

## TENİSÇİLERİN ÖNKOL KEMİK MİNERAL YOĞUNLUKLARI İLE KUVVET İLİŞKİSİ

Gülbin RUDARLI NALÇAKAN\*, Emine KUTLAY\*, Erdinç DEMİRAY\*,  
Zehra ÖZCAN\*\*

### ÖZET

Bu çalışmanın temel amacı, tek tarafını baskın olarak kullanan yarışmacı genç (ortalama 23.3 yaş) erkek tenisçilerin ön kol kemik mineral yoğunlukları (BMD) ile ön kol kas kuvvetleri arasındaki ilişkiyi saptamaktır. Diğer amaç ise, bilateral kuvvet ve BMD farklarını incelemek ve sonuçları bir kontrol grubu ile kıyaslamaktır. Sporcu (n=16) ve kontrol grubunun (n=13) her iki kol için BMD değerlerinin saptanmasında X-ışını absorpsiyometre (DEXA) yöntemi, kuvvetin belirlenmesinde ise el dinamometresi kullanıldı. Puberte öncesi dönemde tenise başlayan sporcu grubun ortalama haftalık antrenman süreleri 15.1 saattir. DEXA ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde; sporcularda tüm değerler kullanılan kol lehine istatistiksel olarak anlamlı ( $p<0.01$ ) şekilde yüksek bulundu. Kontrol grubunda ise anlamlı bir farklılık saptanmadı. Gruplar arasındaki fark sadece ön kol proksimali için sporcu grupta istatistiksel olarak anlamlı ( $p<0.01$ ) düzeyde yüksekti. Değişkenler arası korrelasyon analizi sonucunda, sporcuların ön kol BMD verileri ile kuvvet değerleri veya sportif kariyer süreleri arasında istatistiksel anlamlılık bulunamadı. Çalışmamızda tenisçilerde artmış kas gücü ile kemik değişiklikleri saptanmasına rağmen, aralarındaki bağıntının gösterilemedi.

**Anahtar sözcükler:** Tenis, BMD, DEXA, ön kol kuvveti, egzersiz

---

\* Ege Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu, İzmir

\*\* Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Nükleer Tıp Anabilim Dalı, İzmir

## **SUMMARY**

### **FOREARM BONE MINERAL DENSITY AND STRENGTH RELATIONSHIPS IN TENNIS PLAYERS**

*The primary purpose of this study was to investigate the relationship between bone mineral density (BMD) and muscular strength of forearms in competitive, young (23.3 yr) male tennis players who are predominantly unilateral. Secondary purposes were to compare bilateral forearm BMD and grip strength differences of the athletes with those of a control group. Tennis players (n=16) and controls (n=13) were bilaterally evaluated with dual energy X-ray absorptiometry (DEXA) for BMD and with handgrip dynamometer for grip strength. The players had started their playing career in pre-puberty and averaged 15.1 hours of training per week. The bilateral BMD differences were largest ( $p<0.01$ ) in all area of the forearm, in favor of the athletes' dominant extremity. There were no significant differences in the control group. Dominant forearm proximal BMDs of athletes were significantly higher than controls ( $p<0.01$ ). There were no correlations amongst forearm strength, BMD and athletic career. We concluded that, tennis players had enhancement muscle strength and bone parameters of the forearm, but as regards the relationship among the parameters, the small cohort size did not yield any significant correlations.*

**Key words:** *Tennis, BMD, DEXA, grip strength, exercise*

## **GİRİŞ**

Kemik doku, kas dokusuna benzer şekilde, mekanik yüklenmeye bağlı bir yapısal ve fonksiyonel adaptasyon gösterme özelliğine sahiptir. Mekanik yüklenmeye bağlı osteogenезin artması sonucu kemik kitle ve yoğunluğunda artış pek çok araştırmada gösterilmekle beraber, bunu sağlayacak fiziksel aktivitenin tipi, şiddeti ve süresi henüz net olarak ortaya konamamıştır (4).

Tek tarafın etkin olarak kullanıldığı aktiviteler içinde yer alan raket sporlarından (squash, masa tenisi, badminton, tenis) tenis sporunda, özellikle kullanılan kol ve ön kol kemiklerinde uzun süreli fiziksel aktivitenin kemik mineral yoğunluğu (BMD) ve kemik mineral içeriği (BMC) üzerindeki etkileri pQCT (periferel kantitatif bilgisayarlı tomografi) ve DEXA (dual enerji X-ışını absorpsiyometre) yöntemleriyle araştırılmıştır (1,4,6,7,8,9,12,13,14,15,16). Ayrıca yine pek çok araştırmada kol ve ön kol BMD ve BMC değerleri saptanarak spora

başlama yaşı, süresi, yoğunluğu, cinsiyet, yaş gibi etkenlerle ilişkisi incelenmiştir (7,9,12,13,14,15). Bu çalışmada uzun süredir tenis sporu ile uğraşan yarışmacı tenisçilerde, literatürdeki çalışmalardan farklı olarak, kullanılan tarafın ön kol statik kas kuvveti ile ön kol kemiklerinin (radius ve ulna), BMD değerleri arasındaki ilişkinin ortaya konması amaçlandı. Bulgular kullanılan kol değerleri ve sporcu grubu ile benzer özelliklere sahip bir kontrol grubunun sonuçları ile karşılaştırılmalı olarak değerlendirildi.

## GEREÇ VE YÖNTEM

**Çalışma grubu:** İzmir bölgesindeki tenis kulüplerine bağlı, ulusal düzeyde yarışmacı 16 erkek tenisçi ile düzenli spor yapmayan 13 erkek üniversite öğrencisi gönüllü olarak çalışmaya dahil edildi. Yaş ortalamaları  $23.3 \pm 5.4$  yıl ve tenis oynama süreleri  $11.8 \pm 7.3$  yıl olan grubun, haftalık antrenman süresi ortalaması, düzenli olmamakla beraber,  $15.1 \pm 6.6$  saattir. Spora başlama yaşı ortalaması 9 olup üçü için bu değer 15-18 arasında idi. Diğerlerinin puberte öncesi, hatta çocukluk döneminde spora başladıkları tespit edildi. Performanslarının en iyi dönemlerinde altısının ulusal takım düzeyinde, dördünün ulusal sıralamada ilk on altı arasında oldukları; diğerlerinin ise bölgesel ve ulusal düzeyde birçok turnuvada derece almış düzeyde sporcular oldukları belirlendi. Tüm tenisçilerin forehand vuruşunda tek elini, backhand vuruşunda ise ikisi hariç çift ellerini kullandıkları saptandı. Çalışma öncesinde bireylere çalışmanın amacı, yöntemi ve riskleri üzerine bilgi verilerek onayları alındı.

**Antropometrik ölçümler:** Deneklerin yaşları takvim yılına göre saptandı. Boy ölçümleri cm düzeyinde; başın pozisyonu Frankfurt düzleminde, çıplak ayakla, üzerlerinde sadece şort ve t-shirt ile, Heath-Carter somatotip yöntemine göre ve Harpenden antropometri seti (Holtain Ltd, İngiltere) kullanılarak yapıldı. Ağırlık ölçümleri ise; çıplak ayakla, üzerlerinde sadece şort ve t-shirt olmak üzere baskülde yapıldı ve ölçüm değeri kg cinsinden yazıldı.

**El-pençe kuvveti testi:** Sağ ve sol el pençe kuvvetinin ölçümü için (Takei Scientific Instruments Co, Japonya) el dinamometresi kullanıldı. Gergin kolla dinamometre kolunun sıkılması istendi. Her kol için üç denemeden en iyisi kg cinsinden kaydedildi.

**Kemik yoğunluğu ölçümü:** Kemik yoğunluğu ölçümü dual enerji X-ışını absorpsiyometre yöntemi (DEXA) ile gerçekleştirildi. Hologic QDR-4500 A ve Hologic 4500 C sistemleri kullanılarak ön kol kemikleri

üzerinden çekim yapıldı. Kemik yoğunluğu analizi için sistemin sahip olduğu bilgisayar yazılım programı yardımıyla radius ve ulna kemiklerini kapsayan bir ilgi alanı seçildi. Bu ilgi alanı üzerinde ultradistal, orta ve 1/3 proksimal kemik alanlarından da analiz yapılarak, total radius ve ulna, ultradistal, orta ve proksimal radius-ulna olmak üzere dört farklı alanın kemik mineral yoğunluğu g/cm<sup>2</sup> cinsinden hesaplandı.

**İstatistiksel analiz:** Ekstremiteler arası farklılıklar Wilcoxon eşleştirilmiş iki örnek testi ile; gruplar arası farklılıklar Mann-Whitney U testi ile belirlendi. Sporcu grupta; sportif kariyerleri, BMD ve kuvvet değişkenleri arasındaki korrelasyon ilişkileri Spearman sıralı korrelasyon katsayısı testi ile belirlendi. Tüm veriler ortalama  $\pm$  SS olarak ifade edildi. Ekstremiteler arası yoğunluk ve kuvvet farkları, dominant olmayan değer yüzdesi olarak verildi ve  $\Delta\% = (\text{dominant} - \text{dominant olmayan}) / \text{dominant olmayan} \times 100$  olarak hesaplandı. İstatistiksel anlamlılık için  $p < 0.05$  düzeyi kabul edildi.

## BULGULAR

Bireylerin fiziksel özellikleri Tablo 1’de; bilateral ön kol DEXA ölçüm sonuçları ise Tablo 2’de verilmektedir.

**Tablo 1.** Bireylerin fiziksel özellikleri (Ort  $\pm$  SS)

Özellikler	Sporcu (n=16)	Kontrol (n=13)
Yaş (yıl)	23.4 $\pm$ 5.4	20.8 $\pm$ 1.5
Boy (cm)	180.6 $\pm$ 5.8*	171.0 $\pm$ 6.9
Vücut ağırlığı (kg)	73.1 $\pm$ 7.7*	62.4 $\pm$ 8.7
<i>İzometrik grip kuvveti (kg):</i>		
Dominant kol	47.1 $\pm$ 9.7* <sup>b</sup>	31.3 $\pm$ 10.8 <sup>a</sup>
Dominant olmayan kol	43.7 $\pm$ 8.6**	28.0 $\pm$ 9.5
<i>Antrenman geçmişleri:</i>		
Spora başlama yaşı (yıl)	9.4 $\pm$ 3.8	-
Spor yapma süresi (yıl)	11.8 $\pm$ 7.4	-
Antrenman süresi (saat/hf)	15.2 $\pm$ 6.7	-

\*:  $p < 0.01$ , \*\*:  $p < 0.001$  (gruplar arası farklar); <sup>a</sup>:  $p < 0.01$ ,

<sup>b</sup>:  $p < 0.001$  (ekstremiteler arası fark)

Çalışmaya katılan deneklerin karakteristikleri karşılaştırıldığında, yaş grubu olarak farklı olmadıkları gözlemlendi. Beklendiği üzere, boy ve vücut ağırlığı değerleri ile her iki kolda izometrik grip kuvveti için istatistiksel olarak sporcular lehine anlamlı yükseklik saptandı.

Ekstremiteler arası farklılıklara bakıldığında, her iki grupta izometrik grip kuvvetinin dominant kolda karşı tarafa oranla yüksek olduğu ve bu farklılığın sporcularda ( $p<0.001$ ) kontrol grubundan ( $p<0.01$ ) daha belirgin olduğu dikkat çekti.

**Tablo 2.** Deneklerin bilateral ön kol DEXA ölçüm sonuçları (Ort  $\pm$  SS)

Ölçüm parametresi	Sporcu (n=16)		Kontrol (n=13)	
	Dominant	Dominant olmayan	Dominant	Dominant olmayan
Kemik mineral yoğunluğu (Radius + Ulna, g/cm <sup>2</sup> )				
Distal	0.49 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>	0.46 $\pm$ 0.04	0.45 $\pm$ 0.06	0.44 $\pm$ 0.05
Mid	0.66 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>	0.63 $\pm$ 0.04	0.62 $\pm$ 0.06	0.62 $\pm$ 0.06
1/3 proksimal	0.76 $\pm$ 0.06 <sup>a,b</sup>	0.73 $\pm$ 0.04	0.70 $\pm$ 0.06	0.69 $\pm$ 0.06
Total	0.64 $\pm$ 0.05 <sup>b</sup>	0.61 $\pm$ 0.04	0.60 $\pm$ 0.06	0.59 $\pm$ 0.06

<sup>a</sup>:  $p<0.01$  (gruplar arası farklar); <sup>b</sup>:  $p<0.01$  (ekstremiteler arası fark)

DEXA ölçümleri değerlendirildiğinde; ekstremiteler arası farklılık sporcularda tüm değerler için dominant kol lehine istatistiksel olarak anlamlı bulundu ( $p<0.01$ ). Kontrol grubunda ise anlamlı bir farklılık saptanmadı ( $p>0.05$ ). Sporcu ve kontrol gruplarının değerleri kıyaslandığında sporcularda hem dominant hem de karşı taraf ön kol kemik yoğunluğunun daha yüksek olduğu görüldü. Ancak bu yüksekliğin sadece dominant taraftaki radius ve ulnanın proksimalinde kontrol grubundan anlamlı derecede ( $p<0.01$ ) yüksek olduğu, diğer kemik alanlarındaki değerlerin yüksek olmakla beraber istatistiksel anlamlılığının bulunmadığı dikkati çekti.

Sporcu grubun sportif geçmişleri ile kemik karakteristikleri ve kassal kuvvetleri arasında korrelasyon analizi yapılarak istatistiksel anlamlılık gözlenen ilişkiler Tablo 3'de gösterilmektedir.

Spora başlama yaşı, spor geçmişi ile dominant koldaki BMD değerleri arasında anlamlı ilişki bulunamadı. Buna karşın spor geçmişine parametrelerin dominant olmayan taraftaki ön kol kemiklerinin yoğunluğu ile distalde daha belirgin olmak üzere ( $p=0.001$ ) anlamlı korrelasyon gösterdiği dikkati çekti. Ayrıca aktif olarak kullanım fark etmeksizin her iki koldaki kuvvet ölçümlerinin bireylerin kilosu ile orta dereceli bir bağıntı içinde oldukları gözlemlendi.

**Tablo 3.** Sporcuların sportif geçmiş ile kemik karakteristikleri ve kassal kuvvet değerleri arasındaki korrelasyon analizi sonuçları

	Yaş	Spora baş. yaşı	Spor geçmişi	Boy	Vücut ağırlığı
Vücut ağırlığı	r=0.68 p=0.004				
Dom distal BMD	r=0.60 p=0.013			r=0.66 p=0.006	
Dom mid BMD				r=0.60 p=0.015	
Dom total BMD				r=0.59 p=0.017	
Dom olm distal BMD	r=0.74 p=0.001	r=0.63 p=0.010	r=0.53 p=0.037		
Dom olm mid BMD				r=0.60 p=0.015	
Dom olm total BMD	r=0.52 p=0.039			r=0.60 p=0.014	
Dom kuvvet	r=0.52 p=0.039				r=0.58 p=0.018
Dom olm kuvvet					r=0.59 p=0.016

Dom: dominant kol; Dom olm: dominant olmayan kol

### TARTIŞMA

Tek tarafın kullanıldığı fiziksel aktivitelerin uzun süreli etkilerinin araştırıldığı çalışmalarda, genelde dominant kolda humerus kemiği üzerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir (3,7,8,9,12,14,15). Çalışmalardan çıkan sonuç fiziksel aktivitenin neden olduğu mekanik yüklenmenin kol kemik kitlesi ve yoğunluğunu arttırdığı şeklindedir (3,7,9,12,13). Üst ekstremitenin değişik kemik bölgelerinden yapılmış ölçüm sonuçları; sporcularda kollar arası farkların, dominant kol lehine % 20 oranında, sedanterlerde ise % 5 oranında farklı olduğu yönündedir (13).

Uzun süreli ve yoğun olarak tenis oynamanın, özellikle çocukluk ve ergenlik döneminde başladığında, ergenlik dönemi sonrasında başlayanlara göre humerustaki kemik mineral içeriği, kemik mineral yoğunluğu ve kortikal kemik kalınlığı gibi değişkenlerde belirgin artışlara neden olduğu (7,12,13,15), fakat kemiğin genişliğine etkisinin

çok küçük olduğu sonuçlarına varılmıştır (9). Hatta uzun süre mekaniksel yük altında kalan koldaki kemik kazanımlarının spor bırakılsa bile kaybolmadığı saptanmıştır (13). Teniste kullanılan kolda düzenli egzersize bağlı kemik kazanımlarının, aktivite süresi ve sıklığı azaltılsa bile korunduğu ve bu durumun aktiviteye başlama yaşından bağımsız olduğu ileri sürülmüştür (14).

Teniste kol bölgesi kemik karakteristikleri hedef bölge olarak humerusta araştırılırken, fiziksel yük altında kalan ön kol bölgesinin bu stresten ne kadar etkilendiğini inceleyen araştırmalar sınırlı kalmıştır. Teniste raket vuruşları sonucu tel tansiyon gerilimi, titreşimi ve kas kasılmalarının, kullanılan taraf ön kolunda tekrarlayıcı nitelikte mekanik uyarılara neden olduğu da bildirilmektedir (5). Sadece ön kol bölgesinin (radius ve ulna) değerlendirildiği çalışmamızda, kullanılan kolda kemik üzerindeki değişimler ile bunların kullanılmayan kolla farkları ve ön kol kuvvetleri ile ilişkileri araştırılıp, bulgular kontrol grubununkiler ile karşılaştırıldı.

Çalışmamızda, tenisçilerin üst ekstremiteleri arasındaki total kemik mineral yoğunluk farkları % 5 kadar belirlenmiş olup, bu değer normal kabul edilen sınırlar içindedir (13). Benzer şekilde elit erkek voleybolcularda da, sürekli smaç hareketinin ağır mekaniksel yüküne maruz kalan dominant kolda BMD, dominant olmayan kola göre, % 9 oranında yüksek bulunmuştur (3).

Ön kol kuvveti, standart bir ölçüm olarak, radius üzerindeki yükün belirlenmesinde kullanılan ve kabul görmüş bir yöntemdir (11,13). Ölçüm sonuçlarımıza göre tenisçilerde iki kol arasında saptanan % 7'lik kuvvet farkı, yine tenisçiler üzerinde yapılmış iki çalışmada elde edilen sonuçlardan (% 13.3 ve % 18) düşüktür (5,13).

Dominant olmayan kolda radyal kemiğin mekanik özellikleri ile aynı koldaki tutuş kuvveti ve ilgili kas kesiti arasındaki ilişkiyi pQCT yöntemi ile araştıran bir çalışmada; distal radiusta ön kol kuvveti ile yaş, cinsiyet, BMD ve stres kırığı indeksi arasında kuvvetli bir ilişki saptanmıştır. Sonuçta, distal radiusun mekanik özelliklerinin ön kol kuvveti ile etkileşiminin kas kesitiyle ilişkisinden daha iyi olduğu ortaya çıkarılmıştır (10).

Bizim çalışmamızda ise tenis oynayanlarda kullanılan ve kullanılmayan tarafın ön kol kuvveti ve BMD değerleri kontrol grubuna oranla yüksek bulunmasına rağmen, BMD ve kuvvet arasında

istatistiksel olarak anlamlı bir bağıntı gösterilemedi. Benzer şekilde, Ducher ve ark.'nın (5) kantitatif manyetik rezonans yöntemi ile yaptıkları çalışmalarında da tutuş testi sonuçları kortikal kemik hacmi, kemik mineral içeriği gibi parametreler ile ilişkili bulunurken, hacimsel BMD (vBMD) değerleri ile istatistiksel olarak anlamlı bağıntı göstermemiştir. Yazarlar bu durumu tenisin radiusta kemik alanı ve kemik mineral yoğunluğunu beraberce arttırması sonucu hacimsel değerlerdeki artışın daha az belirgin olmasıyla açıklamışlardır.

Ayrıca bugüne kadar elde edilen veriler iskelet dokunun tüm yapısal elemanlarının bir neden-sonuç etkileşimi içinde olduklarını, kas aktivitesinin kemik dokunun boyut ve şekil özelliklerini belirlemede önemli bir etken olduğunu göstermektedir (2). Dolayısıyla, çalışmamızda kas gücü ile kemik değişkenlerinin artmış bulunmasına rağmen aralarındaki bağıntının gösterilemeyişinin, öncelikle sınırlı olgu sayısından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Araştırmamıza benzer nadir çalışmalardan birinde, her iki kol humerus ve ulna kemiklerinin BMD ve kuvvet ilişkileri Haapasalo ve ark. (7) tarafından uzun süredir squash oynayan kadınlarda incelenmiştir. Sonuçta dominant kolda humerus BMD ve BMC'si ile dirsek fleksiyon kuvveti ve antrenman yaşı arasında korrelasyon bulunmuştur ( $r= 0.63-0.69$ ). Bu bulgu bizim sonucumuza dolaylı olarak benzemektedir. Sürekli uygulanan mekaniksel yük ile ön kol humerusa göre daha az etkilenmektedir ve dinamik kas kuvvetiyle korrelasyon saptanamamaktadır.

Bayan tenis ve squash oyuncularında kemik yapısında yüklenmeye bağlı değişikliklerin araştırıldığı bir başka çalışmada humerus shaftındaki tüm kemik parametreleri için anlamlı farklılık bulunurken, distal radiustaki değişikliklerin humerusta izlenenlere göre daha az belirgin olduğu dikkati çekmiştir. Bu durum, egzersize bağlı kortikal büyümenin, bir trabeküler kemik bölgesi olan distal radiusta belirgin olmaması ile açıklanmış ve kuvvetli bir kemik yapısı oluşturmada trabeküler yoğunluğun modifiye edilebilir bir faktör olduğu sonucuna varılmıştır (15). Bu bulguların tersine, Ducher ve ark. (5) ise özellikle distal radiusta kemik kitlesinde ve volümetrik BMD değerinde anlamlı artış gözlemişlerdir.

Haapasalo ve ark. (8), 30 yaş ortalamalı Finlandiya erkek ulusal tenis takım oyuncularında bilateral kemik karakteristiklerini incelemiştir. pQCT ile yaptıkları ölçümler sonucunda, dominant kolda humerus ve



radial kemik shaftında kemik mineral içeriği ve kuvveti sporcular lehine belirgin bir şekilde artmış olmasına rağmen, volümetrik kemik yoğunluğunda (CoD ve TrD) bir değişiklik bulunamamıştır. Yazarlar bunu kemiğin kullanmaya bağlı genişlemesinin neden olduğu yoğunluk artışı şeklinde yorumlamışlar; ayrıca, kol bölgesine ait sonuçların tüm iskelete genellenemeyeceğini, verilerin DEXA ile ölçümlerde yeni anlayışlar kazandırabileceği fikrini öne sürmüşlerdir.

Sonuç olarak, uzun süredir tenis sporu ile uğraşan yarışmacı tenisçilerde, kullanılan tarafın kemik mineral yoğunluğunun kullanılmayan taraf ve kontrol grubundaki bireylerden anlamlı derecede yüksek olduğu saptandı. Ayrıca statik ön kol kas kuvvetinde de kullanılan taraf lehine anlamlı farklılık gözlemlendi. Kemik mineral yoğunluğu ve ön kol kas kuvvetindeki artış oranları arasında bağıntı gösterilememekle birlikte, bu yöndeki bir ilişkinin daha çok sayıda sporcunun dahil edildiği çalışmalarda araştırılması gerektiği düşünülmektedir.

### TEŞEKKÜR

Yazarlar, Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Nükleer Tıp Anabilim Dalı kemik dansitometrisi laboratuvarı teknisyenlerine titiz çalışmalarını nedeniyle teşekkür ederler.

### KAYNAKLAR

1. Ashizawa N, Nonaka K, Michikami S, Mizuki T, Amagai H, Tokuyama K, Suzuki M: Tomographical description of tennis-loaded radius: reciprocal relation between bone size and volumetric BMD. *J Appl Physiol* **86**: 1347-51, 1999.
2. Burr DB: Muscle strength, bone mass, and age-related bone loss. *J Bone Miner Res* **12**: 1547-51, 1997.
3. Calbet JAL, Diaz Herrera P, Rodriguez LP: High bone mineral density in male elite professional volleyball players. *Osteoporosis Int* **10**: 468-74, 1999.
4. Calbet JAL, Moysi JS, Dorado C, Rodriguez LP: Bone mineral content and density in professional tennis players. *Calcif Tissue Int* **62**: 491-6, 1998.
5. Ducher G, Courteix D, Meme S, Magni C: Bone geometry in response to long-term tennis playing and its relationship with muscle volume: a quantitative magnetic resonance imaging study in tennis players. *Bone* **37**: 457-66, 2005.
6. Felsenberg D, Gowin W: Bone densitometry: applications in sports-medicine. *Eur J Radiol* **28**: 150-4, 1998.
7. Haapasalo H, Kannus P, Sievanen H, Heinonen A, Oja P, Vuori I: Long term unilateral loading and bone mineral density and content in female squash players. *Calcif Tissue Int* **54**: 249-55, 1994.

8. Haapasalo H, Kontulainen S, Sievanen H, Kannus P, Jarvinen M, Vuori I: Exercise-induced bone gain is due to enlargement in bone size without a change in volumetric bone density: a peripheral quantitative computed tomography study of the upper arms of male tennis players. *Bone* **27**: 351-7, 2000.
9. Haapasalo H, Sievanen H, Kannus P, Heinonen A, Oja P, Vuori I: Dimensions and estimated mechanical characteristics of the humerus after long-term tennis loading. *J Bone Miner Res* **11**: 864-72, 1996.
10. Hasegawa Y, Schneider P, Reiners C: Age, sex and grip strength determine architectural bone parameters assessed by peripheral quantitative computed tomography at the human radius. *J Biomech* **34**: 497-503, 2001.
11. <http://sookmyung.ac.kr/~movement/kim.htm>: Relationship between body composition, VO<sub>2</sub>max, muscle strength and BMD in middle-aged women. 2000.
12. Kannus P, Haapasalo H, Sankelo M, et al: Effects of starting age of physical activity on bone mass in the dominant arm of tennis and squash players. *Ann Intern Med* **123**: 27-31, 1995.
13. Kontulainen S, Kannus P, Haapasalo H, Heinonen A, Sievanen H, Oja P, Vuori I: Changes in bone mineral content with decreased training in competitive young adult tennis players and controls: a prospective 4-yr follow-up. *Med Sci Sports Exerc* **31**: 646-52, 1999.
14. Kontulainen S, Kannus P, Haapasalo H, et al: Good maintenance of exercise-induced bone gain with decreased training of female tennis and squash players: a prospective 5-year follow-up study of young and old starters and controls. *J Bone Miner Res* **16**: 195-201, 2001.
15. Kontulainen S, Sievanen H, Kannus P, Pasanen M, Vuori I: Effect of long-term impact-loading on mass, size and estimated strength of humerus and radius of female racquet-sports players: a peripheral quantitative computed tomography study between young and old starters and controls. *J Bone Miner Res* **18**: 352-9, 2003.
16. Nara-Ashizawa N, Liu LJ, Higuchi T, et al: Paradoxical adaptation of mature radius to unilateral use in tennis playing. *Bone* **30**: 619-23, 2002.