

Ilizarov fiksatorünün mekanik performansının farklı frame konfigürasyonlarında karşılaştırılması

(Deneysel çalışma)

Yaman Sarpel⁽¹⁾, Mahir Gülşen⁽²⁾, Emre Toğru⁽¹⁾, Mehmet Çapa⁽³⁾, Turgut Gülmez⁽⁴⁾

Ilizarov frame sistemi, anatomik bölgeye, yapılar ve tedavi amacına göre değişik modifikasyonlarla düzenlenebilmektedir. Ancak frame konfigürasyonunda yapılan değişiklikler standart frame sisteminin (her kemik fragmanında ikişer tam halka ve 4 rodla tesbit) mekanik performansını her zaman sağlayamamaktadır. Bu çalışmada biri standart ve sekizi standart üzerinde yapılan değişikliklerle hazırlanmış toplam dokuz frame sistemi mekanik performansları açısından karşılaştırılmıştır. Materyal test makinesi ile yapılan aksiyel kompresyon, dört nokta bükülme, torsiyon testleri sonucu, proksimal halkadaki tellere 45° açıyla uygulanan drop tel veya Schanz vidası ile kurulan sistemlerin standart frame sistemine yakın sıkılık sağladığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Ilizarov sirküler fiksatorü, mekanik performans

Comparison of the mechanical performance of different frame configurations of the Ilizarov fixator

The circular frame of Ilizarov fixator could be modified due to anatomical variations and treatmental aims. But these modifications in the frame system cannot always obtain the mechanical performance of the standard frame system. A standard system has two rings in each bone fragment which are connected by four longitudinal bars on each side of the ring. In this study, mechanical performance of one standard and eight modified frame systems were compared. Each system was loaded on a Material Testing Machine with axial compression, four point bending and torsion, and overall stiffness were tested. As a result, systems that were modified with drop wires and Schanz screws 45° oblique to the wires on the proximal ring, provided a closer mechanical performance to standard system.

Keywords: Ilizarov circular fixator, mechanical performance

Ilizarov sirküler fiksatorü ve distraksiyon osteogenezi yöntemi, gerek frame sistemi ve gerekse biyolojik temelleri nedeniyle eksternal fiksator ile yapılan ortopedik girişimlere çok geniş ufuklar açmıştır. Ilizarov çalışmalarının sonuçlarını 1950'li yıllarda yayınlamaya başlamış ancak Batı dünyasınca kabulü ve popülarize olması 1980'li yıllara rastlamıştır. Yöntemin eksternal fiksatorlerle tedaviye çok geniş boyutlar kazandırmasında, distraksiyon osteogenezi prensiplerinin biyolojik temelleri kadar, sirküler frame sisteminin mekanik performansındaki başarısı da rol oynamıştır (1, 4, 5).

Fiksator sistemindeki mekanik performansın osteotomi veya kırık hattındaki biyolojik ortamla yakından ilişkili olması, cerrahi tedavi sonuçlarını etkilemesi araştırmacıları son yıllarda bu konuyla yakından ilgilenmeye zorlamıştır. Klinik çalışmalarında Ilizarov eksternal fiksatorünü kullanan cerrahların, sistemin mekanik özelliklerini tam kavraması tedavinin tüm safhalarına olumlu yönde yansıtacaktır. Zira kullanılan en küçük frame elemanından, bunların uygulanışına kadar her ayrıntı sistemin rijidite ve stabilitesini etkilemektedir.

Her kemik fragmanında birbirine 90° açıyla yerleştirilen iki Kirshner teli üzerinde kurulan, birbirine

en az 4 cm uzaklıkta iki halka içeren sirküler fiksator konfigürasyonları, Ilizarov ve bu yöntemi kullanan otörlerce ideal mekanik performansla sahip sistem olarak nitelendirilmektedir (1-3, 5-7, 10). Ancak klinik uygulamada hastaya, cerraha ve patolojiye bağlı olarak değişik frame konfigürasyonlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin çok kısa kırık kemik segmenti tespit edilecek yada kaydırılacaksa, patoloji ekleme çok yakınsa, ya da anatomik bölge transfiksasyon çivisi için uygun değilse frame sistemi çeşitli modifikasyonlarla oluşturulmaktadır. Çalışmamızın amacı, bu farklı Ilizarov frame konfigürasyonlarının değişik aksiyel yüklenme, dört nokta bükülme ve torsiyon kuvvetlerine karşı gösterdiği mekanik performansları karşılaştırarak; standart frame sistemine en yakın olan sistemi araştırmaktır.

Gereç ve Yöntem

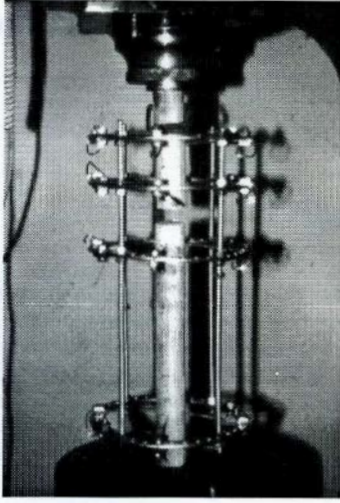
Bu çalışmada, biri standart ve sekiz tanesi farklı konfigürasyonlarda olan toplam dokuz frame sistemine beşer değişik mekanik test uygulanmıştır. Sistemler 35 cm boyunda ve 3 cm çapında tahta kemik modelleri üzerine kurulmuştur. Tüm sistemlerde distraksiyon aralığı 2 cm bırakılmış, 1.8 mm'lik teller

(1) Çukurova Tıp Fakültesi Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı, Yard. Doç. Dr.

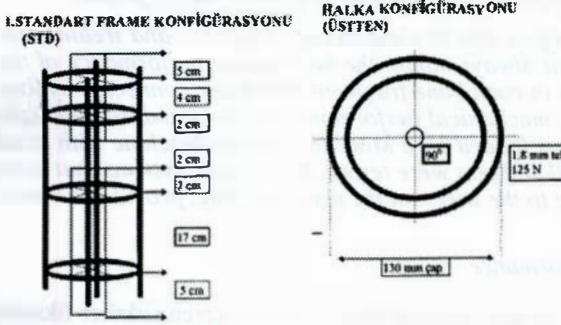
(2) Çukurova Tıp Fakültesi Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı, Prof. Dr.

(3) İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Makina Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Anabilim Dalı, Prof. Dr.

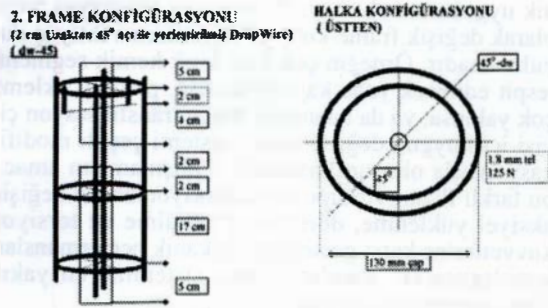
(4) İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Makina Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Anabilim Dalı, Öğretim Görevlisi



Şekil 1: Standart frame konfigürasyonunun önden ve üstten görünüşü



Şekil 2: Standart frame konfigürasyonunun önden ve üstten görünüşü



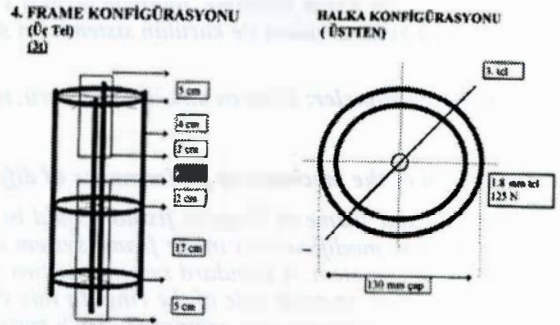
Şekil 3: 45° oblik drop tel ile modifiye edilen frame konfigürasyonunun önden ve üstten görünüşü

kullanılmış, 130mm çaplı halkalar üzerinde birbirine 90° açıyla oryante edilmiş ve dinamometrik gerdirici ile 125 N'a kadar gerdirilmiştir. Sistem, tüm ringlerden AP ve lateral aynı düzlemden geçen 4 adet uzun bar ile tam sabitlenmiştir. Standart sistemde halkalar arası mesafe proksimal fragmanda 4 cm, distalde 17 cm olarak düzenlenmiştir.

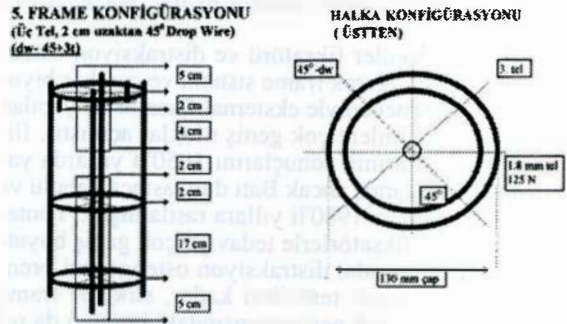
Standart sistem ve distal frame sabit tutularak proksimalde kırık hattına yakın olan ring yerine drop wire, Schanz vidaları veya sadece üç telli proksimal çember kullanılarak oluşturulan sekiz farklı frame



Şekil 4: Parellel drop tel ile modifiye edilen frame konfigürasyonunun önden ve üstten görünüşü



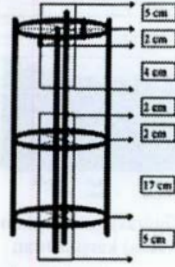
Şekil 5: Proksimalde sadece üç telli tek halka ile modifiye edilen frame konfigürasyonunun önden ve üstten görünüşü



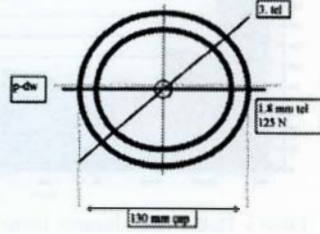
Şekil 6: 45° oblik drop tel ve 3 telli proksimal halka ile modifiye edilen frame konfigürasyonunun önden ve üstten görünüşü

sistemi (parametreler ve çerçeve modelleri) Şekil: 1-9'da görülmektedir. Materyal Test Makinesi (İ.T.Ü. Makine Fakültesi, Makine Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Anabilim Dalı) ile tüm frame sistemlerine aksiyel kompresyon, dört nokta bükülme (ön-arka, yan) ve torsiyon testleri yapılmıştır (Şekil 1). Aksiyel kompresyonda 50-200 N arası kuvvetler ön-arka ve lateral yönlerden uygulanmıştır. Torsiyon ölçümlerinde 500, 1000, 1500, 2000, 2400 Ncm'lik kuvvetler uygulanmış ve derece olarak torsiyonel deplasman ölçümleri yapılmıştır. Ölçümlerdeki değerlendirme load cell ve goniometrik derecelendirme miştir. Her frame için üç ayrı ölçüm yapıлып, ortalama değerler üzerinden oluşturulan stress-strain grafiği kullanılarak sıklık (stress/strain) hesaplamaları

6. FRAME KONFIGÜRASYONU (İç Tel, 2 cm uzaktan paralel Drop Wire) (Öv-p=2)

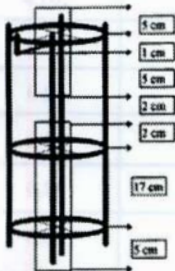


HALKA KONFIGÜRASYONU (ÜSTTEN)

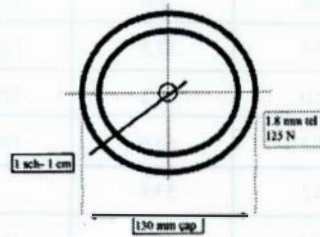


Şekil 7: Paralel drop tel ve 3 telli proksimal halka ile modifiye edilen frame konfigürasyonunun önden ve üstten görünüşü

7. FRAME KONFIGÜRASYONU (1 cm uzaktan 1 Schanz vidası) (1 sch-1 cm)

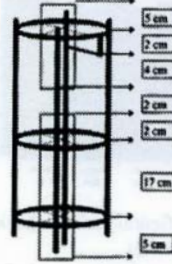


HALKA KONFIGÜRASYONU (ÜSTTEN)

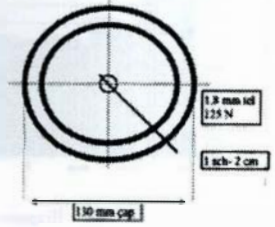


Şekil 8: Proksimal halkaya 1cm uzaktan ve proksimal tellere 45° oblik yarım yivli Schanz vidası ile modifiye edilen frame konfigürasyonunun önden ve üstten görünüşü

8. FRAME KONFIGÜRASYONU (2 cm uzaktan 1 Schanz vidası) (1 sch-2 cm)

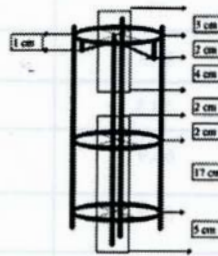


HALKA KONFIGÜRASYONU (ÜSTTEN)

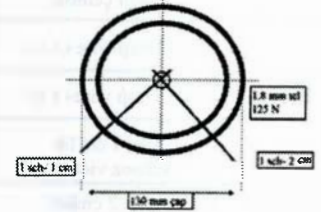


Şekil 9: Proksimal halkaya 1 ve 2cm uzaktan ve proksimal tellere 45° oblik yarım yivli Schanz vidası ile modifiye edilen frame konfigürasyonunun önden ve üstten görünüşü

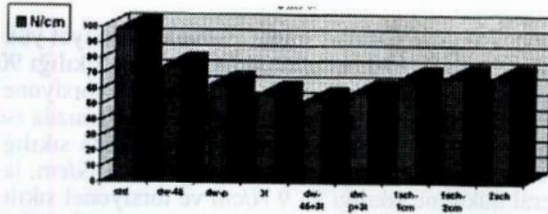
9. FRAME KONFIGÜRASYONU (1 ve 2 cm uzaktan 2 Schanz vidası) (2 sch)



HALKA KONFIGÜRASYONU (ÜSTTEN)



Şekil 10: Proksimal halkaya 1 ve 2cm uzaktan ve proksimal tellere 45° oblik iki yarım yivli Schanz vidası ile modifiye edilen frame konfigürasyonunun önden ve üstten görünüşü

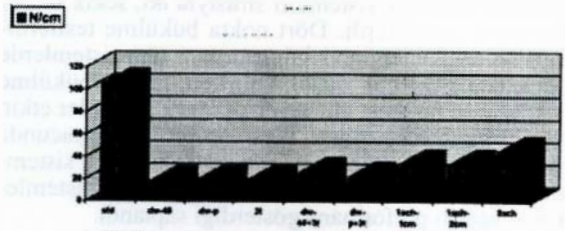


Tablo 1: Dokuz farklı İlizarov frame konfigürasyonunun değişik aksiyel yüklenme kuvvetlerine karşı gösterdiği mekanik performansları karşılaştıran şema

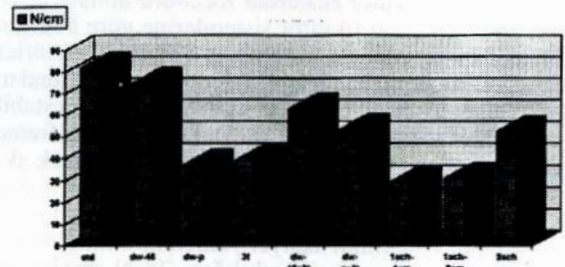
yapılmıştır. Ortalama sıklık (overall stiffness) ise a =aksiyel kompresyon ve b = ön-arka bükülme ve c = lateral bükülme sıklıklarının kareleri toplamının karekökü alınarak ($OS=\sqrt{a^2+b^2+c^2}$) hesaplanmıştır.

Bulgular

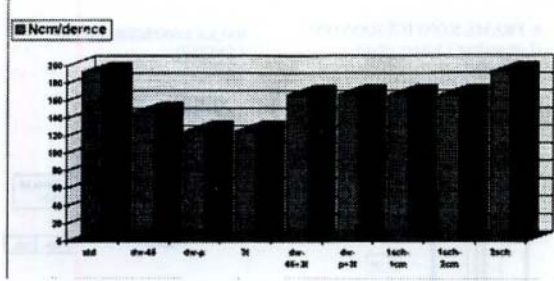
Test edilen tüm frame konfigürasyonlarının aksiyel kompresyon, dört nokta bükülme (ön-arka, yan) ve torsiyon sıklıklarının ve ortalama sıklığın karşılaştırılması Tablo 1, 2, 3, 4 ve 5'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, tüm testler baz alındığında, standart frame sisteminin en iyi mekanik performansa sahip olduğunu bir kez daha göstermiştir (Tablo 6).



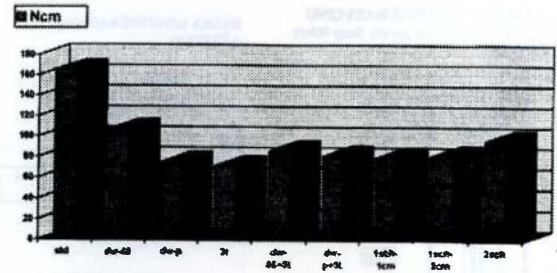
Tablo 2: Dokuz farklı İlizarov frame konfigürasyonunun değişik ön-arka bükülme kuvvetlerine karşı gösterdiği mekanik performansları karşılaştıran şema



Tablo 3: Dokuz farklı İlizarov frame konfigürasyonunun değişik lateral bükülme kuvvetlerine karşı gösterdiği mekanik performansları karşılaştıran şema



Tablo 4: Dokuz farklı Ilizarov frame konfigürasyonunun değişik torsiyon kuvvetlerine karşı gösterdiği mekanik performansları karşılaştıran şema



Tablo 5: Dokuz farklı Ilizarov frame konfigürasyonunun toplam sıklık ortalamalarını (overall stiffness) karşılaştıran şema

Frame Sistemi	Aksiyel kompresyon (N/cm)	Ön-Arka Sıklılık (N/cm)	Lateral sıklık (N/cm)	Torsiyon (N/cm/derece)	Ortalama (N/cm)
1 Standart Sistem	98.6	104.8	81.9	192.3	165.6
2 45° Drop Wire	75	18.4	75.0	147.0	107.6
3 Paralel Drop Wire	63.3	20.3	37.5	125.0	76.0
4 3 Telli çember	57	20.0	39.5	125.0	72.0
5 45° Drop wire+3 tel	53.3	26.3	63.0	166.6	87.0
6 Par. Drop wire+3 tel	58.3	22.2	53.6		82.0
7 1 adet 1 cm'lik schanz vidası	66.9	33.3	30.0	166.0	80.5
8 1 adet 2 cm'lik schanz vidası	68.2	33.3	31.2	166.0	82.0
9 2 adet schanz vidası	68.2	45.0	52.6	192.3	97.1

Tablo 6: Mekanik performans toplu sonuçları

Aksiyel kompresyon sıklığı standart sisteme en yakın olan frame sistemleri sırasıyla iki, sekiz ve dokuzuncu sistemlerdir. Dört nokta bükülme testlerinden ön-arka bükülme sıklığı hemen tüm sistemlerde standartta göre çok düşük kalırken, lateral bükülme sıklığında iki, beş, altı ve dokuzuncu sistemler etkin performans gösterdiler. Torsiyon testleri sonucunda ise standartta en yakın performans dokuzuncu sistemde sağlanırken, beş, altı, yedi ve dokuzuncu sistemlerinde yeterli performans gösterdiği saptandı.

Tartışma

Ilizarov sirküler eksternal fiksatorü unilateral ve bilateral eksternal fiksator sistemlerine göre belirgin biyomekanik avantajlara sahiptir. Sirküler fiksatorler daha isotropik mekanik özelliklere sahip olduğundan aksiyel, torsiyonel, bükülme kuvvetlerine daha stabil ve rijid bir yanıt verirler (1, 3, 5). Literatürdeki frame rijidite testleriyle ilgili çalışmalarda genel olarak aksiyel yüklenme, ön-arka ve lateral bükülme ile torsiyon yüklenmeleri kullanılmıştır. Podolsky (10) standart frame sisteminin aksiyel yüklenme sıklığını 45-145 N/cm ve torsiyonel sıklığını 78 N-cm/derece olarak vermiştir. Bir çalışmasında Paley (9); aksiyel yüklenme sıklığını 40-60 N/cm, ön-arka bükülme sıklığını 40-100 N-cm/derece olarak vermiştir. Kum-

mer'e (6) göre standart frame sisteminin aksiyel yüklenme sıklığı 110 N/cm ön-arka bükülme sıklığı 90 N/cm, lateral bükülme sıklığı 80 N/cm ve torsiyonel sıklığı 130 N-cm/ derecedir. Bizim çalışmamızda ise standart frame sisteminin aksiyel yüklenme sıklığı 98.6 N/cm, ön-arka bükülme sıklığı 104.8 N/cm, lateral bükülme sıklığı 81.9 N/cm ve torsiyonel sıklığı 192.3 N-cm/derece olarak saptanmıştır. Standart sistem aksiyel kompresyona karşı sıklık olarak en iyi performansı gösterirken bu sisteme en yakın sıklığa sahip konfigürasyonlar ikinci ve dokuzuncu frame sistemleri olup bunlarda proksimal çemberdeki tellere oblik geçilen drop wire veya iki Schanz vidası olduğu göze çarpyordu. Schanz vidalı sistemlerdeki tek problem ise aksiyel kompresyon sırasında Schanz vidası yönündeki translasyondur.

Aksiyel kompresyona karşı en düşük performans üç telli proksimal halka ve tellere paralel drop wire içeren üçüncü ve dördüncü sistemlerde saptanmıştır. Proksimal çembere üçüncü bir tel eklenmesiyle aksiyel kompresyon sıklığının azalması ise üçüncü telin diğer iki telin gerginliğini azaltmasına bağlandı. Buna göre çok küçük fragmanlarda, tek çember dışında uygulamaya yapılamayacaksa sıklığı arttırmak için çembere üçüncü bir telin eklenmesinin sakıncalı olabileceği, bu uygulamadaki verimin ancak üç telinde aynı anda gerilmesi sonucu artırılabilceği düşünü-

mektedir. Calhoun (2) ve ark.'nın Schanz vidalı hibrid sistemler ile konvansiyonel İlizarov fiksatorünü karşılaştırdıkları biomekanik çalışmada konvansiyonel fiksatorün daha yüksek aksiyel sıkılık göstermesine karşın Schanz vidalı sistemlerin bükülme ve torsiyonel yüklenme sıklıklarının daha üstün olduğu saptanmıştır.

Bizim çalışmamızda standart sistemin bükülme testlerine verdiği sıkılık yanıtı diğer tüm frame sistemlerine göre belirgin üstünlük gösteriyordu. Ön-arka yönde yapılan bükülme testlerinde standart sisteme en yakın verimin proksimal çemberdeki tellere oblik olarak yerleştirilmiş iki Schanz vidası ile kurulmuş dokuzuncu sistemde olduğu saptandı. Tek paralel drop tel, tek 45° drop tel yada sadece üç telli çember ile kurulmuş iki, üç, dört, yedi ve beşinci sistemlerin ön-arka bükülmelere karşı gösterdiği mekanik performans standart sisteme göre yaklaşık beş kat daha düşüktü. Lateral bükülme testlerine karşı en yüksek sıkılık yine standart sisteminde saptandı. İkinci sistemin lateral bükülme mekanik performansı standart sisteme yakındı. En düşük lateral bükülme sıklığı olanlar ise tek Schanz, paralel drop wire ve üç telli tek çember kullanılan sekiz, üç ve dördüncü frame sistemleri idi.

Torsiyonel sıkılık testlerinde ise standart sisteme en yakın performansı proksimal çemberdeki tellere oblik olarak yerleştirilmiş iki Schanz vidası ile kurulmuş dokuzuncu sistem göstermiştir. Tek Schanz vidalı yedi ve sekizinci sistemlerde standarda yakın torsiyonel sıkılık performansı göstermişlerdir. Torsiyonel sıkılığı en az olan sistemler ise paralel drop wire ve üç telli tek çember kullanılan üç ve dördüncü frame sistemleri idi.

Klinik çalışmaları sonucu Green (4); Schanz vidalı uygulamalarına çok yer verdiğini ancak metafizer bölgelerde kansellöz kemiğin fazla olması nedeniyle erken yada geç gevşeme sorunu olabileceğine değinmiştir. Bu nedenle özellikle metafizer bölgelerde drop tel, diafizer bölgelerde yarım yivli Schanz vidası kullanımıyla modifikasyonlar önermektedir.

Bu çalışmada, standart konfigürasyondaki ikinci halka yerine uygulanabilecek sistemler içinde mekanik performansı en verimli olanlar; birinci halkaya en fazla iki cm mesafeden ve halkanın tellerine 45° oblik olarak yerleştirilmiş drop tel ve Schanz vidalı modifikasyonlardı. Sonuç olarak, standart çift çemberli sistem en verimli mekanik performansa sahip frame konfigürasyonu olsa da uygun modifiye edilmiş drop tel ve Schanz vidalı sistemlerle de bu performansı yakalanabileceği kanısındayız.

Kaynaklar

1. Aronson J, Harp JH: Mechanical considerations in using tensioned wires in a transosseous external fixation system. *Clin Orthop* 280: 23-29, 1992.
2. Calhoun JH, Li F, Ledbetter BR, Gill CA: Biomechanics of the Ilizarov fixator for fracture fixation. *Clin Orthop* 280: 15-22, 1992.
3. Fleming B, Paley D, Kristiansen T, Pope M: A biomechanical analysis of the Ilizarov external fixator. *Clin Orthop* 241: 95-105, 1989.
4. Green AS: External fixation mounting strategies for difficult locations. *Techniques in Orthop* 11: 115-124, 1996.
5. İlizarov GA: Transosseous osteosynthesis. Berlin, Springer Verlag, 125-136, 1992.
6. Kummer FJ: Biomechanics of the Ilizarov external fixator. *Clin Orthop* 280: 11-14, 1992.
7. McCoy MS, Chao EYS, Kasman RA: Comparison of mechanical performance in four types of external fixators. *Clin Orthop* 180: 23-33, 1983.
8. Orbay GL, Frankel VH, Kummer FJ: The effect of wire configuration on the stability of the Ilizarov external fixator. *Clin Orthop* 279: 299-302, 1992.
9. Paley D, Fleming B, Catagni M, Kristiansen T, Pope M: Mechanical evaluation of external fixators used in limb lengthening. *Clin Orthop* 250: 50-57, 1990.
10. Podolsky A, Chao EYS: Mechanical performance of Ilizarov circular external fixators in comparison with other fixators. *Clin Orthop* 293: 61-70, 1993.

Yazışma adresi:

Yard. Doç. Dr. Yaman Sarpel

Çukurova Tıp Fakültesi

Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı

01330 Balcalı, Adana, Türkiye