterilmiştir.^[1] Tavşan tibiasının kortikal kısmının kalınlığı yaklaşık 1-1.3 mm'dir ki, bu da, delme işlemi süresinin oldukça kısa sürdüğü anlamına gelmektedir. Yapılan delme işlemleri esnasında uygulanan kuvvetin artırılması delme sürelerinin kısalmasına yol açmıştır. Böylece, operasyon süreleri 1 dakikadan daha az sürmüş ve delme işlemleri kemik yenilenmesi için gereken süre sınırları içinde tutulmuştur.^[1] Buna birlikte, aşırı yüksek delme kuvvetlerinin istenmeyen kemik kırılmalarına yol açması da söz konusudur.

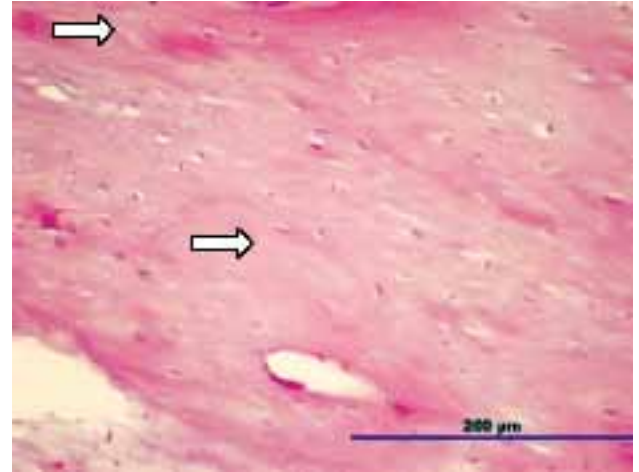


Şekil 6. Yirmi bir günlük canlı takibin ardından fibröz bağ doku filizleri (oklar) ve yeni şekillenen kemik (570 d/d, 20 N, kaplamasız uç). [Bu şekil, derginin www.aott.org.tr adresindeki çevrimiçi versiyonunda renkli görülebilir.]

Matkap ucundaki kaplamanın etkisinin gösterilmesi amacıyla, çalışmada TiBN kaplı uçlar kullanılmıştır. Kaplamalı ve kaplamasız uçlar delme süresi ve derinliği bakımından aynı koşullara sahip işlemlerle karşılaştırılmışlardır. TiBN kaplı uçla maksimum sıcaklığa 5 saniyede, kaplamasız uçla ise 8 saniyede ulaşıldığı halde, kaplamalı uçlarda kaplamasızlara göre sıcaklıklar biraz yüksek seyretmektedir (Şekil 4). Sıcaklık değerlerinin yakın seyretmesi, histogramlarda da belirgin bir farkın ortaya çıkmamasına yol açmıştır. Çalışmamızda artan delme kuvvetleri ile birlikte sıcaklık önemli ölçüde azaldığı halde, benzer sonuçlar elde edilen çalışmalarda,^[16,17] sıcaklığın artan devir hızıyla yükseldiği bildirilmiştir.

Delme parametrelerinin kemik morfolojisi ve yapısı üzerine etkisini göstermek için histopatolojik incelemeler gerçekleştirilmiştir. Kemik delmede uygulanan kuvvetin istatistiksel olarak önemli bir parametre olduğu rapor edildiği üzere,^[10,18] kemik yapısı bakımından uygulanan delme kuvvetleri arasında farklar saptanmıştır. 230 d/d devir hızı ve 5 N ile 20 N'luk kuvvet ile delinen numuneler karşılaştırıldığında aralarında doku ve hücre bakımından önemli farklar gözlenmemiştir. 370 ve 570 d/d devir hızıyla işlenen numunelerdeki fibröz dokuların büyüklüğü ve dağılımı daha yüksek devir hızı ve en düşük delme kuvveti (5N) ile doğrudan ilişkilendirilebilir.

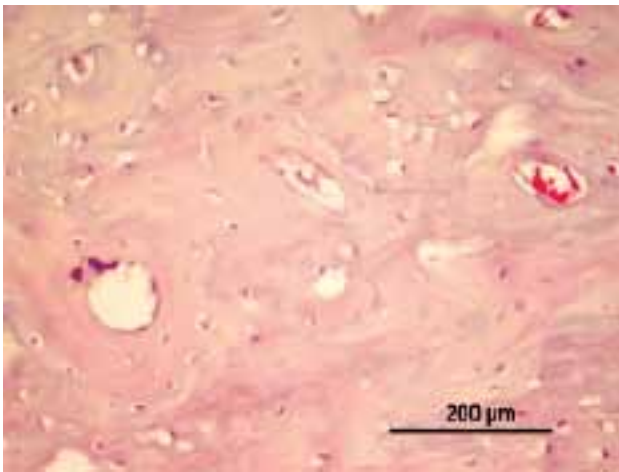
TiBN kaplı matkapla delinmiş 21 günlük canlılık süresinin ardından yeni oluşan kemik dokulara ait histogram Şekil 7'de gösterilmiştir. Bu histogramdan, yeni şekillenen fibröz dokuların fibroblastlar ve kılcak kan damarları bakımından zenginleştiği görülmüştür. Delmenin 21. günde TiBN kaplı uçlarla, 230 d/d hız ve 20



Şekil 7. Yirmi bir günlük canlı takibin ardında TiBN kaplı uçla delinmiş kortikal kemik oluşumu (230 d/d ve 20 N). [Bu şekil, derginin www.aott.org.tr adresindeki çevrimiçi versiyonunda renkli görülebilir.]

N'luk kuvvet ile yapıldığı A4-1 grubunda sert kemik doku miktarına hemen hemen eşit olan fibröz bağ doku oluşumları gözlenmiştir (Tablo 1). Literatürde seramik kaplı uçların standart medikal paslanmaz çelik uçlarla karşılaştırıldığında ısı oluşumunu arttırdığı ifade edilmesine rağmen,^[19] çalışmamızda, TiBN kaplamanın sıcaklık üzerine ve dolayısıyla kemik rejenerasyonuna bariz bir etkisi olmadığı saptanmıştır. Şekil 4'te de görüldüğü üzere kaplamalı ucun kaplamasız olandan farkı sadece 5°C'dir. Sıcaklığın 47°C'nin üzerinde olması halinde nekroz riskinin artma olasılığı bulunduğundan,^[1,18] *in vivo* deneylerde elde edilen en yüksek sıcaklıklar (56°C ve 62°C) kemik için nekroz riski oluşturmaktadır. Bununla birlikte, her iki sıcaklığın nekroz için kritik eşik olan 1 dakikadan daha az (12 ve 14 saniye) sürdüğü gözlenmiştir (Şekil 2). Daha yüksek delme kuvvetleri delme zamanını kısaltarak sıcaklıktan etkilenme süresini de kısaltmıştır. Kaplamalı (Şekil 7) ve kaplamasız (Şekil 5a) uçların kullanıldığı delmelerde yapısal açıdan önemli bir farkın bulunmadığı ve sonuçlarının benzer olduğu görülmüştür. Kemik doku yenilenmesi neredeyse tamamlanmış ve kortikal kemik yapıya dönüşmüş normal doku gözlenmiştir.

Ameliyattan 42 gün sonra yeni oluşan kemik kompakt kortikal kemiğe dönüşmüştü (Şekil 8). Deneylerin 42. gününün sonunda, delme işleminin 230 d/d devir hızı ve kaplamasız uç ile yapıldığı B1 grubuna ait numunelerde tamamıyla normal (kortikal) kemik doku gözlenmekteydi (Tablo 1). Delme işleminin 42. günde kaplamasız uç ve sırasıyla 370 ve 570 d/d devir hızlarında yapıldığı B2 ve B3 gruplarında gözlenen tek lezyon yeni kemik oluşumu ile karakterize şekillenme idi (Tablo 1). Minimum devir hızı (230 d/d) ve maksimum del-

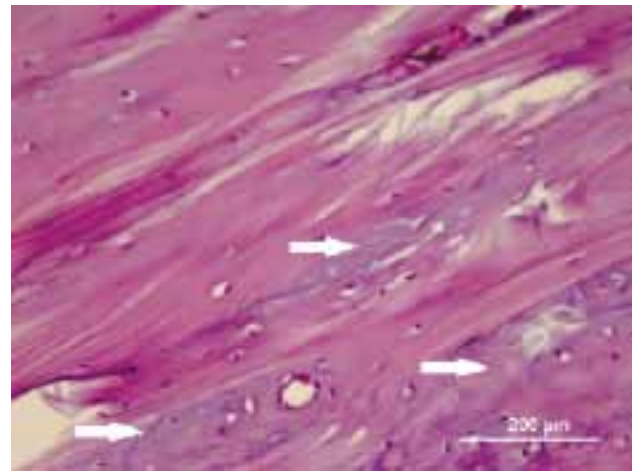


Şekil 8. Kırk iki günlük canlı takibin ardından oluşan normal (kortikal) kemik doku (230 d/d ve 20 N, kaplamasız uç). [Bu şekil, derginin www.aott.org.tr adresindeki çevrimiçi versiyonunda renkli görülebilir.]

me kuvveti (20 N) ile delinmiş B1-1 grubu numuneden elde edilmiş histogramda da görüldüğü üzere, 42 günlük takibin ardından, iyi yenilenmiş bir kemik yapı elde edilmişti (Şekil 8). Aynı delme parametrelerine sahip 21 günlük takibe ait numunede de iyi kemik rejenerasyonu dikkat çekicidir (Şekil 5a). Özetle, yukarıda bahsedilen minimum delme hızı ve maksimum delme kuvveti parametreleri ile delinmiş deliklerdeki kemik iyileşmesi 21 ve 42 günlük takibin neticesinde intramembranöz kemik doku oluşumları ile sonuçlanmıştır.

Delme işlemi (minimum delme hızı) 230 d/d ve (maksimum delme kuvveti) 20 N ile yapıldığında, kemik yenilenmesi 21 günde tamamlanmıştır (Şekil 5a). Diğer taraftan, 570 d/d devir hızı ve 20 N'luk delme kuvveti konfigürasyonu kullanıldığında sıcaklığın kemik dokusu üzerindeki etkisi devam etmiştir. Şekil 6'daki histogramdan, 570 d/d ve 20 N'luk delme parametreleri kullanıldığında 21 günün sonunda tamamlanmamış kemik dokusu gözlenmiştir. Ayrıca, kemik doku rejenerasyonu 42. günün sonunda komple tamamlanabilmektedir (Şekil 8). Bununla birlikte, 570 d/d ve 5N ile delinen B6-3 grubundaki numunede 42. gün sonunda kemik yenilenmesi hala tamamlanmamıştır (Şekil 9). Bu yüzden, 230 d/d ve 20 N delme koşullarının, 42. gün sonundaki komple tamamlanmış kemik yenilenmesi nedeniyle optimum koşullar olduğu sonucuna varılmıştır.

Delme bölgesine ait histolojik incelemeler fibröz doku ile kortikal kemik oluşumlarını açığa çıkarmıştır. Bununla birlikte, 21. günde oluşan kortikal kemik miktarı 42 günlüklerle karşılaştırıldığında daha azdır. Yüksek devir hızının uygulandığı A2 ve A3 gruplarında 21. gün sonunda fibröz bağ doku filizlenmeleri ve yeni oluşan kemik dokusu saptanmıştır. Düşük devir hızının



Şekil 9. Kırk iki günlük canlı takibin ardından tamamlanmamış kemik yenilenmesi (oklar) (570 d/d, 5N, kaplamalı uç). [Bu şekil, derginin www.aott.org.tr adresindeki çevrimiçi versiyonunda renkli görülebilir.]

kullanıldığı A1 grubunda da fibröz doku ve kemik rejenerasyonu gözlenmiştir. En iyi kemik rejenerasyonu en düşük devir hızı (230 d/d) ve en yüksek delme kuvvetinde (20 N) elde edilmiştir.

Sonuç olarak, kemik ısı delme süresi ve derinliği ile değişim göstermekteydi. Düşük devir sayısı, daha yüksek devir sayıları ile karşılaştırıldığında sıcaklığı düşürerek daha iyi kemik rejenerasyonu sağlamaktaydı. TiBN kaplamanın kemik ısı ve yapısına bir etkisi saptanmadı. Delme işleminin 230 d/d ve 20 N'luk kuvvet ile yapılması durumunda 42 günlük takibin ardından en iyi kemik rejenerasyonu elde edildi. Delmeyi takiben veya 21 günlük canlı periyodun ardından oluşan ana yapı fibröz doku iken, 42 günlük sürenin sonunda ana yapının koruyucu kemik doku olduğu görülmüştür.

Çıkar örtüşmesi: Çıkar örtüşmesi bulunmadığı belirtilmiştir.

Kaynaklar

1. Augustin G, Zigman T, Davila S, Udiljak T, Staroveski T, Brezak D, et al. Cortical bone drilling and thermal osteonecrosis. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2012;27:313-25.
2. Harder S, Egert C, Wenz HJ, Jochens A, Kern M. Influence of the drill material and method of cooling on the development of intrabony temperature during preparation of the site of an implant. *Br J Oral Maxillofac Surg* 2013;51:74-8.
3. Karmani S. The thermal properties of bone and the effects of surgical intervention. *Curr Orthop* 2006;20:52-8.
4. Reingewirtz Y, Szmukler-Moncler S, Senger B. Influence of different parameters on bone heating and drilling time in implantology. *Clin Oral Implants Res* 1997;8:189-97.
5. Karunakar MA, Frankenburg EP, Le TT, Hall J. The thermal effects of intramedullary reaming. *J Orthop Trauma* 2004;18:674-9.
6. Monfoulet L, Rabier B, Chassande O, Fricain JC. Drilled hole defects in mouse femur as models of intramembranous cortical and cancellous bone regeneration. *Calcif Tissue Int* 2010;86:72-81.
7. Eriksson AR, Albrektsson T. Temperature threshold levels for heat-induced bone tissue injury: a vital-microscopic study in the rabbit. *J Prosthet Dent* 1983;50:101-7.
8. Sugita N, Osa T, Mitsuishi M. Analysis and estimation of cutting-temperature distribution during end milling in relation to orthopedic surgery. *Med Eng Phys* 2009;31:101-7.
9. Shin HC, Yoon YS. Bone temperature estimation during orthopaedic round bur milling operations. *J Biomech* 2006;39:33-9.
10. Augustin G, Davila S, Mihoci K, Udiljak T, Vadrina DS, Antabak A. Thermal osteonecrosis and bone drilling parameters revisited. *Arch Orthop Trauma Surg* 2008;128:71-7.
11. Tu YK, Tsai HH, Lin LC. Finite element simulation of drill bit and bone thermal contact during drilling. The 2nd Int. Conf., May 16-18, 2008. *Bioinform Biomed Eng* 2008;71:1268.
12. Aslan A, Varansever HS, Aslan GG, Eskiizmir G, Giray G. Effect of thermal energy produced by drilling on the facial nerve: histopathologic evaluation in guinea pigs. *J Laryngol Otol* 2005;119:600-5.
13. Denis K, Ham GV, Sloten JV. Influence of bone milling parameters on the temperature rise, milling forces and surface flatness in view of robot assisted total knee arthroplasty. *Int Congr Series* 2001;1230:300-6.
14. Bachus KN, Rondina MT, Hutchinson DT. The effects of drilling force on cortical temperatures and their duration: an in vitro study. *Med Eng Phys* 2000;22:685-91.
15. Sharawy M, Misch CE, Weller N, Tehemar S. Heat generation during implant drilling: the significance of motor speed. *J Oral Maxillofac Surg* 2002;60:1160-9.
16. Abouzgia MB, James DF. Measurements of shaft speed while drilling through bone. *J Oral Maxillofac Surg* 1995;53:1308-16.
17. Jacob CH, Berry JT. A study of the bone machining process--drilling. *J Biomech* 1976;343-9.
18. Karaca F, Aksakal B, Kom M. Influence of orthopaedic drilling parameters on temperature and histopathology of bovine tibia: an in vitro study. *Med Eng Phys* 2011;33:1221-7.
19. Sumer M, Misir AF, Telcioglu NT, Guler AU, Yenisey M. Comparison of heat generation during implant drilling using stainless steel and ceramic drills. *J Oral Maxillofac Surg* 2011;69:1350-4.