



Kienböck hastalığı tedavisinde sınırlı karpal füzyonların yük aktarma özelliklerinin biyomekanik analizi

Biomechanical analysis of load transmission characteristics of limited carpal fusions used to treat Kienböck's disease

İzge GÜNAL,¹ Özal ÖZCAN,¹ Bahadır UYULGAN,² Önder BARAN,¹ Candan ARMAN,³ Vasfi KARATOSUN¹

Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi, ¹Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı, ²Anatomi Anabilim Dalı; ³Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü

Amaç: Kienböck hastalığı tedavisinde kullanılan sınırlı karpal füzyonların lunatum üzerindeki yükü azaltarak etki ettikleri düşünülmesine karşın, biyomekanik çalışmalar kapitohamat füzyonunda lunatum yükünün arttığını göstermektedir. Bu deneysel çalışma bu çelişkiyi aydınlatmak amacıyla planlandı.

Çalışma planı: Bu biyomekanik çalışmada, beş taze kadavra el bileğinde, 140 ve 210 newtonluk (N) yüklenmeler altında sağlam eklemlerle ve sınırlı karpal füzyonlarda (skafotrapeziotrapezoid, skafokapitat, kapitohamat) nötral, radial ve ulnar deviyasyonda yük dağılımları incelendi.

Sonuçlar: Yüklenme 140 N iken, skafotrapeziotrapezoid ve skafokapitat füzyon sonrasında her pozisyonda lunatuma gelen yüklerde azalma, kapitohamat füzyon sonrasında artış görüldü. Yüklenme 210 N'ye çıkarıldığında, yüklerin dağılımı sağlam el bileğinde elde edilen değerlerden farklı değildi. Her iki yüklenme altında da, ulnar deviyasyonda iken lunatumun anlamlı derecede daha fazla yük altında kaldığı görüldü.

Çıkarımlar: Bu sonuçlar, 210 N'lik yüklenme altında, sınırlı karpal füzyonların el bileğindeki yük dağılımını değiştirmediklerini göstermektedir. Kienböck hastalığı etyolojisinde ulnar deviyasyon yüklenmesi olduğu ve sınırlı karpal füzyonların el bileği yüklenme özelliklerini değiştirerek değil, ulnar deviyasyonu kısıtlayarak etki ettiği düşünülebilir.

Anahtar sözcükler: Artrodez/yöntem; biyomekanik; kadavra; karpal kemikler/cerrahi; osteokondrit/fizyopatoloji/cerrahi; radius/cerrahi; hareket açıklığı, eklem; semilunar kemik/cerrahi; stres, mekanik; ulna/cerrahi; el bileği eklemi/fizyopatoloji/cerrahi.

Objectives: Although limited carpal fusions used in the treatment of Kienböck's disease are thought to act by decreasing the loads on the lunate, biomechanical studies show that capitohamate fusion acts oppositely to what is expected. This experimental study was designed to resolve this paradox,

Methods: In a biomechanical cadaveric study, load transmissions at the radioulnacarpal joint were investigated under 140 and 210 newtons of load with three wrist postures, namely, neutral, ulnar and radial deviations, in five intact wrists and after scaphotrapeziotrapezoid, capitohamate, and scaphocapitate fusions.

Results: Under 140 newtons of load, the loads imposed to the lunate decreased following scaphotrapeziotrapezoid and scaphocapitate fusions, but increased after capitohamate fusion. However, when the load was increased to 210 newtons, there were no differences between intact wrists and limited carpal fusions in respect to the loads exerted on the lunate. In all the situations, the lunate was subjected to a significantly greater load in ulnar deviation.

Conclusion: These results suggest that limited carpal fusions do not alter load transmission characteristics of the wrist joint under 210 newtons of load. The etiology of the Kienböck's disease seems to be related to an overload in ulnar deviation and the beneficial effect of limited carpal fusions seems to be associated with restricted ulnar deviation of the wrist rather than load transmission characteristics.

Key words: Arthrodesis/methods; biomechanics; cadaver; carpal bones/surgery; osteochondritis/physiopathology/surgery; radius/surgery; range of motion, articular; semilunar bone/surgery; stress, mechanical; ulna/surgery; wrist joint/physiopathology/surgery.

Lunatum kemiği avasküler nekrozunun, tekrarlayan travmalarla birlikte kemiğin kompresyonuna bağlı olarak geliştiği genelde kabul gören bir teori- dir.^[1,2] Buna bağlı olarak, el bileğine gelen yükleri lunatumdan uzaklaştırmak amacıyla, eklem eşitleme (radial kısaltma veya ulnar uzatma) ameliyatları veya skafotrapeziotrapezoid (STT), skafokapitat (SK) veya kapitohamat (KH) gibi sınırlı karpal füzyonlar önerilmiş ve her bir ameliyatla ilgili de çok iyi klinik sonuçlar yayınlanmıştır.^[3-6] Ancak, gerek eklem eşitleme ameliyatlarının, gerekse STT ve SK füzyonlarının lunatum üzerine gelen yükleri azalttığı biyomekanik çalışmalarda gösterilmesine karşın, aynı çalışmalarda KH füzyonunun etkinliği gösterilemediği gibi, lunatuma gelen yüklerde artış dahi saptanmıştır.^[2,7,8] Bu çalışmayı, belirtilen çelişkiyi çözmek ve sınırlı karpal füzyonların Kienböck hastalığı tedavisindeki etki mekanizmasını açıklayabilmek amacıyla planladık.

Gereç ve yöntem

Çalışmada beş adet taze kadavra üst ekstremité örneği kullanıldı. Gerek fizik bakıda gerekse çekilen grafilerde herhangi bir karpal patolojiye veya eski bir kırığa rastlanmadı. Çalışmada, dorsal orta hat insizyonu ile radioulnokarpal, STT, SK ve KH eklemlere ulaşıldı ve eklem kapsülü kesilerek radioulnokarpal eklem açıldı.

Örnekler deney için yüklenme cihazına yerleştirilirken, yüklerin metakarp başları arasında düzgün dağılımını sağlamak için metakarp başları ve cihaz arasına poliüretan pedler konuldu (Şekil 1). Ayrıca, açılı pedlerle de ulnar ve radial deviyasyonda yüklenmeler gerçekleştirildi.

Daha sonra radioulnokarpal eklem basınca duyarlı filmler (Fuji Prescal film, ABD) yerleştirildi. Tüm çalışma boyunca *superlow* (0.5-2.5 MPa) filmler kullanıldı. Her örneğe üç pozisyonda (25 derece ulnar deviyasyon, nötral, 15 derece radial deviyasyon) 15 saniye boyunca 140 ve 210 Newton (N) yüklenme yapıldı. Daha sonra bir veya iki adet staple kullanılarak STT, SK ve KH füzyonları oluşturulup deneyler tekrar edildi.

Basınca duyarlı filmler, 300 dpi ve 256 renk çözünürlükte, kalibrasyon şeridi ile beraber tarayıcıdan geçirilip, Lucia 4.21 bilgisayar programında basınç haritaları oluşturuldu. Sonra ulnotriquetral, ulnolunat, radiolunat, radioskafoid ve ulnar deviyasyonda

radiotrapezal eklemdaki yük oranları hesaplandı. İstatistik değerlendirmede Wilcoxon signed-rank testi kullanıldı.

Sonuçlar

Yüklenme 140 N iken radioulnokarpal eklemlerde bulunan yük dağılım yüzdeleri Tablo 1’de verildi. Sağlam eklemden, nötral pozisyonda yükün önemli kısmı (%46.2) radioskafoid eklemden geçmekteydi. Radial deviyasyonda bu yükler %65.0’a kadar artarken, el bileği ulnar deviyasyona getirildiğinde belirgin bir biçimde azalmakta ($p<0.05$) ve yükün önemli kısmı radiolunat eklemine aktarılmaktaydı (%11.5-%41.0). Radial deviyasyonda, belirli oranda yük taşıyan radiotrapezoid (%12) ve ulnolunat (%9.5) eklemler, el bileği ulnar deviyasyona getirildiğinde, hiç yük almıyorlardı (Tablo 1).

Skafotrapeziotrapezoid ve SK füzyonu yapıldığında, lunatuma, ulnolunat ve radiolunat eklem aracılığıyla gelen yükler nötral ve radial deviyasyonda azalırken, ulnar deviyasyonda artıyordu ($p<0.05$). Kapitohamat füzyonu sonrasında da lunatuma gelen yükler nötral ve belirgin bir biçimde ulnar deviyasyonda artarken, yine radial deviyasyonda azalıyordu (Tablo 1).

Deneyler 210 N yük verilerek tekrarlandığında (Tablo 1), sağlam radioulnokarpal eklemlere gelen



Şekil 1. Çalışmada kullanılan yüklenme düzeneği.

Tablo 1. 140 ve 210 N yüklenmelerde radioulnokarpal eklemdaki yük dağılım yüzdeleri

Eklem	Sağlam			STT füzyonu			SK füzyonu			KH füzyonu		
	N	R	U	N	R	U	N	R	U	N	R	U
140 Newton*												
Ulnotriquetral	12.8±1.3	5.5±0.5	47.5±5.0	7.7±0.8	4.4±0.4	46.4±5.0	8.4±1.0	4.6±0.5	36.4±3.7	7.7±0.8	3.9±0.3	28.7±3.2
Ulnolunat	13.0±1.2	9.5±1.0	–	11.8±2.1	9.8±1.0	–	11.2±1.1	8.3±1.2	–	15.3±1.6	12.2±1.1	–
Radiolunat	28.0±3.1	8.0±1.0	41.0±4.2	24.2±2.5	7.2±1.0	44.4±4.2	22.3±2.4	11.3±1.2	38.4±4.2	33.2±3.3	17.3±1.6	48.3±5.2
Radioskafoid	46.2±5.2	65.0±7.1	11.5±1.2	56.3±6.1	68.6±6.7	9.6±1.1	58.1±6.2	71.6±6.9	25.2±2.7	43.8±4.6	63.3±6.4	23.0±2.4
Radiotrapezial	–	12.0±1.1	–	–	10.0±1.3	–	–	4.2±0.5	–	–	3.3±0.4	–
210 Newton**												
Ulnotriquetral	13.1±1.2	5.5±0.5	45.2±5.3	12.4±1.4	5.6±0.6	44.4±3.9	14.2±1.6	5.6±0.6	44.7±4.2	14.3±1.3	5.4±0.5	43.8±4.4
Ulnolunat	12.9±1.4	9.8±1.2	–	12.5±1.3	10.1±1.1	–	13.3±1.2	9.9±1.1	–	12.2±1.3	10.2±1.0	–
Radiolunat	28.6	8.6±1.2	39.3±4.2	27.3±3.2	8.2±1.3	41.3±5.0	29.3±3.3	8.3±1.0	41.8±4.2	30.1±3.1	8.6±1.2	41.7±3.9
Radioskafoid	45.4±5.2	64.2±6.5	15.5±2.1	47.8±5.3	62.2±6.4	14.3±1.6	43.2±4.2	65.6±6.7	13.5±1.4	43.4±4.2	64.4±6.5	13.5±1.4
Radiotrapezial	–	11.9±1.2	–	–	13.9±1.3	–	–	10.6±1.2	–	–	11.4±0.9	–

* Tüm veriler, sağlam el bileği ile karşılaştırıldığında belirgin farklılık göstermektedir ($p<0.05$). ** Sağlam el bileği ile karşılaştırıldığında belirgin bir farklılık yoktur ($p>0.05$). STT: Skafoitrapeziotrapezoid; SK: Skafokapitat; KH: Kapitoamat; N: Nötral; R: Radial deviasyon; U: Ulnar deviasyon.

yükler, 140 N'den istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermedi ($p>0.05$). Benzer biçimde, lunatuma gelen yükler radial deviasyonda azalırken, ulnar deviasyonda artıyordu (Tablo 1). Ancak, füzyonlar sonrası her pozisyonda yük dağılım oranı, sağlam el bileğinden farklılık göstermiyordu. Yüz kırk N'lik yüklemde, STT ve SK füzyonlarının lunatumu yükten kurtarıcı ve KH füzyonunun yükü artırıcı etkisi de kayboluyordu (Tablo 1).

Tartışma

Kienböck hastalığının etyopatogenezinin tam olarak aydınlatılamamasına karşın, en sık kabul gören teori, tekrarlayan travmalarla kemiğin kompresyonudur.^[1,2] Bu teoriye dayanılarak geliştirilen sınırlı karpal füzyon ameliyatlarıyla başarılı sonuçlar bildirilmiş^[5-8] ve bu ameliyatların etkinliği biyomekanik çalışmalarla da kanıtlanmıştır.^[2,7-10] Ancak, bunlar KH füzyonu için geçerli değildir; çünkü, KH ile çok iyi klinik sonuçlar alınmasına^[4] karşın, biyomekanik çalışmalarda bu füzyon tekniği ile, değil lunatuma gelen yükün azalması, aksine arttığı gösterilmiştir.^[2,7-10] Teori ve pratik arasındaki bu ikilem, teorisinin yeniden ele alınmasını gerektirmektedir.

Lunatumu yükten kurtarıcı cerrahi işlemleri irdeleyen deneysel veya teorik çalışmalarda 100-140 N

yük kullanıldığı görülmektedir.^[2,7-11] Buna gerekçe olarak, bir kilogramlık güçle yumruk sıkıldığında oluşan yükün 100-140 N arasında oluşu gösterilmektedir.^[8] Ancak, Kienböck hastalığını oluşturmak için ne kadar yüklem gerektiğini gösteren bir bulgu olmadığı gibi, bu yüklem, kuvvetli yumruk hareketinde oluşan 200-250 N'ye dek çıkabilmektedir.^[12] Çalışmamızda, deneyleri 140 ve 210 N yük altında tekrarladık. Yüz kırk N yükte elde edilen sonuçlar, literatürdeki diğer çalışmalarla benzer sonuçlar verdi. Yani, nötral pozisyonda STT ve SK füzyonları lunatumu yükten kurtarıcı olarak, KH füzyonu lunatumun yükünü artırıyor (Tablo 1). Ancak, yüklem %50 oranında artırılıp 210 N'ye çıkıldığında, STT ve SK füzyonlarının avantajı ve KH füzyonunun dezavantajı kaybolup, radioulnokarpal eklemdaki yük dağılımı sağlam el bileğiyle farklılık göstermiyordu (Tablo 1). Bu değişim, metakarpalarla el bileği arasındaki eklem sayısı ile açıklanabilir. Sağlam el bileğinde yük, karpometakarpal, intermetakarpal ve radioulnokarpal eklemleri, yani, üç eklemi geçerek ilerlemektedir. Skafoitrapeziotrapezoid ve SK füzyonlarında ise proksimal ve distal karpal sıralar arasında füzyon yapıldığından, metakarplardan skafoide olan eklem sayısı azalmakta ve skafoid, lunatuma göre daha fazla yük taşımaktadır. Yük tüm eklemler arasında

kollaps yaratacak kadar artırıldığında ise, sonuçlar sağlam el bileğinden farklı olmamaktadır. Kapito-hamat füzyonunda ise, füzyon yapılan kemiklerin her ikisi de distal sırada bulunduğundan, yüklenme sırasında yükün geçtiği eklem sayısında azalma olmamaktadır. Ancak, lunatuma gelen yükler esas olarak kapitatumdan aktarıldığından ve KH füzyonunda hamatumun yükü de kapitatum aracılığıyla lunatuma geldiğinden, lunatumun yükünde bir miktar artış görülmektedir. Yük kollaps yapabilecek ölçüde artırıldığında ise, sonuç sağlam el bileği ve diğer sınırlı füzyonlardan farklı olmamaktadır.

Çalışmamızın sonuçları 210 N yük altında, karpal füzyonların lunatuma gelen yükü değiştirmedini göstermektedir. Ancak, yüklenme miktarı ne olursa olsun, ulnar deviyasyonda lunatuma gelen yükler belirgin bir biçimde artmakta ve bu durum, Kienböck etyolojisinde ulna deviyasyon yüklenmesinin yer alabileceğini göstermektedir. Karpal füzyonların, ulnar deviyasyonu kısıtlayıp kısıtlamadığı konusunda elimizde çok fazla bilgi yoktur; çünkü, sıklıkla kullanılan değerlendirme sistemlerinde ameliyat sonrası ulnar deviyasyon derecesi yer almamaktadır.^[13,14] Ancak, Douglas ve ark.nın^[15] yaptığı deneysel çalışmada, KH füzyonu dışındaki diğer karpal füzyonların el bileği hareketlerini her yönde kısıtladığı bulunmuştur. Yazarlar, ameliyat sonrası immobilizasyon süresini ve oluşan skar dokusunu göz önüne alarak, gerçek cerrahi işlemler sonrası oluşan hareket kısıtlılığının deneysel çalışmalardakinden az olmayacağını vurgulamışlardır.^[15]

Aslında, Kienböck hastalığının aşırı ulnar deviyasyon zorlaması sonucu olduğunu düşünmek için başka nedenler de vardır. Günlük yaşam aktivitelerinde, el bileği ulnar deviyasyona gitmekte, lunatum skafoidden daha fazla yük taşımakta^[11] ve kavrama gücü ulnar deviyasyonda daha fazla olmaktadır.^[16] Çalışmamızda, yükler %50 oranında artırıldığında sınırlı karpal füzyonların radioulnokarpal eklemden yük dağılımını değiştirmede göz önüne alınacak olursa, sınırlı karpal füzyonların ulnar deviyasyonu kısıtlayarak etkili olduğu düşünülebilir. Bu bulgular, Kienböck hastalığı tedavisinde kullanılan eklem eşitleme işlemlerinin sonuçlarıyla da uyum içerisindedir. Gerek radial kısaltma gerekse ulnar uzatma işlemlerinin ulnar deviyasyonu kısıt-

ladığı gösterilmiştir.^[17,18] Ayrıca, ulna uzunluğunun radiustan kısa olduğu normal kişilerde, ulnar deviyasyon hareketinin daha fazla olduğu da bilinmektedir.^[19]

Sonuç olarak, çalışmamızın sonuçları, Kienböck hastalığının, lunatumun özellikle ulnar deviyasyonda yük altında kalması sonucu olduğunu göstermektedir. Ayrıca, bu bulgular, KH füzyonu ile ilgili klinik ve deneysel çalışmalar arasındaki ikilemi ve sınırlı karpal füzyonların Kienböck hastalığı tedavisindeki etki mekanizmasını açıklayabilmektedir. Ancak, bu bulgularımızın ameliyat öncesi ve sonrası ulnar deviyasyon miktarlarını ölçen klinik çalışmalarla desteklenmesi gerektiği kanısındayız.

Kaynaklar

1. Allan CH, Joshi A, Lichtman DM. Kienbock's disease: diagnosis and treatment. *J Am Acad Orthop Surg* 2001;9:128-36.
2. Werner FW, Palmer AK. Biomechanical evaluation of operative procedures to treat Kienbock's disease. *Hand Clin* 1993; 9:431-43.
3. Armistead RB, Linscheid RL, Dobyns JH, Beckenbaugh RD. Ulnar lengthening in the treatment of Kienbock's disease. *J Bone Joint Surg [Am]* 1982;64:170-8.
4. Inoue G. Capitate-hamate fusion for Kienbock's disease. Good results in 8 cases followed for 3 years. *Acta Orthop Scand* 1992;63:560-2.
5. Sauerbier M, Trankle M, Erdmann D, Menke H, Germann G. Functional outcome with scaphotrapeziotrapezoid arthrodesis in the treatment of Kienbock's disease stage III. *Ann Plast Surg* 2000;44:618-25.
6. Sennwald GR, Ufenast H. Scaphocapitate arthrodesis for the treatment of Kienbock's disease. *J Hand Surg [Am]* 1995;20: 506-10.
7. Short WH, Werner FW, Fortino MD, Palmer AK. Distribution of pressures and forces on the wrist after simulated intercarpal fusion and Kienbock's disease. *J Hand Surg [Am]* 1992; 17:443-9.
8. Horii E, Garcia-Elias M, Bishop AT, Cooney WP, Linscheid RL, Chao EY, et al. Effect on force transmission across the carpus in procedures used to treat Kienbock's disease. *J Hand Surg [Am]* 1990;15:393-400.
9. Hara T, Horii E, An KN, Cooney WP, Linscheid RL, Chao EY, et al. Force distribution across wrist joint: application of pressure-sensitive conductive rubber. *J Hand Surg [Am]* 1992;17: 339-47.
10. Trumble T, Glisson RR, Seaber AV, Urbaniak JR. A biomechanical comparison of the methods for treating Kienbock's disease. *J Hand Surg [Am]* 1986;11:88-93.
11. Genda E, Horii E. Theoretical stress analysis in wrist joint-neutral position and functional position. *J Hand Surg [Br]* 2000;25:292-5.
12. Cooney WP III, Chao EY. Biomechanical analysis of static forces in the thumb during hand function. *J Bone Joint Surg [Am]* 1977;59:27-36.
13. Cooney WP, Bussey R, Dobyns JH, Linscheid RL. Difficult wrist fractures. Perilunate fracture-dislocations of the wrist.

- Clin Orthop Relat Res 1987;(214):136-47.
14. Lamoreaux L, Hoffer MM. The effect of wrist deviation on grip and pinch strength. Clin Orthop Relat Res 1995;(314): 152-5.
 15. Douglas DP, Peimer CA, Koniuch MP. Motion of the wrist after simulated limited intercarpal arthrodeses. An experimental study. J Bone Joint Surg [Am] 1987;69:1413-8.
 16. Nakamura R, Tsuge S, Watanabe K, Tsunoda K. Radial wedge osteotomy for Kienbock disease. J Bone Joint Surg [Am] 1991;73:1391-6.
 17. Matsushita K, Firrell JC, Tsai TM. X-ray evaluation of radial shortening for Kienbock's disease. J Hand Surg [Am] 1992;17:450-5.
 18. Nakamura R, Horii E, Imaeda T. Excessive radial shortening in Kienbock's disease. J Hand Surg [Br] 1990;15:46-8.
 19. Unver B, Gocen Z, Sen A, Gunal I, Karatosun V. Normal ranges of ulnar and radial deviation with reference to ulnar variance. J Int Med Res 2004;32:337-40.