

Tam yivli Schanz vidaları ile oluşturulan hibrid Ilizarov sistemlerinin mekanik performansı

(Deneyel çalışma)

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

Standart Ilizarov frame sisteminin kurulamayacağı anatomik bölgelerde ve klinik koşullarda, sistemin drop tel ya da Schanz vidaları ile tamamlanması en akılcı yoldur. Kliniğimizde bu amaçla, 5 mm düz Schanz vidaları veya bunların mekanik yetersizlikleri gözönüne alınarak geliştirilen 6 mm'lik tam yivli Schanz vidaları ile kurulabilen hibrid frame konfigürasyonları denenmektedir. Çalışmamızda, Schanz vidalı hibrid sistemlerin mekanik performansları araştırılarak, standart sistemle karşılaştırılmıştır. Bu amaçla; biri standart ikişer çemberli, diğerleri kısmen Schanz vidaları kullanılarak hazırlanan altı frame sistemine aksiyel kompresyon, dört nokta bükülme (ön-arka, yan) ve torsiyon testleri yapılmıştır. Sonuçta tam yivli Schanz vidaları ile oluşturulan hibrid sistemin mekanik performansı düz Schanz vidalı sisteme göre belirgin üstünlük gösterirken; standart sisteme yakın sıklıkta olduğu saptanmıştır.

Anahtar kelimeler: Biyomekanik, Ilizarov sirküler fiksatorü, hibrid sistem

The mechanical performance of hibrid Ilizarov frames containing full threaded Schanz screws

If the anatomic sites and clinical condition are unfeasible to apply a standart frame, completing the system with drop wires or Schanz screws is the most rational way to construct a circular Ilizarov frame. For this purpose; hibrid frame configurations consist of half pins or full threaded Schanz screws that were developed to overcome the mechanical drawback of the half pins, are widely used in our clinic. In this study, mechanical performance of such hibrid frames and standart system were compared. One standart with double rings on each bone fragment and five modified hibrid systems were 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 full threaded Schanz screws showed a higher stiffness than half pin modifications and exhibit nearly the same mechanical performance of standart system.

Key words: Biomechanics, Ilizarov circular fixator, hibrid system

1950'li yılların başlarında; G.A. Ilizarov tarafından çemberler üzerine gerdirilerek monte edilmiş teller kullanılarak geliştirilen eksternal fiksator sistemi, günümüzün en yaygın kullanılan sistemlerinden biri haline gelmiştir. Ilizarov yönteminin eksternal fiksatorlerle tedaviye çok geniş boyutlar kazandırmasında, distraksiyon osteogenezi prensiplerinin biyolojik temelleri kadar sirküler frame sisteminin mekanik performansındaki başarı da rol oynamıştır (6). Ilizarov sirküler fiksator sisteminin ünilateral ve bilateral fiksatorlere olan en önemli üstünlüklerinden biri uygulanacak anatomik bölgedeki şartlara göre düzenlenebilmesidir (5, 7, 9, 13). Sistemdeki çok amaçlı kullanıma uygun parçalar ile ekstremitelere hem sirküler tarzda düzenlenebilmekte hem de fiksator hasta üzerindeyken bile rijiditesi bozulmadan revizyonlar yapılabilir.

İdeal mekanik performansa sahip standart bir sirküler fiksator konfigürasyonu; her kemik fragmanında birbirine 90° açıyla yerleştirilen iki Kirschner teli üzerinde kurulan birbirine en az 4 cm uzaklıkta iki halka içerir (1-3, 5-7, 10). Ancak klinik uygulamada özellikle adale ve eklem fonksiyonları ile ilgili problemler nedeniyle değişik frame konfigürasyonlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Femur ve humerus proksima-

li, kalça ve omuz eklemi gibi anatomik bölgelerde, segmenter kırıklarda ya da bifokal distraksiyon gerektiren olgular gibi standart frame konfigürasyonunun kurulamayacağı durumlarda frame sistemi çeşitli modifikasyonlarla oluşturulmaktadır. Bu amaçla, yarım ya da tam yivli Schanz vidaları ile modifiye edilen hibrid sistemler kullanılmaktadır. Çalışmamızın amacı klinik ve deneysel gözlemler sonucu ve literatür bilgileri ışığında geliştirdiğimiz tam yivli Schanz vidalı hibrid frame konfigürasyonlarının değişik aksiyel yüklenme, dört nokta bükülme ve torsiyon kuvvetlerine karşı gösterdiği mekanik performansları araştırarak; sonuçları standart frame sistemi ve yarım yivli hibrid sistemlerle karşılaştırmaktır.

Gereç ve yöntem

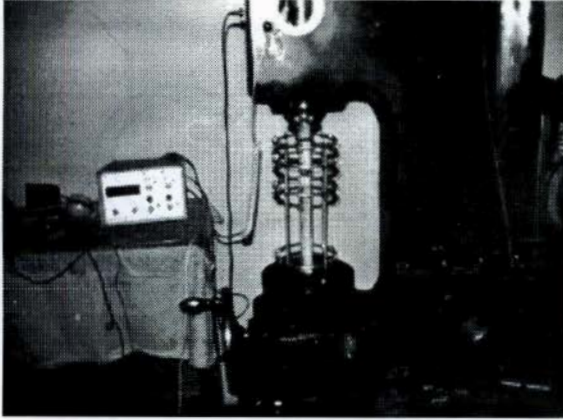
Bu çalışmada, biri standart, üçü Schanz ve ikisi yivli Schanz vidaları kullanılarak oluşturulmuş toplam altı frame sistemine dörder değişik mekanik test uygulanmıştır. İki cm'lik distraksiyon aralığı bırakılacak şekilde kesilen, 35 cm boyunda ve 3 cm çapında olan kemik modelleri (meşe) üzerine; distal kısmı aynı kalacak şekilde altı farklı frame sistemi kurulmuştur. Proksimal kısım 11 cm, distal kısım 24 cm,

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

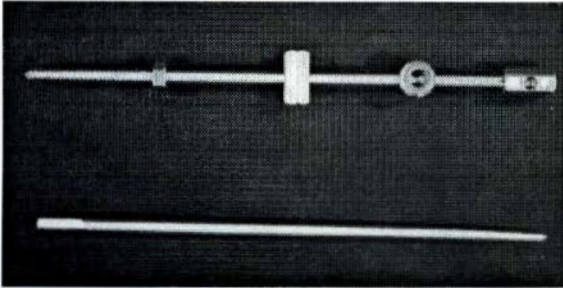
(2) Çukurova Tıp Fakültesi Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı, Prof. Dr.

(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: Materyal test makinasında aksiyel kompresyon sıklığı ölçümü yapılan standart deneysel modelin görünümü

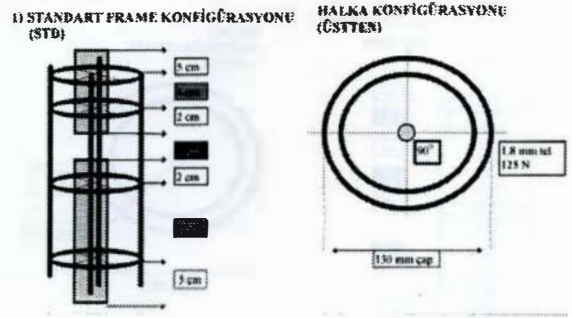


Şekil 2: Tam yivli Schanz vidasının görünümü

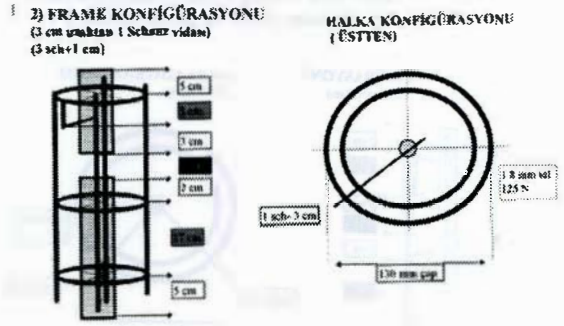
kemik uçlarına 5 cm kalacak şekilde yerleştirilmiş 130-mm çaplı ikiye halka ile standart bir frame sistemi olarak hazırlanmıştır (Şekil 1).

Standart sistemde halkalar arası mesafe proksimal fragmanda 4 cm, distal fragmanda 17 cm'dir. Tüm konfigürasyonlarda 1.8 mm'lik teller kullanılarak, bunlar birbirine 90 derece açıyla oryante edilmiş ve tümü dinamometrik gerdici ile 125 N'a kadar gerdirilmiştir. Sistem tüm ringlerden aynı düzlemden geçen 4 adet uzun bar ile tam sabitlenmiştir. Diğer sistemlerde proksimal kemik modelin distal çemberi sökülerek yerine 5 mm'lik yarım yivli yada 6 mm'lik tam yivli Schanz vidalarından oluşan frame sistemleri kurulmuştur (Grafik 1-6'da tüm frame sistemleri ve parametreler verilmiştir). Tam yivli Schanz vidalarının dizaynı Prof. Dr. Gülşen tarafından yapılmıştır (Şekil 2). Bu konik uçlu vidalar 3.5 mm kalınlıktan başlayıp, 5 mm sonra 6 mm'lik kalınlığa ulaşıp diğer uca bu kalınlıkta uzanmakta ve tüm çivi boyunca yivli olması sebebiyle standart Ilizarov rodlarının bağlandığı tüm parçalara bağlanabilmektedir. Böylece daha efektif bir bağlantı sağlanıp frame sıklığı artırılırken, yivli sistem yardımıyla üzerinde bulunduğu fragmana translyasyon yaptırma imkanı da sağlanmaktadır.

Oluşturulan bu altı farklı frame konfigürasyonuna Materyal Test Makinesi ile aksiyel kompresyon, dört nokta bükülme (ön-arka, yan) ve torsiyon testleri yapılmıştır (İ.T.Ü. Makine Fakültesi, Makine Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Anabilim Dalı). Aksiyel kompresyonda 5 kg'dan başlayarak beşer kg'lık artış-



Şekil 3: Standart frame konfigürasyonunun önden ve üstten görünüşü



Şekil 4: Proksimal halkaya 3 cm uzaktan ve proksimal tellere 45° oblik yarım yivli Schanz vidası ile modifiye edilen frame konfigürasyonunun önden ve üstten görünüşü

larla 60 kg'a çıkılmış, dört nokta bükülmede ise 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 ile yapılmıştır. Her frame için üç ayrı ölçüm yapıp, ortalama değerler üzerinden oluşturulan stres-strain grafiği kullanılarak sıklık (stres/strain) hesaplamaları yapılmıştır. Ortalama sıklık (overall stiffness) ise a =aksiyel kompresyon ve b = ön-arka bükülme ve c = lateral bükülme sıklıklarının kareleri toplamının kare kökü alınarak ($OS = \sqrt{a^2+b^2+c^2}$) hesaplanmıştır.

Bulgular

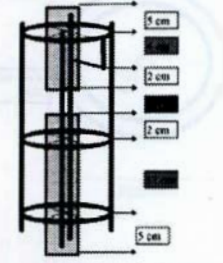
Frame sistemi-1

Standart sistemin 0-60 kg'lık aksiyel kompresyona verdiği yanıt toplam 6.9 mm deplasman olup, ortalama aksiyel sıklığı 98.6 N/cm'dir. Ön-arka bükülme sıklığı ortalama 104.8 N/cm, lateral bükülme sıklığı 81.97 N/cm, torsiyonel sıklığı 192.3 N/cm/dece olarak saptanmıştır.

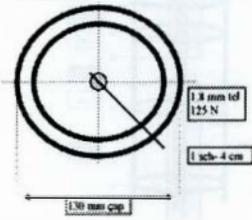
Frame sistemi- 2

Bu sistem aksiyel kompresyon testinde toplam 7.78 mm deplasman göstermiş ve ortalama aksiyel sıklığı 66.9 N/cm olarak saptanmıştır. Aynı sistemin ön-arka bükülme sıklığı ortalama 33.3 N/cm, lateral

3) FRAME KONFIGÜRASYONU
(4 cm uzaktan 1 Schanz vidası)
(4 sch=2 cm)

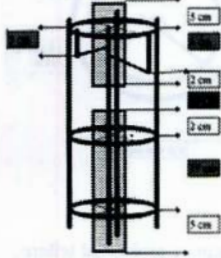


HALKA KONFIGÜRASYONU
(ÜSTTEN)

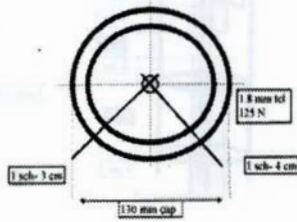


Şekil 5: Proksimal halkaya 4 cm uzaktan ve proksimal tellere 45° oblik yarım yivli Schanz vidası ile modifiye edilen frame konfigurasyonun önden ve üstten görünüşü

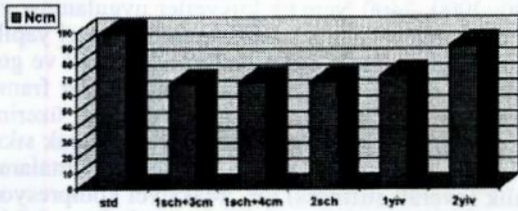
4) FRAME KONFIGÜRASYONU
(3 ve 4 cm uzaktan 2 Schanz vidası)
(2 sch)



HALKA KONFIGÜRASYONU
(ÜSTTEN)



Şekil 6: Proksimal halkaya 3 ve 4 cm uzaktan ve proksimal tellere 45° oblik yarım yivli Schanz vidası ile modifiye edilen frame konfigurasyonun önden ve üstten görünüşü



Tablo 1: Altı farklı İllizarov frame konfigurasyonunun değişik aksiyel yüklenme kuvvetlerine karşı gösterdiği mekanik performansları karşılaştıran şema

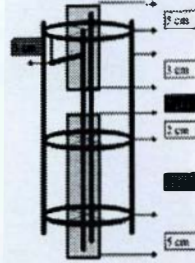
Frame sistemi-3

Üçüncü sistemin ortalama aksiyel kompresyon sıklığı 68.2 N/cm (toplam 7.15 mm deplasman), önarka bükülme sıklığı ortalama 33.3 N/cm, lateral bükülme sıklığı 31.2 N/cm ve torsiyonel sıklığı 192.3 N/cm/derecedir.

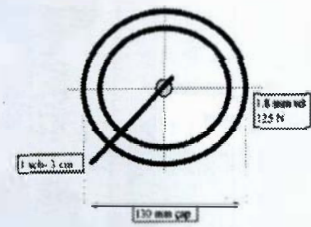
Frame sistemi-4

Aksiyel kompresyon sıklığı ortalama 68.2 N/cm (toplam 7.6 mm deplasman), önarka bükülme sıklığı ortalama 45 N/cm, lateral bükülme sıklığı 52.6 N/cm ve torsiyonel sıklığı 166 N/cm/derecedir.

5) FRAME KONFIGÜRASYONU
(3 cm uzaktan 1 tam yivli Schanz vidası)
(1 yiv)

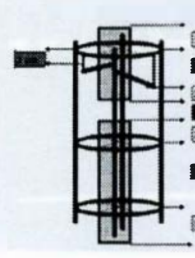


HALKA KONFIGÜRASYONU
(ÜSTTEN)

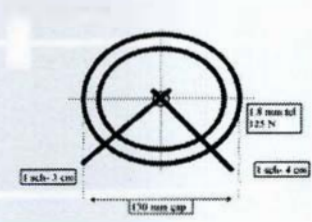


Şekil 7: Proksimal halkaya 3 cm uzaktan ve proksimal tellere 45° oblik tam yivli Schanz vidası ile modifiye edilen frame konfigurasyonun önden ve üstten görünüşü

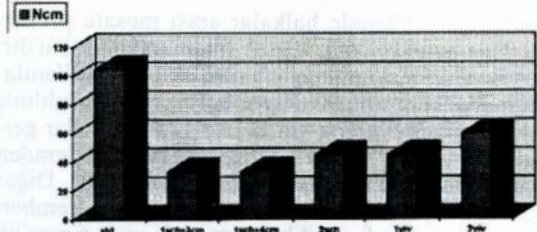
6) FRAME KONFIGÜRASYONU
(3 ve 4 cm uzaktan 2 yivli Schanz vidası)
(2 yiv)



HALKA KONFIGÜRASYONU
(ÜSTTEN)



Şekil 8: Proksimal halkaya 3 ve 4 cm uzaktan ve proksimal tellere 45° oblik iki tam yivli Schanz vidası ile modifiye edilen frame konfigurasyonun önden ve üstten görünüşü



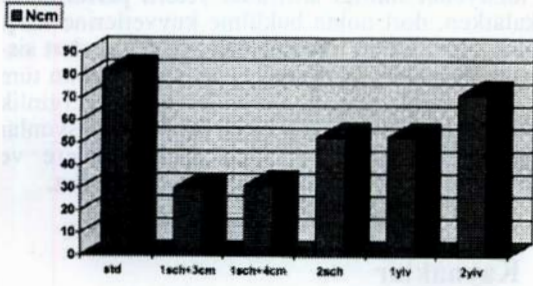
Tablo 2: Altı farklı İllizarov frame konfigurasyonunun değişik ön-arka bükülme kuvvetlerine karşı gösterdiği mekanik performansları karşılaştıran şema

Frame sistemi-5

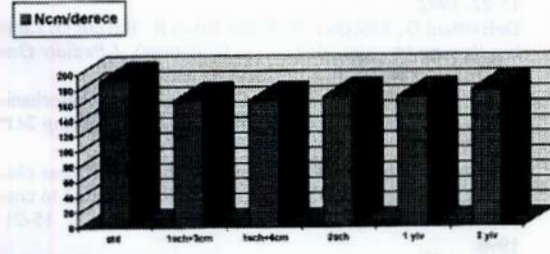
Beşinci sistem aksiyel kompresyona toplam 7.35 mm deplasmanla yanıt vermiş ve ortalama aksiyel sıklığı 72 N/cm olarak saptanmıştır. Aynı sistemin ön-arka bükülme sıklığı ortalama 45 N/cm, lateral bükülme sıklığı 52.6 N/cm, torsiyonel sıklığı 152.6 N/cm/derece olarak saptanmıştır.

Frame sistemi-6

Son sistemde aksiyel kompresyon sıklığı 91.1 N/cm (toplam 5.82 mm deplasman), ön-arka bükülme sıklığı ortalama 60 N/cm, lateral bükülme sıklığı 71.4 N/cm, torsiyonel sıklığı 178.6 N/cm/derecedir.



Tablo 3: Altı farklı İllizarov frame konfigurasyonunun değişik lateral bükülme kuvvetlerine karşı gösterdiği mekanik performansları karşılaştıran şema

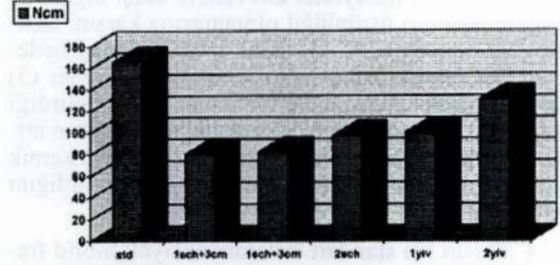


Tablo 4: Altı farklı İllizarov frame konfigurasyonunun değişik torsiyon kuvvetlerine karşı mekanik performansları karşılaştıran şema

Test edilen tüm frame konfigurasyonlarının aksiyel kompresyon, dört nokta bükülme (ön-arka, yan) ve torsiyon sıklıklarının karşılaştırılması ile toplam sıklık ortalaması 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 görülmüştür (Tablo 6). Aksiyel kompresyon sıklığı standart sisteme en yakın olan frame sistemi altıncı sistemdir. Dört nokta bükülme testlerinden ön-arka bükülme sıklığı hemen tüm sistemlerde standarda göre çok düşük kalırken, lateral bükülme sıklığında çift tam yivli Schanz içeren altıncı sistem standarda yakın performans göstermiştir. Torsiyon testleri sonucunda ise tüm hibrid sistemlerin standarda yakın performans gösterdiği saptandı. Ancak bunlar içinde en iyi performans yine de altıncı sistemdeydi.

Tartışma

Ilizarov tekniğindeki başarının anahtarı; sirküler fiksator biyomekaniği ile distraksiyon osteogenezi biyolojisini birleştirebilmektir. Literatürde mekanik performansı açısından en çok önerilen distraksiyon hattının her iki tarafında çift çember olması esasına dayanan standart frame sistemidir (10, 12, 13). Ancak bu sistem klinik kullanımda fonksiyonel ve anatomik açıdan her zaman uygun olmamaktadır. Çok küçük fragmanlı ve ekleme yakın bölgelerde; ideal aralıklarda (en az 4 cm) çift çember koymak mümkün olmadığı gibi, bazı bölgelerdeki anatomik yapılar uygun aralıklarla tel geçmeğe bile engel olmaktadır. Tellerin adale fonksiyonlarını etkileyerek eklem



Tablo 5: Altı farklı İllizarov frame konfigurasyonunun toplam sıklık ortalamasını (overall stiffness) karşılaştıran şema

Frame sistemi	Aksiyel Kompresyon (N/Cm)	Ön-arka sıklık (N/Cm)	Lat. sıklık (N/Cm)	Torsiyon (N/cin/°)	Ortalama (N/Cm)
1 Standart sistem	98.6	104.8	81.9	192.3	165.6
2 1 Schanz 3 cm	66.9	33.3	30.0	166.0	80.5
3 1 Schanz 4 cm	68.2	33.3	31.2	166.0	82.0
4 2 Schanz	68.2	45.0	52.6	192.3	97.1
5 1 yivli Schanz	72	45	52.6	170	99.8
6 2 yivli Schanz	91.1	60	71.4	178.6	130.3

Tablo 6: Altı farklı İllizarov frame konfigurasyonunun mekanik performans testlerinin toplu sonuçları

hareketlerinde gerilemeye sebep olması ve ağrı da ayrı bir dezavantajdır. Ayrıca her hastada standart frame sistemini kurmak ameliyat süresini uzatmakta, sistemi daha komplike ve pahalı hale getirmektedir (6, 7, 8).

Ilizarovun temel prensiplerine uyarak distraksiyon osteogenezi sağlamakta yarım yivli vidalar içeren unilateral sistemlerin de başarıya ulaşabileceği ilkin De Bastiani (3) tarafından gösterilmiştir. Ancak unilateral frameler ne yazık ki sadece fiksator aksına paralel planda kemik kompresyonu ve distraksiyonu yapabildiğinden; Ilizarov sirküler frame sistemi ile yapılabilen angulasyon, translasyon ve rotasyon düzeltmeleri mümkün olamamaktadır.

Her iki sistemin avantaj ve dezavantajları gözönüne alındığında ise hibrid sistemler karşımıza çıkmaktadır. Hibrid sistemlerin tanımı ilk olarak Green (6) ve Fleming (4) tarafından yapılmış ve tellerin yanısıra yarım yivli Schanz vidalarının kullanılması önerilmiştir. Bu amaçla Green ve ark. (7) tarafından yapılan bir çalışmada yarım çivilerle oluşturulan Rancho birleştirme tekniği kullanılmıştır. Titanyum vidaların kullanıldığı teknik sirküler frame sistemi ile karşılaştırıldığında; tel yolu enfeksiyonunun azaldığı, hastanın fonksiyonel, ambulator ve rehabilitasyon kapasitelerinin arttığı saptanmıştır. Altı mm'lik bu vidaların uygun kullanımıyla yeterli fiksasyon sağlanabileceğini belirten Green'e göre; Schanz vidasındaki 1 mm kalınlaşma vida sıklığını %250 arttırmaktadır (6, 7).

Fleming (4) beş değişik konfigurasyonun in vitro analizini yaptığı çalışmasında, bunları daha önce test edilen sekiz adet yarım yivli vidayla oluşmuş unilateral sistemlerle karşılaştırmıştır. Sirküler fiksatorle-

rin bükülme ve torsiyonel kuvvetlere karşı diğerlerine göre belirgin üstünlüğü olmamasına karşın, aksiyel yüklenmede özellikle nonlineer davranışı nedeniyle çok büyük üstünlüğü saptanmıştır. Gasser (5) sirküler distraksiyon aleti olarak da isimlendirdiği Ilizarov cihazının aksiyel yük arttıkça sıklığının artması şeklindeki bu nonlineer davranış şeklinin kemik formasyonundaki tolerans ve indüksiyonu arttırdığını belirtmiştir.

Calhoun (2) standart sistemin aksiyel, hibrid frame sisteminin bükülme ve torsiyonel sıklıklarının daha fazla olduğunu bildirmektedir. Ayrıca hibrid frame sisteminin yeterli stabilitesi için sistemden çıkarılan her tele karşılık en az iki 5 mm'lik Schanz vidası veya bir 6 mm Schanz vidası önermektedir. Gerilmiş tellerle kurulan sistemlerde, el tutucular içinde oluşan slip (geri kayma) sıklığı azaltan en önemli etkenlerdendir. Aronson'un (1) çalışmasında 1.8 mm tellerde gergin halde iken oluşabilecek 40 mikronluk bir slip miktarının tel gerginliğinde 175-N bir kayıba yol açacağı saptanmıştır. Böyle bir kayıp özellikle tam yivli Schanz vidalarında mekanik olarak mümkün değildir. Dolayısıyla tam yivli Schanz vidaları tel geriminin azalmasına bağlı sıklık kaybı sorunu için de akılcı bir çözümdür.

Orbay (9), Kummer (11) ve Podolsky (13) çalışmalarında teller arası açılarının frame sıklığı açısından çok önemli olduğunu vurgulamışlar, tellerin en az 45° ve ideal olarak 90° açıyla uygulanması gerektiğini bildirmişlerdir. Özellikle stopsuz tellerle kurulan sistemlerde, kemik bükülme aksına dik yönde tel üzerinden kayar. Bu translasyon stoplu Kirschnerler ya da bükülme aksına dik yönde bir telin bulunmasıyla kısmen giderilebilmektedir. Hibrid sistemlerde, kemik yivli Schanz vidası üzerinden kayamayacağı için; vida oryantasyonundan bağımsız olarak bükülme sıklığı sağlanmaktadır. Ayrıca tam yivli vidalar üzerine yerleştirilen somunlar ve plaklar yardımıyla kemik itilip çekilebilmekte ve fragmana istenilen yönde düzeltici translasyon yaptırılabilir.

Bizim çalışmamızda, en iyi mekanik performansın yine de standart frame sisteminde olduğu görülmüştür. Aksiyel kompresyon sıklığı standart sistemin en yakın frame sistemi çift tam yivli Schanz içeren sistemdi. Sadece ön arka bükülme testinde yetersiz sıklık performansı gösteren altıncı sistemin lateral bükülmeye karşı performansı ise standarta yakındı. Torsiyon testleri sonucunda ise tüm hibrid sistemler içinde en iyi performans yine bu sistemde saptanmıştır.

Sonuç olarak tam yivli içeren hibrid sistemler hedeflenen amaca uygun olarak aksiyel kompresyon

ve torsiyonel sıklığı artırarak yeterli performansı yakalarken, dört nokta bükülme kuvvetlerine karşı sıklığı diğer hibrid sistemlerden üstün, standart sistemden düşüktür. Tam yivli Schanz vidalarının tüm Ilizarov parçalarıyla monte edilebilmesi, gerginlik kaybı sorunu olmaması ve korrektif translasyonlar sağlayabilme özelliklerinden dolayı tellere ve Schanzlara iyi bir alternatif olduğu kanısındayız.

Kaynaklar

1. Aronson J, Harp JH: Mechanical considerations in using tensioned wires in a trans osseous 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. DeBastiani G, Aldegheri R, Renzi-Brivo R, Trivelli G: Limb lengthening by callus distraction (callotaxis). *J Pediatr Orthop* 7: 129-134, 1987.
4. Fleming B, Paley D, Kristiansen T, Pope M: A biomechanical analysis of the Ilizarov external fixator. *Clin Orthop* 241: 95-105, 1989.
5. Gasser B, Boman B, Wyder D, Schneider E: Stiffness characteristics of the circular Ilizarov device as opposed to conventional external fixators. *J Biomech Eng* 112: 15-21, 1990.
6. Green AS: External fixation mounting strategies for difficult locations. *Techniques in Orthop* 11: 115-124, 1996.
7. Green AS, Harris NL, Wall DM, Iskhanian J, Marinow H: The Rancho mounting technique for the Ilizarov method: A preliminary method. *Clin Orthop* 280: 104-116, 1992.
8. Ilizarov GA: Transosseous osteosynthesis. in Green S.A. (ed.) Berlin *Springer Verlag* 125-136, 1992.
9. Kummer FJ: Biomechanics of the Ilizarov external fixator. *Clin Orthop* 280: 11-14, 1992.
10. McCoy MS, Chao EYS, Kasman RA: Comparison of mechanical performance in four types of external fixators. *Clin Orthop* 180: 23-33, 1983.
11. Orbay GL, Frankel WH, Kummer FJ: The effect of wire configuration on the stability of the Ilizarov external fixator. *Clin Orthop* 279: 299-302, 1992.
12. 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.
13. Podolsky A, Podolsky Chao EYS: Mechanical performance of Ilizarov circular external fixators in comparison with other fixators. *Clin Orthop* 293: 61-70, 1993.

Yazışma adresi:

Yardı. Doç. Dr. Emre Toğrul

Çukurova Tıp Fakültesi

Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı

01330 Balcalı, Adana, Türkiye