



## Transvers osteotomilerde K-teli konfigürasyonlarının dört nokta eğme testi ile deneysel olarak karşılaştırılması

### *Evaluation of biomechanical rigidity of K-wire configurations in transverse osteotomies: a comparison of four-point bending test results*

Özcan PEHLİVAN, <sup>1</sup> Suat YILMAZ, <sup>2</sup> Ahmet KIRAL, <sup>1</sup> İbrahim AKMAZ, <sup>1</sup>  
Mahir MAHİROĞULLARI, <sup>1</sup> Haluk KAPLAN <sup>1</sup>

<sup>1</sup>GATA Haydarpaşa Eğitim Hastanesi Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği;

<sup>2</sup>İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Madde Mühendisliği Bölümü

**Amaç:** Elin tübüler kemiklerinin instabil transvers kırıklarının cerrahi fiksasyonunda sık kullanılan bazı yöntemler, tavuk kanadının humerus kemiğinde oluşturulan transvers osteotomilerde uygulandıktan sonra dört nokta eğme testi ile biyomekanik sağlımlıkları karşılaştırıldı.

**Çalışma planı:** Otuz adet tavuk humerus kemiği her biri beş kemikten oluşan altı guruba ayrılarak transvers osteotomi uygulandı. Her bir grupta iki adet K-teli ile farklı konfigürasyonlarla sağlanan fiksasyonun laboratuvar ortamında dört nokta eğme testinde eğilme rijiditeleri ölçüldü. İki ayrı kalınlıkta K-teli kullanılarak, iki grupta intramedüller, iki grupta çapraz, iki grupta ise çapraz K-teli fiksasyonuna ek olarak tension band wiring tekniği kullanıldı. Elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirildi.

**Sonuçlar:** En yüksek rijidite 0.045 inch'lik, ondan sonra da 0.035 inch'lik çapraz K-telleri ile birlikte uygulanan tension band wiring tekniği ile elde edildi; bu uygulamaların, tek başına uygulanan çapraz ve intramedüller K-teli fiksasyonlarına göre anlamlı derecede daha rijid bir fiksasyon sağladıkları görüldü.

**Çıkanmlar:** Elin tübüler kemiklerindeki transvers kırıklarda, çapraz K-teli uygulamasıyla beraber dorsalden uygulanacak tension band wiring tekniği ile ameliyat sonrası dönemde erken hareket vermeye olanak sağlayacak sağlımlıkta bir fiksasyon elde etmek mümkün olabilir.

**Anahtar sözcükler:** Hayvan; biyomekanik; kemik telleri; karşılaştırmalı çalışma; parmak yaralanmaları; kırık fiksasyonu, internal/yöntem; kırık fiksasyonu, intramedüller; metakarpus/yaralanma; osteotomi; gerilme kuvveti; torsiyon.

**Objectives:** Four-point bending test was performed in transverse osteotomies of chicken humerus in order to assess biomechanical rigidity of fixation techniques that are commonly used in transverse unstable fractures of the tubular bones of the hand.

**Methods:** Thirty chicken humeral bones were transversely osteotomized and then randomly assigned to six fixation groups equal in number. Osteotomized bones were fixed with the use of two crossed (2 groups) or intramedullary (2 groups) K-wires; in the remaining two groups, crossed K-wires were used in combination with tension band wiring. The sizes of the crossed and intramedullary K-wires were 0.035-inch and 0.045-inch in paired groups, respectively. Biomechanical rigidity was measured by four-point bending test on an Instron testing machine.

**Results:** The most rigid configuration was obtained with 0.045-inch K-wires, followed by 0.035-inch K-wires used in combination with tension band wiring. These techniques provided significantly increased rigid fixations than those obtained by non-supplemented crossed and intramedullary K-wire fixations.

**Conclusion:** In the transverse fractures of the tubular bones of the hand, dorsally applied tension band wiring around two crossed K-wires provides adequate rigidity that allows early active motion in the postoperative period.

**Key words:** Animals; biomechanics; bone wires; comparative study; finger injuries; fracture fixation, internal/methods; fracture fixation, intramedullary; metacarpus/injuries; osteotomy; tensile strength; torsion.

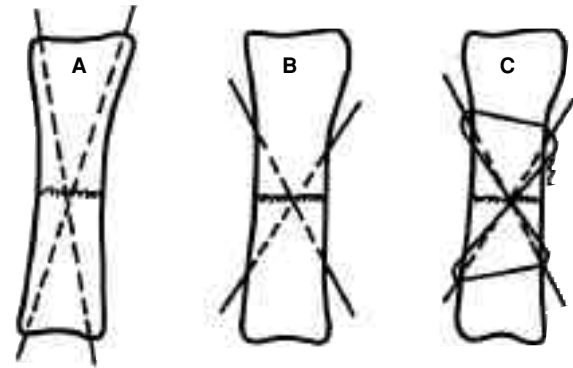
Ufak kemiklerin, özellikle elde falanks ve metakarpaların, instabil transvers kırıklarının cerrahi tedavisinde günümüzde en sık kullanılan yöntemlerden biri açık veya perkütan Kirschner (K)-teli fiksasyonudur.<sup>[1]</sup> Bu kırıklarda uygulanacak olan yöntemin en az insizyon ile ameliyat sonrası dönemde erken hareket verilebilecek en yüksek sağlamlıkta fiksasyon sağlaması, oluşabilecek eklem hareket kısıtlılığı riskini en düşük düzeye indirmek için gereklidir.<sup>[1,2]</sup> Yeterli sağlamlıkta olmayan fiksasyon sonrası başlanacak erken hareket ise iyileşme gecikmesi, deformite veya kaynamama komplikasyonlarına neden olabilecektir.<sup>[3]</sup> Fiksasyon türlerinin sağlamlığının objektif olarak karşılaştırılabileceği yöntemlerden biri de laboratuvar ortamında tek tip kemik üzerinde yapılan çalışmalardır.<sup>[4]</sup> Bu çalışmada, eldeki tübüler kemiklere benzerliğinden dolayı, tavuk kanadının humerus kemiğinde oluşturulan transvers osteotomilerde K-teli ve kombinasyonları şeklindeki fiksasyonların biyomekanik sağlamlıkları karşılaştırıldı.

### Gereç ve yöntem

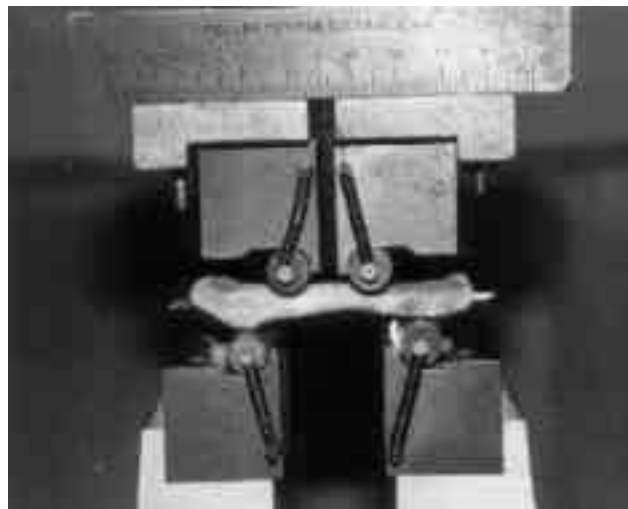
Çalışmada, tübüler yapısı açısından el kemiklerine benzerlik göstermesi nedeniyle, sağlıklı 15 tavuğun 30 humerus kemiği kullanıldı. Tavukların hiçbirine canlıyken deneysel amaçlı tıbbi müdahale yapılmadı. Elde edilen humerus kemikleri deneysel çalışma sonuçlanıncaya kadar normal salin solüsyonu içinde bekletildi. Kemiklerin elde edilmesi ile testin sonuçlanması arasında geçen süre 36 saat idi.

Kemikler rastgele yöntemle her biri beş kemikten oluşan altı gruba ayrıldı ve tüm kemiklere elektrikli testere ile middiafizer transvers osteotomi uygulandı. Osteotomi fiksasyonuna göre grupların dağılımı şöyle oldu: Grup 1, intramedüller 2 adet 0.035-inch K-teli; Grup 2, intramedüller 2 adet 0.045-inch K-teli; Grup 3, çapraz 2 adet 0.035-inch K-teli; Grup 4, çapraz 2 adet 0.045-inch K-teli; Grup-5, çapraz 2 adet 0.035-inch K-teli ve bunların üzerine 26 gauge monofilament paslanmaz cerrahi tel ile uygulanmış tension band wiring; Grup 6, çapraz 2 adet 0.045-inch K-teli ve bunların üzerine 26 gauge monofilament paslanmaz cerrahi tel ile uygulanmış tension band wiring (Şekil 1). Tüm gruplarda K-telleri kemiğe elektrikli matkap ile yerleştirildi. Osteotomilerin fiksasyonu, uygulama farklılığı olmaması için, sadece birinci yazar tarafından yapıldı.

**Mekanik test:** Tüm osteotomilerin fiksasyonu yapıldıktan sonra kemiklere, İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya ve Metalurji Fakültesi Instron Laboratuvarı'nda "Instron 1195" cihazı ile dört nokta eğme testi uygulandı (Şekil 2). Tension band wiring uygulanan gruplarda (grup 5 ve 6) tension band wiring uygulanan tarafta germe, diğer tarafta ise kompresyon kuvveti oluşacak şekilde test yapıldı. Tüm kemiklerde kuvvet uygulama hızı 2 mm/dak olacak şekilde ayarlandı. Örnek tipleri arasındaki geometrik farklılıklardan kaynaklanabilecek direnç farklılıkları, elde edilen verilerin aşağıda açıklaması yapılan standart bir denkleme uygulanması ile ortadan kaldırılarak eğilme rijiditesi değeri saptandı.<sup>[1,2]</sup>



Şekil 1. Osteotomize kemiklere uygulanan fiksasyon yöntemleri. A. İntramedüller fiksasyon (grup 1 ve 2); B. Çapraz fiksasyon (grup 3 ve 4); C. Çapraz K-teli ve 26-gauge monofilament paslanmaz cerrahi tel ile tension band wiring fiksasyonu (grup 5 ve 6).



Şekil 2. Dört nokta eğme testinin yapıldığı Instron 1195 cihazında osteotomize kemiğin görünümü.

$EI=(P/ ) (a^3/3-a^2L/4)$  eşitliğindeki karşılıklar aşağıdaki gibidir.

[ $EI =$  Eğilme rijiditesi ( $Nm^2$ );  $P =$  Uygulanan kuvvet ( $N$ );  $=$  Yüklenme noktasında oluşan aşağı doğru yer değiştirme ( $m$ );  $L =$  Kemiğin oturtulduğu tabakanın ayakları arasındaki uzaklık ( $m$ );  $a = (L -$  iki yük noktası arasındaki uzaklık)/2 ( $m$ )]

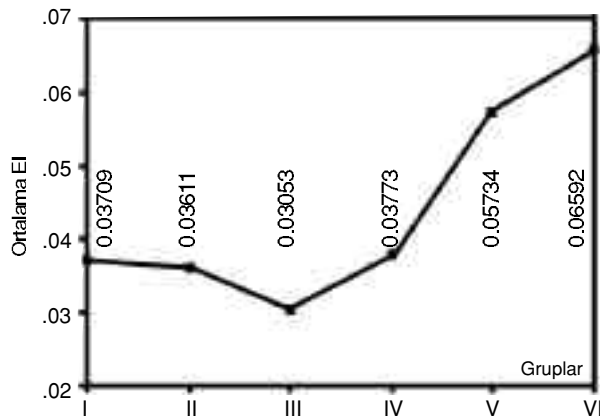
Uygulanan kuvvet değeri maksimum direnç noktasındaki kuvvet olarak kabul edildi. Tüm örnekler için "L" değeri 0.04 m ve "iki yük noktası arasındaki uzaklık" 0.02 m olarak sabit tutuldu.

Elde edilen eğilme rijiditesi (EI) değerlerinin ortalaması alınarak her grup için ortalama EI değeri hesaplandı. İstatistiksel analizler için SPSS (Statistical Package for Social Sciences) for Windows 11.0 programı kullanıldı. Verilerin değerlendirilmesinde tanımlayıcı istatistiksel yöntemlerin (ortalama, standart sapma) yanı sıra, niceliksel verilerin karşılaştırılmasında her bir gruptaki denek (tavuk kemiği) sayısının az olması ve grup varyanslarının homojen olmaması nedeniyle non-parametrik istatistiksel yöntem olan tek yönlü varyans analizi (Kruskal-Wallis), Mann-Whitney U-testi kullanıldı. Sonuçlar %95'lik güven aralığında, anlamlılık  $p<0.05$  düzeyinde, ileri derecede anlamlılık  $p<0.01$  düzeyinde değerlendirildi.

## Sonuçlar

Elde edilen ortalama EI değerleri açısından, en yüksek rijidite grup 6'da, en düşük rijidite ise grup 3'te bulundu (Şekil 3).

Gruplar arası farklılıkların istatistiksel olarak anlamlı bulunması ( $p=0.019$ ) sonucunda, grupların iki-



Şekil 3. Grupların ortalama eğilme rijiditesi (EI) değerlerinin dağılımı.

şerli karşılaştırmaları yapıldı. Grup 6 ile grup 1, 2, 3, 4 arasındaki ve grup 5 ile grup 3 ve 4 arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı bulundu ( $p<0.05$ ). Diğer gruplar arasında anlamlı farklılık bulunmadı ( $p>0.05$ ). Grupların karşılaştırılmasında bulunan "p" değerleri Tablo 1'de gösterildi.

İstatistiksel anlamlılık göz önüne alındığında, transvers osteotomilerin eğilme kuvvetlerine karşı gösterdikleri direncin, uygulanan teknikler kendi aralarında karşılaştırıldığında (grup 1 ve 2; grup 3 ve 4; grup 5 ve 6) genel olarak K-teli kalınlığından etkilenmediğini gösterdi. Ancak grup 6'nın ilk dört gruba göre istatistiksel anlamlılık gösteren rijiditesine karşılık, grup 5'in sadece grup 3 ve 4'e karşı anlamlılık gösteren rijiditesinin olması, 0.045-inch kalınlığında çapraz K-telleri ile uygulanan tension band wiring tekniğinin (grup 6), 0.035-inch'lik K-telleri ile uygulanana (grup 5) göre daha yüksek rijiditede olduğunu ortaya koydu. İntramedüller (grup 1 ve 2) ve çapraz (grup 3 ve 4) fiksasyonlar arasında anlamlı bir farklılık olmamasına karşın, grup 5'e göre karşılaştırıldığında intramedüller fiksasyonun (grup 1 ve 2) ( $p>0.05$ ), çapraz fiksasyona (grup 3 ve 4) ( $p<0.05$ ) göre daha rijid olduğu sonucuna varıldı.

İstatistiksel değerlendirmeler sonucunda, ortalama değerler ve standart sapmalar da göz önüne alınarak, eğilme kuvvetlerine karşı gösterilen direncin gruplar

Tablo 1. Grupların ikili karşılaştırılmalarında elde edilen p değerleri

Karşılaştırılan gruplar	p
1 2	0.830
1 3	0.830
1 4	0.750
1 5	0.075
1 6	<b>0.047*</b>
2 3	0.900
2 4	0.590
2 5	0.073
2 6	<b>0.046*</b>
3 4	0.290
3 5	<b>0.009*</b>
3 6	<b>0.009*</b>
4 5	<b>0.047*</b>
4 6	<b>0.032*</b>
5 6	0.120

\* $p<0.05$ ; + $p<0.01$

arasında artandan azalana göre sıralaması şöyle oldu: Grup 6>grup 5>(grup 1=grup 2)>(grup 3=grup 4).

## Tartışma

Çalışmamızda, eldeki ufak kemiklerin en sık karşılaşılan kırıklarından biri olan diafiz transvers kırıklarının cerrahi tedavisinde en sık uygulanan tekniklerden üç farklı fiksasyon tekniğinin (çapraz K-teli, intramedüller K-teli ve çapraz K-teli etrafında tension band wiring), altı değişik grupta laboratuvar analizleri yapılarak eğilme kuvvetlerine karşı dirençleri saptandı. Eldeki falanks ve metakarp kırıklarının en sık karşılaşılan komplikasyonlarından biri olan eklem hareket sertliğinin oluşmasının ancak en az yumuşak doku hasarı yapan ve yüksek rijiditede erken harekete olanak sağlayan fiksasyon teknikleri ile önlenemediği bilinmektedir.<sup>[1,5-7]</sup> Gerek kadavra gerekse hayvan kemikleri ile yapılan deneysel çalışmalar genelde farklı kemikler üzerinde farklı konfigürasyonları kapsadığından, bunların tam anlamıyla karşılaştırılması mümkün olmamaktadır.<sup>[8]</sup> Bu kemikler üzerinde yapılan laboratuvar çalışmaları, rijiditenin en yüksek olduğu fiksasyon yönteminin mini plak-vida ile osteosentez; en zayıf yöntemin ise çapraz K-teli fiksasyonu olduğu konusunda görüş birliği içindedir.<sup>[2-4,8]</sup> Ancak plak-vida ile yapılan osteosentez sonrası oluşan yumuşak doku hasarına bağlı eklem hareket kısıtlılığına sık rastlandığı da bildirilmektedir.<sup>[6,9]</sup>

Falanks ve metakarp kırıklarında implant yeterliliğine yol açan en önemli deforme edici kuvvetin eğilme kuvvetleri olduğu bilinmektedir.<sup>[1]</sup> Bu çalışmada da tavuk humerus kemiklerinde oluşturulan transvers osteotomilerin K-teli ve kombinasyonları ile yapılan fiksasyonlarında, yumuşak doku hasarı göz önüne alınmaksızın, laboratuvar analizleri ile eğilme kuvvetlerine karşı rijiditeleri hesaplanmıştır.

Çalışmamızda en yüksek rijiditenin sırasıyla 0.045 ve 0.035-inch'lik çapraz K-telleri ile birlikte uygulanan tension band wiring tekniği ile elde edildiğini ; bunun tek başına uygulanan çapraz ve intramedüller K-teli fiksasyonlarına göre daha rijid bir fiksasyon sağladığını saptadık. Bu sonuç Gould ve ark.<sup>[10]</sup> ile Rayhack ve ark.nın<sup>[4]</sup> yaptığı biyomekanik laboratuvar analizleri ile uyum göstermektedir. Çalışmamızda laboratuvar analizi sırasında tension band wiring uygulanmış olan osteotomilerde, tension band wiring uygulanan tarafa gerilme kuvveti, uygulanmayan tarafa ise kompresiyon kuvveti gele-

cek biçimde eğilme testi uygulandı. Bunun nedeni elde, fleksör kas kuvvetinin ekstansör kas kuvvetinden daha güçlü olmasından kaynaklanan palmarda kompresiyon, dorsalde ise gerilme kuvvetlerinin hakim olmasıdır.<sup>[5,7]</sup> Gerilme kuvvetlerini nötralize edebilmesi için, tension band wiring tekniğinin dorsalde uygulanması gerektiği belirtilmiş; bu şekilde uygulanan tension band wiring yönteminin en düşük düzeyde invazyon ile erken harekete olanak sağlayacak yeterli sağlamlıkta bir fiksasyon oluşturduğu bildirilmiştir.<sup>[5,7,8]</sup>

Çalışmamızda çapraz ve intramedüller fiksasyonlarda rijiditenin K-teli kalınlığından anlamlı derecede etkilenmediğini; tek başına çapraz K-telleri ile yapılan fiksasyonun en güçsüz fiksasyon yöntemi olduğunu saptadık. Bu sonucun da literatürdeki biyomekanik laboratuvar analizleri ile uyumlu olduğunu gördük.<sup>[2-4,8,11]</sup> Viegas ve ark.<sup>[2]</sup> yaptıkları biyomekanik çalışmada, transvers osteotomilerde iki adet K-teli ile yapılan çapraz fiksasyonun güçsüzlüğünü bildirmişler ve perkütan uygulamalarda 0.028-inch'lik dört adet K-teli ile yapılan çapraz fiksasyonu önermişlerdir. Literatürde de tek başına K-teli fiksasyonunun açık veya perkütan uygulanmasının yeterli rijiditeyi sağlayamadığı ve sıklıkla ameliyat sonrası immobilizasyona gerek duyulduğu bildirilmiştir.<sup>[9,12,13]</sup>

Çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçları açık cerrahi yapılacak transvers kırıklar açısından karşılaştırmak gerekmektedir. Çünkü bu çalışmada açık cerrahiye bağlı oluşacak yumuşak doku hasarı göz ardı edilmiştir ve belirtilen tekniklerin hepsinin perkütan uygulama olanağı yoktur. Çapraz K-telleri üzerine uygulanan tension band wiring tekniğinin sağladığı rijiditenin, çapraz ve intramedüller K-teli fiksasyonlarına göre daha yüksek olmasının sağladığı avantajlar, bu tekniğin ameliyat sonrası dönemde güvenli erken harekete olanak sağlaması, plak-vida uygulamasına göre daha az invaziv olması ve kullanılan implantların plak-vidaya göre daha kolay bulunabilen ucuz implantlar olmasıdır.

## Kaynaklar

1. Alexander H, Langrana N, Massengill JB, Weiss AB. Development of new methods for phalangeal fracture fixation. J Biomech 1981;14:377-87.
2. Viegas SF, Ferren EL, Self J, Tencer AF. Comparative mechanical properties of various Kirschner wire configurations in transverse and oblique phalangeal fractures. J Hand Surg [Am] 1988;13:246-53.

3. Black D, Mann RJ, Constine R, Daniels AU. Comparison of internal fixation techniques in metacarpal fractures. *J Hand Surg [Am]* 1985;10:466-72.
4. Rayhack JM, Belsole RJ, Skelton WH Jr. A strain recording model: analysis of transverse osteotomy fixation in small bones. *J Hand Surg [Am]* 1984;9:383-7.
5. Greene TL, Noellert RC, Belsole RJ. Treatment of unstable metacarpal and phalangeal fractures with tension band wiring techniques. *Clin Orthop* 1987;(214):78-84.
6. Page SM, Stern PJ. Complications and range of motion following plate fixation of metacarpal and phalangeal fractures. *J Hand Surg [Am]* 1998;23:827-32.
7. Safoury Y. Treatment of phalangeal fractures by tension band wiring. *J Hand Surg [Br]* 2001;26:50-2.
8. Jones WW. Biomechanics of small bone fixation. *Clin Orthop* 1987;(214):11-8.
9. Pun WK, Chow SP, So YC, Luk KD, Ngai WK, Ip FK, et al. Unstable phalangeal fractures: treatment by A.O. screw and plate fixation. *J Hand Surg [Am]* 1991;16:113-7.
10. Gould WL, Belsole RJ, Skelton WH Jr. Tension-band stabilization of transverse fractures: an experimental analysis. *Plast Reconstr Surg* 1984;73:111-6.
11. Vanik RK, Weber RC, Matloub HS, Sanger JR, Gingrass RP. The comparative strengths of internal fixation techniques. *J Hand Surg [Am]* 1984;9:216-21.
12. Thakore HK. Osteosynthesis for the unstable fracture of the hand. *J Hand Surg [Br]* 1986;11:417-21.
13. Collins AL, Timlin M, Thornes B, O'Sullivan T. Old principles revisited-traction splinting for closed proximal phalangeal fractures. *Injury* 2002;33:235-7.