



Kadavra önkollarında interosseöz membran ve radius başı ile ilgili biyomekanik bir çalışma

Yi-xing HUANG, Yu-jing TENG, Xian-hong YI, Jun PAN

Wenzhou Tıp Akademisi İkinci Hastanesi, Ortopedik Cerrahi Bölümü, Wenzhou, Çin

Amaç: Çalışmanın amacı interosseöz membran (IOM) ve radius başının biyomekanik özelliklerini değerlendirmek ve Essex-Lopresti yaralanmasının patomekaniğini araştırmak.

Çalışma planı: Test için insan kadavralarından elde edilmiş 12 taze donmuş erişkin üst ekstremitesi seçildi. Öncelikle 12 sağlam örnek sırasıyla pronasyon, supinasyon ve nötral pozisyonlarda biyomekanik test uygulamak amacıyla bir materyal test makinasına monte edildi. Örnekler her pozisyonda önkolun uzun eksenli boyunca 30 saniye süreyle 100 N'lik aksiyel yük uygulandı. Daha sonra 12 örnek rastgele iki gruba ayrıldı. Örneklerin 6'sında radius başı rezeke edildi. Diğer 6 örnekte IOM'un ortasındaki santral bant kesildi. Grupların hepsi aynı yöntemle test edildi. Son olarak, örneklerin hepsinde radius başı ve IOM eksize edilerek biyomekanik testler yapıldı.

Bulgular: Önkolun rotasyonel pozisyonu veya sadece IOM'un kesilmesinin longitudinal kayma üzerinde etkisi olmadı. Radius başının rezeksiyonundan sonra radiustaki longitudinal kayma anlamlı oranda arttı. IOM'un kesilmesinin radiusun kompresif katılığı üzerinde etkisi olmadı. Bununla birlikte, radiusun kompresif katılığı radius başının rezeksiyonundan sonra anlamlı oranda azaldı.

Çıkarımlar: Essex-Lopresti yaralanmasının en önemli nedeni IOM yaralanması ile birlikte görülen radius başı kırığı idi ve burada radius başı kırığı temel faktördü. Radius başının rezeksiyonu sonrasında önkolun longitudinal stabilitesini koruyan en önemli yapının ise IOM olduğu saptandı.

Anahtar sözcükler: Biyomekanik; Essex-Lopresti yaralanması; interosseöz membran; önkol; radius başı.

İnterosseöz membran (IOM), önkolda radiustan ulnaya kadar uzanan, iki kemik arasındaki boşluğu dolduran ve kemikleri birbirine bağlayan, derin plandaki önemli bir yapıdır. Bu zar membranöz bölüm, santral bir bant, aksesuar bantlar ve proksimal interösseöz banttandır.^[1] Essex-Lopresti yaralanması nadir görülen, eşzamanlı olarak radius başı kırığı, interösseöz membranın yırtılması ve distal radioulnar eklemin (DRUE) parçalanmasından oluşan multipl bir yaralanmadır. Radius başı kırıklarının yaklaşık %1'ini oluşturur.^[2] Bu yaralanmada sıklıkla klinik olarak yanlış tanı konmaktadır çünkü IOM rutin radyolojik yöntemlerle

görüntülenememektedir. Trousdale ve ark.^[3] sadece 5 IOM yaralanması olgusuna ilk başvuru sırasında doğru tanının konduğu 20 Essex-Lopresti yaralanması olgusunu incelemişlerdir. Yanlış tanı konması; radiusun yukarıya doğru kayması, DRUE'de instabilite, kaslarda zayıflık, kol bileğinde kronik ağrı, önkol rotasyonunda sınırlama ve dirsek fonksiyonunda bozulmaya yol açabilir.^[3-6]

Bu türde yaralanmaları daha iyi anlamak için birçok yazar IOM'un biyomekanik özelliklerini farklı açılardan araştırmıştır. Wallace ve ark.^[7] 11 kadavrada IOM'un ya-

Yazışma adresi: Dr. Jun Pan. Department of Orthopaedic Surgery, Second Affiliated Hospital of Wenzhou Medical College, 109 Xueyuan Road, Wenzhou, China.

Tel: +86-577-88002811 e-posta: hyxquality@163.com

Başvuru tarihi: 01.07.12 **Kabul tarihi:** 05.12.2012

©2013 Türk Ortopedi ve Travmatoloji Derneği

Bu yazının çevrimiçi İngilizce versiyonu
www.aott.org.tr adresinde
doi:10.3944/AOTT.2013.2967
Karekod (Quick Response Code):



pısı ve işlevi üzerinde çalışmışlardır. Pfaeffle ve ark.^[8] IOM'un sağlam olduğu, kesilmiş olduğu ve tekli ve çiftli fleksör karpi radialis allogreftleriyle rekonstrükte edildiği 12 kadavra önkolunda distal radius, distal ulna, IOM, proksimal radius ve proksimal ulnada etki gösteren proksimal radial migrasyon ve 3 boyutlu kuvvet vektörlerini ölçmüştür. Yaptıkları biyomekanik bir çalışmada Stable ve ark.^[9] IOM'un ve çeşitli rekonstrükte oluşumların yapısal özelliklerini değerlendirmişlerdir. Test edilen tüm greftlenmiş oluşumların yapısal açıdan sağlam IOM'a göre kalitesiz olduğu sonucuna varmışlardır. Bunlar IOM'un biyomekanik özelliklerini değerlendiren çalışmalardır. Buna karşılık, bu çalışmalarda radius başının etkileri araştırılmamıştır. Bu çalışmanın amacı hem IOM hem de radius başının biyomekanik özelliklerini değerlendirmek ve Essex-Lopresti yaralanmasının patomekaniğini araştırmaktır.

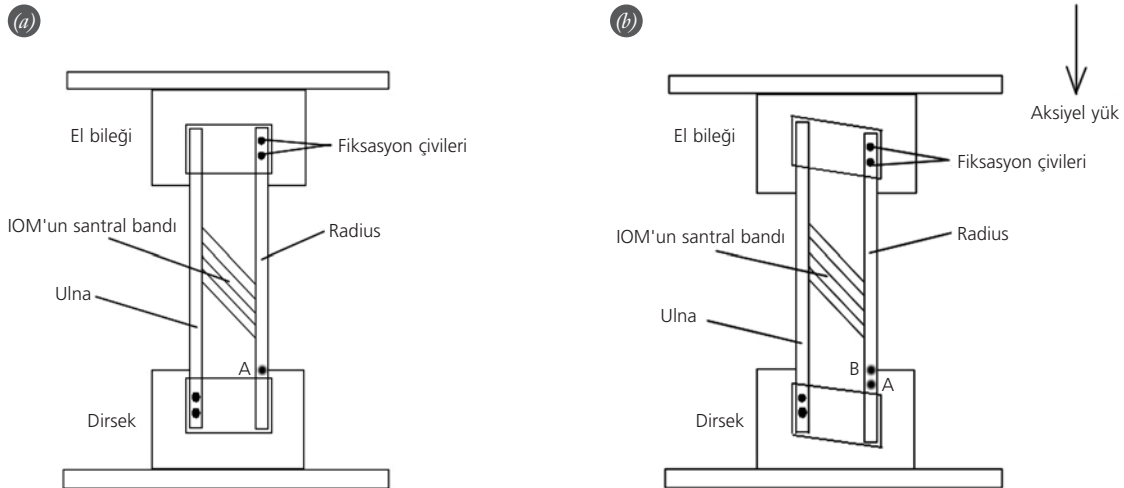
Gereç ve yöntem

Anatomi Bölümü'nün protokollerine uygun olarak yaşları 20 ile 54 (ortalama 32.7) arasında değişen insan kadavralarından 12 sağlam erişkin üst ekstremitesi alındı. Toplam 7 adet sağ, 5 adet sol üst ekstremitede vardı. Örneklerin hiçbirinde daha önce üst ekstremitede yaralanması olmamıştı. Örneklerin hepsi test zamanına kadar -20°C 'de taze dondurulmuş olarak saklandı. Daha sonra oda sıcaklığında çözüldü. Çalışma için kurumun İnceleme Kurulu'ndan onay alındı.

Deri, subkutanöz doku ve kasların hepsi radius ve ulnanın shaftlarını açığa çıkaracak şekilde alındı, bu arada IOM, dirsek ve el bileği eklemlerine dokunulmadı.

Üst ekstremitelerin amputasyonu proksimal uçta dirseğin 5 cm üzerinden gerçekleştirildi. El bileklerinin amputasyonu distal uçtan yapılırken, karpal kemiklere dokunulmadı. Kapitat ve lunat kemiklerden radiusun ilik boşluğuna doğru 4 mm çapında bir Steinman çivisi yerleştirildi. Başka bir Steinman çivisi de dirsek ekstansiyon halindeyken humerusun ilik boşluğundan ulnar ilik boşluğuna doğru yerleştirildi. Bu iki çivi bileğin ve dirseğin lateral yönde kaymasını sınırlamak amacıyla kullanıldı. Örnekler serum fizyolojik içeren gazlı bezle sarıldı. Kilitli plastik torbalar içine konarak daha sonra kullanılmak üzere -30°C 'de buzdolabında saklandı.

Örnekler buzdolabından çıkarılarak oda sıcaklığında çözüldü. Radius başı ve IOM'u sağlam olan 12 örnek ("sağlam grup" olarak adlandırıldı) çivilerle özel hazırlanan çerçevelere sabitlendi. Önkol sırasıyla pronasyon, supinasyon ve nötral pozisyonlarda olacak şekilde materyal test makinasında (MTS model 858, Minneapolis, MN, ABD) biyomedikal testler yapıldı (Şekil 1a ve b). Önkolun uzun aksı boyunca sabit olarak 100 N 'lik aksiyel bir yük uygulandı. Yük pozisyonların her birinde 30 saniye boyunca devam etti.^[8,10,11] Daha sonra 12 örnek rastgele iki ayrı gruba ayrıldı. Her grupta 6 örnek vardı. Bir grupta radius boynu lateral yaklaşımla ortaya çıkarılarak radius başı, baş ile boynun birleştiği yerden rezeke edildi. Eklem kapsülüne dikiş atıldı. Anüler ligaman ve IOM'a dokunulmadı. Bu gruba 'başın rezeke edildiği grup' adı verildi. Bir diğer grupta radius başına dokunulmadı, ancak önkol nötral pozisyondayken IOM'un santral bandı kesildi. Bu grup 'IOM'un kesildiği grup' olarak adlandırıldı. Her bir



Şekil 1. Materyal test makinesinde yapılan biyomekanik testin şeması. (a) Çivilerle özel olarak hazırlanmış çerçevelere sabitlenen ve radius başı ve interosseöz membranın (IOM) sağlam olduğu nötral pozisyonlu kadavra önkolu. (b) El bileğine önkolun longitudinal aksı boyunca aksiyel yük uygulandı. Radiusun longitudinal kayması A ve B noktaları arasındaki mesafe olarak tanımlandı.

gruba aynı yöntem kullanılarak sırasıyla pronasyon, supinasyon ve nötral pozisyonlarda biyomekanik test uygulandı. Son olarak, tüm örneklerde radius başı rezeke edildi ve IOM kesildi. Bu grup 'başın rezeke edildiği ve IOM'un kesildiği grup' olarak adlandırıldı. Daha sonra örneklerin hepsine sırasıyla pronasyon, supinasyon ve nötral pozisyonlarda biyomekanik test uygulandı. Veriler biraraya getirilerek materyal test makinesinden elde edilen kayıtlarla yük-kayma eğrisi oluşturuldu. Kompresif katılık yük-kayma eğrisine göre saptandı. Kompresif/longitudinal kaymanın doğrudan ölçümü 0.02 mm doğrulukta bir mikrometre kullanarak yapıldı (Şekil 1a ve b).

Elde edilen deneysel verilerin istatistiksel analizi SPSS 13.0 paket programı (SPSS Inc., Chicago, IL, ABD) kullanılarak yapıldı. Radius başının anatomik pozisyonu, IOM ve önkolun rotasyonel konumunun radiustaki kompresif/longitudinal kayma ve kompresif katılık üzerindeki etkileri Student-Newman-Keuls (SNK) testiyle analiz edildi. $p<0.05$ değeri istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

Bulgular

Radius başı ve IOM'un farklı anatomik pozisyonları ve önkolun farklı rotasyonel konumlarında radiusta kompresif/longitudinal kayma ve kompresif katılık oluşturuldu (Tablo 1). 'Başın rezeke edildiği ve IOM'un kesildiği grup'ta radiusun longitudinal kayması 'başın rezeke edildiği grup'takinden daha fazlaydı ($p<0.05$). 'Başın rezeke edildiği grup'taki radiusun longitudinal kayması ise 'IOM'un kesildiği grup' ve 'sağlam grup'takinden daha fazlaydı ($p<0.05$). Bununla birlikte, 'IOM'un kesildiği grup' ile 'sağlam grup' arasında istatistiksel bir farklılık yoktu ($p>0.05$). Grupların hiçbirinde pronasyon ile nötral pozisyonlar arasında radiusun longitudinal kay-

ması açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptanmadı ($p>0.05$). Buna karşılık, supinasyon pozisyonunun 'başın rezeke edildiği grup' ve 'başın rezeke edildiği ve IOM'un kesildiği grup'ta radiusun longitudinal kayması üzerinde etkisi olduğu saptandı ($p<0.05$; Şekil 2).

'Başın rezeke edildiği ve IOM'un kesildiği grup'taki kompresif katılık 'başın rezeke edildiği grup'takinden daha azdı ($p<0.001$). 'Başın rezeke edildiği grup'taki kompresif katılık ise 'IOM'un kesildiği grup' ve 'sağlam grup'takinden daha azdı ($p<0.001$). Bununla birlikte, 'IOM'un kesildiği grup' ile 'sağlam grup' arasında istatistiksel açıdan anlamlı farklılık yoktu ($p>0.05$). Grupların hiçbirinde pronasyon ile nötral pozisyonlar arasında istatistiksel açıdan anlamlı farklılığa rastlanmadı ($p=0.06$). Grupların hepsinde supinasyon pozisyonundaki kompresif katılık pronasyon ve nötral pozisyonlardakinden daha fazlaydı ($p<0.001$). Radius başının anatomik pozisyonu ve önkolun rotasyonel konumunun radiusun kompresif katılığı üzerinde sinerjik etkisinin olmadığı saptandı ($p=0.69$; Şekil 3).

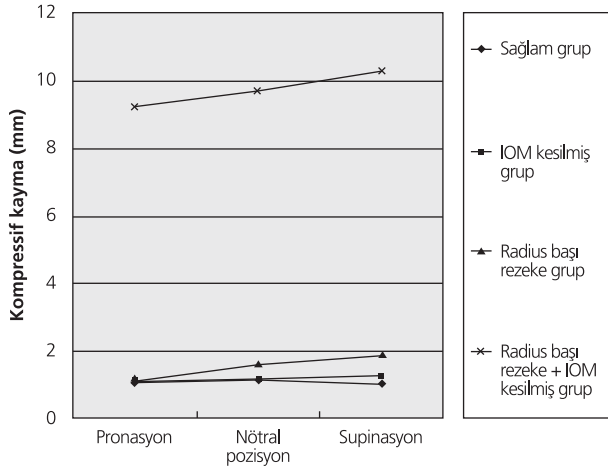
Tartışma

Essex-Lopresti yaralanmaları genellikle el bileği, önkol ve nihayetinde dirsek üzerinde longitudinal bir sıkıştırma kuvveti yaratan uzanmış durumdaki el üzerine yüksek enerjili düşme sonucunda oluşur. Bu güçlü longitudinal sıkıştırma kuvveti, radius başının deplase olmasına ve kırığına ve kayma birlikte IOM rüptürüne yol açar.^[9,12] Essex-Lopresti yaralanmasında başlarda DRUE'de gözle görülür bir hasar olmayabilir, ancak IOM'un santral bandı bir ölçüde hasar görebilir, radiusun proksimal uca doğru yer değiştirmesine neden olabilir.

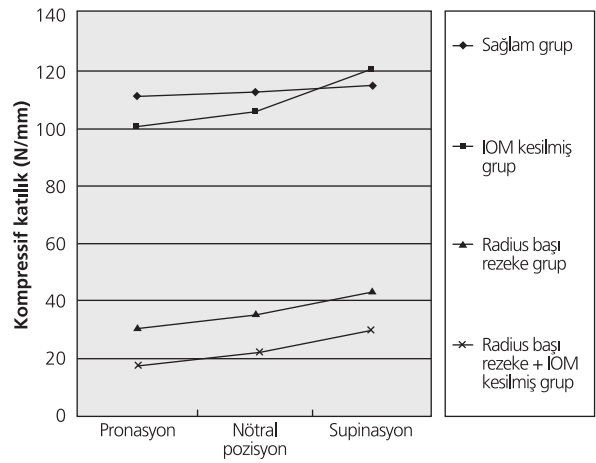
İnterosseöz membran el bileğinden dirseğe kompresif yük transferinde önemlidir. Distal radiulnar ek-

Tablo 1. Önkolun farklı anatomik ve rotasyonel pozisyonlarındaki kompresif kayma ve katılık.

Anatomik konum	Rotasyonel konum	Kompresif yer değiştirme (mm)	Kompresif katılık (N/mm)
Sağlam durumda (n=12)	Pronasyon	1.08±0.06	111.23±7.23
	Nötral pozisyon	1.15±0.07	112.71±11.10
	Supinasyon	1.05±0.17	114.99±5.10
Baş korunmuş + zar kesilmiş durumda (n=6)	Pronasyon	1.09±0.03	100.52±0.65
	Nötral pozisyon	1.16±0.04	105.72±2.27
	Supinasyon	1.26±0.02	120.40±1.11
Baş rezeke + zar korunmuş durumda (n=6)	Pronasyon	1.41±0.62	30.97±1.59
	Nötral pozisyon	1.63±0.85	35.49±3.42
	Supinasyon	1.89±1.18	43.52±1.49
Baş rezeke + zar kesilmiş durumda (n=12)	Pronasyon	9.24±0.08	17.78±2.21
	Nötral pozisyon	9.72±0.04	22.14±6.21
	Supinasyon	10.30±0.22	29.93±0.89



Şekil 2. Önkolun farklı anatomik ve rotasyonel pozisyonlarında radiusun kompresif kayması (IOM: Interosseöz membran).



Şekil 3. Önkolun farklı anatomik ve rotasyonel pozisyonlarında radiusun kompresif katılığı (IOM: Interosseöz membran).

lemde radius kompresif yükün yaklaşık %80'ini, ulna ise yaklaşık %20'sini taşır. Proksimal radioulnar ekleminde ise radius kuvvetin yaklaşık %60'ını, ulna %40'unu üstlenmiştir.^[13] Bu veriler önkola aksiyel olarak yüklenildiğinde IOM'a baskı altında yüklenme olduğunu göstermektedir. Radiustan ulnaya oluşan bu distalden proksimale yük transferi proksimal radius ve radius başının yükünü alır. Interosseöz membran aynı zamanda radius ve ulnayı birlikte çekmek için önkolda enine de hareket ederek, iki kemikteki esneme gerilimini azaltıp stabilize edici bir sıkıştırma kuvveti uygular. Sağlam bir IOM radius başı rezekte edildiğinde radiusun proksimal migrasyonunu sınırlamaya yardımcı olabilir.^[14-16]

Bu çalışmada elde edilen bulgular IOM'un santral bandının kesilmesinin, radius ve ulna sağlam olduğunda radiusun longitudinal kayması ve önkolun longitudinal stabilitesi üzerinde fazla etkisi olmadığını göstermiştir. Bununla birlikte, radius başının rezeksiyonu sonrasında radiusun longitudinal deplasmanı anlamlı bir biçimde artarken, önkolun longitudinal stabilitesi belirgin derecede azalmıştır. Bu durum önkolun longitudinal stabilitesini koruyan en önemli yapının radius başı olduğunu ortaya koymuştur. Bu sonuç daha önce yapılan bazı çalışmaların bulgularıyla örtüşmektedir.^[17,18] Interosseöz membranın santral bandı kesildiğinde bu değişim daha da belirgin olmaktadır. Bu durum radius başının kesilmesinin ardından önkolun longitudinal stabilitesini koruyan en önemli yapının IOM'un ortasındaki santral bant olduğunu göstermiştir. Hotchkiss ve ark.^[19] radius başının eksizyonundan sonra IOM'un toplam longitudinal katılığının %71'inden IOM'un santral bandının sorumlu olduğunu saptamışlardır. Rabinowitz ve ark.^[20] IOM'un orta parçasının proksimal radius migrasyonuna engel görevi gören önemli bir yapı olduğunu göstermişlerdir. Kadavralar-

da yapılan bir çalışmada, Wallace ve ark.^[7] da IOM'un santral bandının radius başının rezeksiyonunun ardından radiusun proksimal migrasyonunun başlıca engelleyicisi olduğunu saptamışlardır. Burada elde edilen bulgular genellikle bizim bulgularımıza benzerdir.

Yapılan çeşitli çalışmalarda IOM'un önkol rotasyonuna göre gerginliğini ve yük dağılımını incelenmiştir. Pfaeffle ve ark.^[8] IOM'nin önkolun sadece longitudinal yük transferinde değil, aynı zamanda önkolun transvers stabilitesinin devamlılığında da rol oynadığını göstermişlerdir. Manson ve ark.^[21] IOM'un gerginlik dağılımının önkolun rotasyonuyla değiştiğini ve en yüksek gerginliğin nötral rotasyonda gözlemlendiğini saptamışlardır. Biz bu çalışmada, IOM ve radius başının önkolun farklı anatomik ve rotasyonel konumlarında biyomekanik özelliklerini araştırdık. Önkolun rotasyon durumunun radiusun kompresif sertliği üzerinde etkisi varken, radiusun longitudinal kayması üzerinde etkisi olmadığını saptadık. Supinasyon pozisyonundaki kompresif katılık, grupların hepsinde, pronasyon ve nötral pozisyonlardakinden daha fazla idi. Radius başının anatomik konumu ve önkolun rotasyonel konumunun radiusun kompresif katılığı üzerinde sinerjik etkisi yoktu. Bu bulgular Essex-Lopresti yaralanmasına sadece longitudinal kuvvetin neden olmadığını, burada rotasyonel zorlamanın da rol oynayabileceğini göstermiştir.

Buna karşılık, çalışmamızın çeşitli sınırlamaları vardı. El bileği ve dirseğin laterale kaymasını sınırlayabilmek amacıyla distal radyal ve proksimal unlar ilik boşluklarına birer adet Steinman çivisi yerleştirildi. Bunun çalışmanın bulguları üzerinde bir etkisi olup olmadığı bilinmemektedir. Ayrıca biyomekanik testler sadece aksiyel yükle gerçekleştirildi. Başka herhangi bir yük şekli test edilmedi. Bu konuların daha ayrıntılı olarak incelenmeye değer olduğunu düşünüyoruz.

Sonuç olarak, bu çalışmada önkolun farklı anatomik ve rotasyonel pozisyonlarında hem IOM hem de radius başının biyomekanik özellikleri değerlendirilmiş, IOM yaralanmasıyla birlikte radius başı kırığının Essex-Lopresti yaralanmasının önemli bir nedeni olduğu ve temel faktörün radius başı kırığı olduğu gösterilmiştir. İnterosseöz membran ise radius başının rezeksiyondan sonra önkolun longitudinal stabilitesini koruyan en önemli yapı olarak değerlendirilmiştir.

Çıkar Örtüşmesi: Çıkar örtüşmesi bulunmadığı belirtilmiştir.

Kaynaklar

1. Skahan JR 3rd, Palmer AK, Werner FW, Fortino MD. The interosseous membrane of the forearm: anatomy and function. *J Hand Surg Am* 1997;22:981-5.
2. Levin PD. Fracture of the radial head with dislocation of the distal radio-ulnar joint: case report. Treatment by prosthetic replacement of the radial head. *J Bone Joint Surg Am* 1973; 55:837-40.
3. Trousdale RT, Amadio PC, Cooney WP, Morrey BF. Radio-ulnar dissociation. A review of twenty cases. *J Bone Joint Surg Am* 1992;74:1486-97.
4. Duckworth AD, Watson BS, Will EM, Petrisor BA, Walmsley PJ, Court-Brown CM, et al. Radial shortening following a fracture of the proximal radius. *Acta Orthop* 2011; 82:356-9.
5. Jungbluth P, Frangen TM, Arens S, Muhr G, Källicke T. The undiagnosed Essex-Lopresti injury. *J Bone Joint Surg Br* 2006; 88:1629-33.
6. Dodds SD, Yeh PC, Slade JF 3rd. Essex-lopresti injuries. *Hand Clin* 2008;24:125-37.
7. Wallace AL, Walsh WR, van Rooijen M, Hughes JS, Sonnabend DH. The interosseous membrane in radio-ulnar dissociation. *J Bone Joint Surg Br* 1997;79:422-7.
8. Pfaeffle HJ, Stabile KJ, Li ZM, Tomaino MM. Reconstruction of the interosseous ligament restores normal forearm compressive load transfer in cadavers. *J Hand Surg Am* 2005;30: 19-25.
9. Stabile KJ, Pfaeffle J, Saris I, Li ZM, Tomaino MM. Structural properties of reconstruction constructs for the interosseous ligament of the forearm. *J Hand Surg Am* 2005;30:312-8.
10. Sellman DC, Seitz WH Jr, Postak PD, Greenwald AS. Reconstructive strategies for radioulnar dissociation: a biomechanical study. *J Orthop Trauma* 1995;9:516-22.
11. Kam CC, Jones CM, Fennema JL, Latta LL, Ouellette EA, Evans PJ. Suture-button construct for interosseous ligament reconstruction in longitudinal radioulnar dissociations: a biomechanical study. *J Hand Surg Am* 2010;35:1626-32.
12. Hargadon EJ, Porter ML. The Essex-Lopresti injury: a variation. *J Hand Surg Br* 1988;13:450-2.
13. Halls AA, Travill A. Transmission of pressures across the elbow joint. *Anat Rec* 1964;150:243-7.
14. Birkbeck DP, Failla JM, Hoshaw SJ, Fyhrie DP, Schaffler M. The interosseous membrane affects load distribution in the forearm. *J Hand Surg Am* 1997;22:975-80.
15. Markolf KL, Laney D, Yang S, Meals R, Hotchkiss R. Radioulnar load-sharing in the forearm. A study in cadavera. *J Bone Joint Surg Am* 1998;80:879-88.
16. Pfaeffle HJ, Fischer KJ, Manson TT, Tomaino MM, Woo SL, Herndon JH. Role of the forearm interosseous ligament: is it more than just longitudinal load transfer? *J Hand Surg Am* 2000;25:683-8.
17. Morrey BF, An KN, Stormont TJ. Force transmission through the radial head. *J Bone Joint Surg Am* 1988;70:250-6.
18. Shepard MF, Markolf KL, Dunbar AM. Effects of radial head excision and distal radial shortening on load-sharing in cadaver forearms. *J Bone Joint Surg Am* 2001;83-A:92-100.
19. Hotchkiss RN, An KN, Sowa DT, Basta S, Weiland AJ. An anatomic and mechanical study of the interosseous membrane of the forearm: pathomechanics of proximal migration of the radius. *J Hand Surg Am* 1989;14:256-61.
20. Rabinowitz RS, Light TR, Havey RM, Gourineni P, Patwardhan AG, Sartori MJ, et al. The role of the interosseous membrane and triangular fibrocartilage complex in forearm stability. *J Hand Surg Am* 1994;19:385-93.
21. Manson TT, Pfaeffle HJ, Herndon JH, Tomaino MM, Fischer KJ. Forearm rotation alters interosseous ligament strain distribution. *J Hand Surg Am* 2000;25:1058-63.