



Sternotomi kapatılmasında rijit fiksasyon yerine sadece aşırı kuvvet karşısında esneyebilen fiksasyon yönteminin bilinen yöntemlerle karşılaştırılması

Comparison of the sternotomy fixation methods: Stiff-rigid fixation vs. adjustable semi-elastic fixation for excessive forces: An experimental biomechanic study

Mehmet Kabalcı,¹ Nesimi Günal,² Ali Bolat,¹ Koray Dural,² Berkant Özpolat,² Türker Akkoyunlu³

¹Kırıkkale Üniversitesi Tıp Fakültesi, Kalp ve Damar Cerrahisi Anabilim Dalı, Kırıkkale, Turkey

²Kırıkkale Üniversitesi Tıp Fakültesi, Göğüs Cerrahisi Anabilim Dalı, Kırıkkale, Turkey

³Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, Turkey

Özet

Amaç: Monofilament paslanmaz çelik tel (tel), multifilaman paslanmaz çelik halat (halat), polipropilen bant kelepçe (kelepçe) ve multifilaman elastan fiber (elastan) sütürler, deneysel düzenekle in vitro olarak kemik hasarı, elastik modül, çekme dayanımı, uzama ve kopma parametreleriyle karşılaştırılmıştır.

Gereç ve Yöntem: Koyun göğüs kafesleri median sternotomiyle iki parçaya ayrıldı ve sonrasında ilgili kapama yöntemiyle bir araya getirildi. Bu haliyle deneysel düzeneğe sabitlenerek 100-800N çekme testine (Instron, USA) tabi tutuldu. İlk aşamada sütür parçaları teker teker, sonra halka yapıp düğümlenerek ve son aşamada sütüre edilmiş koyun göğüs kafesi şeklinde test edildi. Sternumun maksimum kuvvetteki ayrışma mesafesi, sütürün kopma ve uzaması, elastik-plastik faz seviyeleri ve akma noktaları her aşamada kaydedildi.

Bulgular: Sütür-kemik temas yüzeyi kelepçede (3.5 mm: en yüksek), elastanda (2 mm), halatta (1.1 mm), tel'de (0.8 mm: en düşük) iken, kemik doku hasarı elastanda hiç olmadığı, halatta %11, telde %29 seviyesinde oldu, kelepçe grubunda ise kemik hasarı oluşacak kuvvete erişmeden kopma gözlemlendi. Sütürde uzamanın başladığı ortalama seviyeler ise telde 210N (en dayanıksız), kelepçede 320N, halatta (800N: en dayanıklı) ve elastanda (800N: en dayanıklı) şeklinde izlendi. 800N'luk aşırı kuvvet oluşmasının simüle edildiği aşamada kemik veya sütür hasarı oluşmadan kemiğin bir arada kalabildiği tek yöntem elastan oldu.

Sonuç: Deneysel sonuçlarımıza göre sütür temas alanı ile kemik hasarının ters korele olduğu ve polipropilen materyal dayanımının

Abstract

Introduction: Monofilament stainless steel wire (wire), multifilament stainless steel rope (rope), polypropylene band clamp (clamp) and multifilament elastane fiber (elastane) sutures were compared by using bone damage, elastic modulus, tensile strength, elongation and breaking parameters.

Methods: Sheep rib cages were divided into two parts by median sternotomy and then were combined with the related closure method. It was subjected to a 100-800N tensile test (Instron, USA) by fixed to the experimental apparatus. In the first stage, the suture pieces were tested one by one, then by looping and knotting, and in the last stage, they were tested on the sheep rib cage. The dissociation distance of the sternum at maximum strength, breaking and elongation of the suture, elastic-plastic phase levels and yield points were recorded at each stage.

Results: The suture-bone contact surface was in clamp (3.5 mm: highest), elastane (2 mm), rope (1.1 mm), wire (0.8 mm: lowest). Bone tissue damages were 11% in rope, 29% in wire and 0% in elastane group. Ruptures were observed before reaching the force that would cause bone damage in clamp group. The average force levels of plastic elongation in the suture were 210 N in wire (most unstable), 320 N in clamp, rope (800 N: most durable) and elastane (800 N: most durable). Elastane was the only method which the bone could remain together without any bone or suture damage.

Discussion and Conclusion: According to the results of the experiment, the suture contact area and bone damage were inversely cor-



bu alanda kullanım için dayanıksız olduğu görüldü. Daha önemli olarak rijit sabitleme yerine bizim geliştirdiğimiz, 800N'a kadar rijit, daha üstünde elastik özellik gösteren elastan yönteminin, anlık aşırı kuvvet altında dehissens oluşsa bile yeniden anında sternumu eski konumuna getirerek başarı sağladığı gösterildi.

Anahtar Sözcükler: Çelik kablo; çelik tel; elastan; polipropilen kelepçe; rijitfiksasyon; sternotomi.

Kardiyotorasik cerrahide mediastene en sık medyan sternotomiyle ulaşılır ve işlem sonrası sternum en sık 1897'de Milton ve ark.^[1] tarif ettiği ve Julian ve ark.'nın^[2] yaygınlaştırdığı tel fiksasyon yöntemiyle kapatılır. Tel yöntemi kolay ve hızlı uygulanabilen, uygulama için özel alet gerektirmeyen kabaca güvenli sayılan, kolay ulaşılabilen ucuz ve yaygın bir metottur.^[3] Ayrıca cerrahın vakada telle doğrudan temas ediyor olması cerrahlarda daha kontrollü bir uygulama yapıldığı hissini doğurmaktadır. Ancak özellikle riskli grupta güçlü bir öksürük, tellerin ince olan kenarlarının bıçak gibi davranarak kemik dokuyu kesmesine neden olmaktadır.^[4] Sıklıkla kemiğin en sağlam yeri olan dış kabuğundan (kortikal tabaka) destek almak üzere interkostal aralıktan geçirilen çelik teller sternumu güçlü bir şekilde sabitlemektedir. Tellerin uygun olmayan şekilde bükülerek zayıflaması gibi cerrah kaynaklı teknik sorunlar, operasyon sırasında veya kısa bir süre sonra tellerin kopmasına neden olabilmektedir.^[5] Ayrıca ameliyattan hemen sonraki dönemde güçlü öksürük atakları veya dengesiz pozür sırasında tellere ve kemiğe binen bu yük hasta tarafından artırılabilir. Anlık olarak ortaya çıkan bu aşırı yük kemiğin ve/veya tellerin kopmasına ve sternum ayrışmasına neden olabilmektedir.

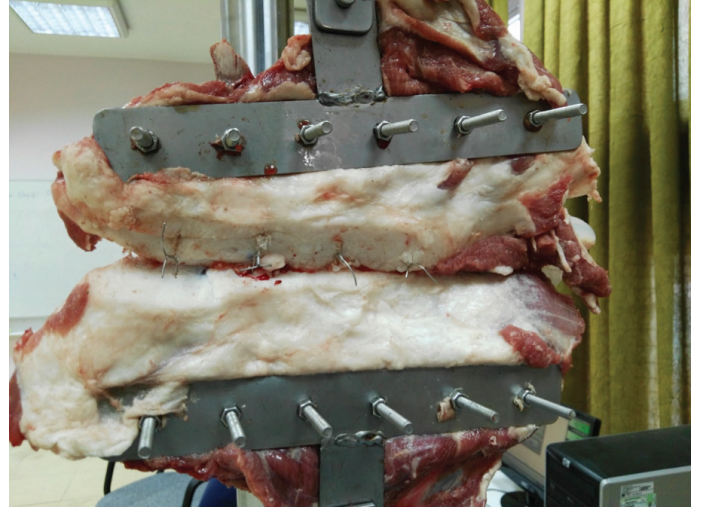
Sternotominin kapatılmasıyla ilişkili erken sternal dehissens ve buna bağlı enfeksiyon, seroma, hematoma, sternal kırıklar, kaynamanın gecikmesi gibi komplikasyonlar olguların %3-5'inde görülür.^[6] Medyan sternotomi sonrası enfeksiyon oranları %0,2-10 arasında değişir ve enfeksiyon vakalarında morbidite ve mortalite oranları %5 ile %25 arasında değişir.^[7,8]

Robicsek ve ark.'nın^[9] %8'e varan sternal instabilite için tanımladığı diyabet, kronik obstrüktif akciğer hastalığı, obezite, sigara, yaşlılık, immünsüpresyon, böbrek yetmezliği, osteoporoz, kemik balmumu (bonewax) kullanımı, kanama nedeniyle resternotomi ve uzun süreli kardiyopulmoner baypas gibi risk faktörleri^[10] halen geçerliliğini korumaktadır.^[11] Üstelik bugün kalp ameliyatı geçiren hasta popülasyonu önemli ölçüde değişerek bu risk faktörlerini daha çok taşıyan multimorbid hastalardan oluşmaktadır. Robicsek tekniği^[12] (1977) "8 şeklinde sütünasyon - Figure 8" ve çoklu tellerle riskli hasta gruplarında bu dezavantajı bir ölçüde azaltmayı başarmıştır. Daha sonraki dönemde aynı başarısızlığı önlemek üzere kancalı-vidalı plaklar, çeşitli polimer ve metal bantlar, tellerin uygun gerginlikte sıkıldığını garanti eden el aletleri, tork ayarlı gerdiriciler gibi 40'tan fazla teknik geliştirilmiştir.^[13]

Bu çalışma; yüksek riskli hastalarda yenilikçi bir yöntemin etkinliğini-güvenilirliğini değerlendirmek üzere monofilament

related and the strength of polypropylene material was inadequate in this area. Instead of rigid fixation, the elastane method we developed, which has elastic properties after 800N, has been shown to be successful by restoring the sternum even if dehiscence occurs under instantaneous excessive force.

Keywords: Steel cable; steel wire; elastane; polypropylene clamp; rigid fixation; sternotomy.



Şekil 1. Test düzeneği üzerine sabitlenmiş koyun göğüs kafesi.

paslanmaz çelik tel (tel), multifilaman çelik halat (halat), polipropilen bant kelepçe (kelepçe) ve multifilaman elastan fiber (elastan) sütürleri deneysel düzenekle in vitro olarak kemik hasarı, elastik modül, çekme dayanımı, uzama ve kopma parametreleriyle karşılaştırmak üzere tasarlandı.

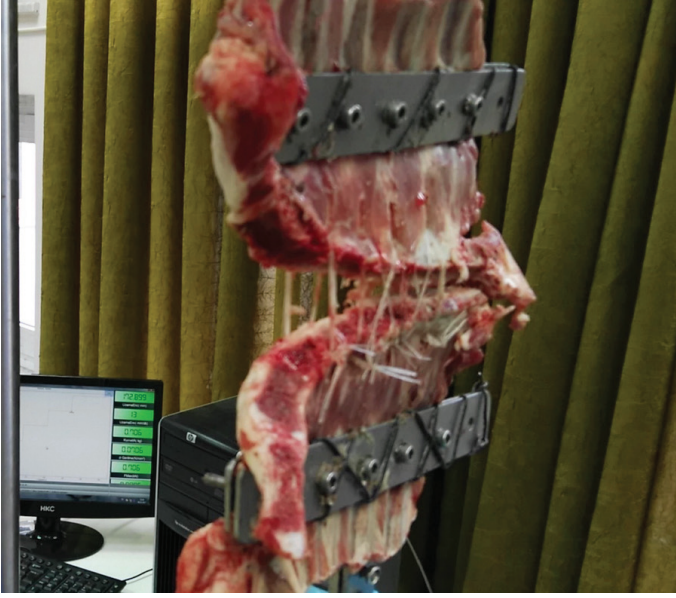
Gereç ve Yöntem

Gereç

Sütün materyali olarak tel grubunda 5 numara paslanmaz çelik tel (Tektel, Doğan, Türkiye), halat grubunda 1.1 mm çapında multifilaman paslanmaz çelik halat (Sternaclose, Türkiye), kelepçe grubunda 5 mm eninde 2 mm kalınlığında polipropilen kelepçe bant (Temalar, Türkiye), elastan grubunda ise 2 mm çapında multifilaman elastan fiber (Spandex, Erba, Türkiye) kullanıldı. Biyomateryal olarak başka nedenlerle hayatları sonlandırılmış 2. yaşında ve ortalama ağırlığı 30-50kg olan 30 adet dişi Ankara koyununun göğüs ön duvarı kullanıldı. Bunlardan 2 tanesi sütürlerden bağımsız olarak kemik dayanımını belirlemek üzere kullanıldı. Numuneler 2 saat içinde çalışmaya alındı. Her göğüs kafesi, tüm kemik parçaları ile en az 10 cm kostal kırık ve interkostal kaslarla birlikte blok halinde çıkarıldı (Şekil 1).

Sütün çekme testleri

Dokularla çalışmaya başlamadan önce tüm sütün materyalleri elasto-plastisite karakteristiğini ve kopma dayanımı



Şekil 2. Test düzeneği üzerine sabitlenmiş koyun göğüs kafesi ve Instron test cihazına bağlanmış monitörde sürecin takibi.

nı belirlemek üzere 20 mm/dk hızında 50N'den başlayarak 800N'ye veya sütür kopana kadar çekme testi uygulandı. Onar kez tekrar edilen testler boyunca kuvvet-uzama eğrileri kaydedildi. İlk aşamada her grup için 100 mm'lik sütür parçaları teker teker test edildi. İkinci aşamada sütür parçaları çevresi 100 mm olan bir borunun etrafında sarılarak halka halinde düğümlendi ve test edildi. Üçüncü aşamada sternum yarılı 2.,3.,4. ve 5. interkostal aralıklardan (İKA) geçirilen toplam dört sütürle birleştirildi. Çalışmada sternumun bir kısmı değil, koyun göğüs kafesinin ön duvarının bütünü kullanıldı.

Biyomateryal test düzeneği

Salınlı testere (Bosch, Germany) ile manubrium da dahil olmak üzere tüm sternum boydan boya longitudinal olarak ikiye ayrıldı. Her bir numune, numuneyi tutmak ve kemik yarılarını birbirinden ayırtmak üzere tasarlanmış aparata tutturuldu. Sabitleyiciler sternotomiden yaklaşık 2 cm uzaklıkta, sternumun her iki yanına yerleştirildi ve mekanizmaya civatalarla sıkıştırılarak sabitlendi (Şekil 2).

Tel grubu: İKA'lardan geçirilen monofilaman paslanmaz çelik tel ile sternumun etrafı sarıldı. Yeterli gerginliğe ulaşıncaya dek saat yönünde çekilip simetrik büküm ile sıkıldı. Maksimum güç elde etmek ve olası sternal delinmeyi önlemek için telleri beş kere çevirmek^[14] yeterli görüldü. Tellerin uç kısımları tamamen kesilerek peristernal yumuşak dokuya gömüldü.

Kelepçe grubu: İKA'lardan geçirilen polipropilen kelepçe bantla sternumun etrafı sarıldı. Yeterli gerginliğe ulaşıncaya dek çekilip sabitlendi.

Halat grubu: İKA'lardan geçirilen multifilaman paslanmaz çelik halat ile sternumun etrafı sarıldı. Firmanın geliştirdiği tork freni içeren aparat ile yeterli gerginliğe ulaşıncaya dek çekilip tityum yüzük ile sabitlendi.

Elastan grubu: İKA'lardan geçirilen multifilaman elastan fiber ile sternumun etrafı sarıldı. Yeterli gerginliğe ulaşıncaya dek çekilip düğümlendi. Kemiğin veya test edilen sütür malzemelerinden birinin normal sınırlar içinde kopması/kırılması veya kemik yarılarının ayrışması incelendi.

Sonlanma noktası: Biyomateryalin (kemik veya eklemlerin) bütünlüğünün bozulması veya sütür materyalinin kopması olarak kabul edildi. Kemiklerin dayanım noktasını tespit etmek üzere 2 adet göğüs kafesi sternotomi yapılmadan gerdirmeye alındı. 800–1000N'lik kuvvet seviyesinde kemik dokunun ve/veya sternokostal eklem bütünlüğünün bozulduğu izlendi. Bu referansla kemiklere uygulanacak kuvvet sınırı olarak 800N kabul edildi. Kadavrada yapılan çekme testleri ile de benzer referans değerler elde edilmiştir.^[15]

Çekme testi: Mekanizma aracılığıyla biyomateryale planlanmış yönlere doğru vektörel ayırıştırma kuvveti uygulandı. Modele 20 mm/dk hızında, 50–800N'lik kuvvet uygulanarak uzama/kuvvet grafikleri kaydedildi. Bu kuvvete erişmeden bir düşme yükü kaydedildiğinde (kemik kırılması veya tel kopması nedeniyle) test sonlandırıldı ve bu başarısızlık olarak kabul edildi. Ayrıca kumpas kullanarak yumuşak doku ve kemik üzerinde oluşan yer değiştirmeler ve sternum yarılımları arasında oluşan açıklıklar ayrı ayrı kaydedildi.

Ölçüm tekniği

Tüm çekme testleri, TÜRKAK standartlarına göre kalibre edilmiş ve sertifikalandırılmış bir bilgisayar kontrollü test makinesi (Instron, ABD) tarafından 100–800 N'lik kuvvetler arasında 20 mm/dk hızında test edildi. Kemik ve sütür materyalleri artan yük uygulayan bu biyomekanik test cihazı ile test edilirken elde edilen uzama/kuvvet grafikleri kaydedildi. Ayrıca hassas kumpas kullanarak yumuşak doku ve kemik üzerinde oluşan yer değiştirmeler ve sternum yarılımları arasında oluşan açıklıklar ayrı ayrı kaydedildi.

Sonuçlar

1. Sütür çekme testi: Halka haline getirilmemiş lineer sütür materyallerinin kopma kuvvetleri arasında anlamlı fark vardı ($p < 0.001$). Tel grubunda akma noktası (elastik fazın bitip geri dönüşümsüz uzamanın olduğu plastik faza geçme sınırı) daha önceki çalışmalara benzer şekilde^[13] 210 ± 20 N olarak tespit edildi. 240 ± 20 N seviyesinde sütür koptu. Düğümlerin dikkate alınmadığı bu testin sonuçları kelepçe ve tel gruplarında benzerdi ($p = 0.67$). Kelepçe grubunda sütürde tel grubuna benzer şekilde 210 ± 30 N'lik kuvvette plastik deformasyon başladı ve 320 N'de koptu. En yüksek kopma dayanımı halat grubunda elde edilirken (700 ± 20 N), daha sonra elastan (550 ± 30 N) grubu geldi. Sünme mesafesi oranı elastanda en yüksek (%14) bulunurken halatta en düşük (%1), telde %9,7, kelepçede %4,6 olarak ölçüldü.

2. Düğümlü sütür çekme testi: Sütürlerin kendi dayanımlarının yanı sıra düğümlerin kayması-açılması gibi etkenler de eşlik etti. Bu nedenle halka oluşturularak 2 kat haline gelen sütürlerde aynı oranda uzama olmadı ve tam olarak 2 kat kuvvet dayanımı izlenmedi (Tablo 1).

Tablo 1. Sütür materyallerinin deney aşamalarında kaydedilen ortalama biyomekanik test sonuçları

	Tel	Kelepçe	Halat	Elastan
Sütür çapı	0.8	5	1.1	2
Plastik deformasyon sınırı (n)	210±20	210±30	–	–
Kopma sınırı (n)	240±30	220±30	700±20	550±30
Uzama %	9.7	4.6	1	14
Plastik deformasyon sınırı (n)	320±30	270±30	–	–
Kopma sınırı (n)	370±40	280±30	–	–
Uzama %	12.4	5.1	1	32**
Kemik hasarı %	29	*	11	–
Dehissens (mm)	11	–	2	17

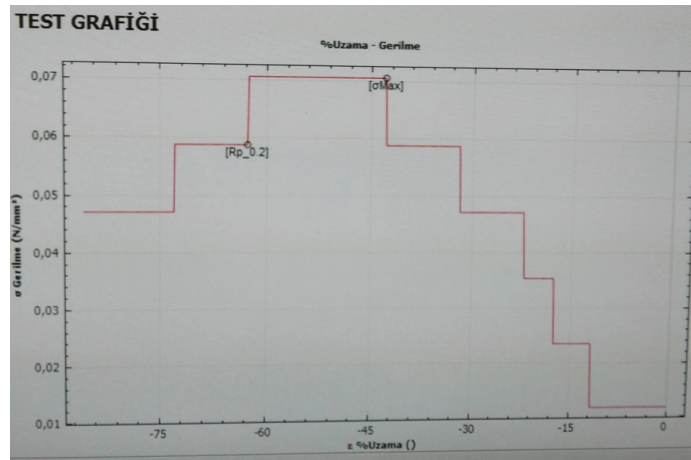
*Kopma nedeniyle değerlendirme dışı; **Elastanda düğüm kaymaları oldu.

Sonraki aşamada halka haline getirilip düğümlenen sütürler çekme testine tabi tutuldu. Bu aşamada sadece materyaller değil düğümlenme kabiliyetleri ve düğümün dayanıklılığı da testin sonuçlarını etkiledi. Materyaller kopma dayanımları arasında anlamlı fark vardı ($p<0.001$) ancak tel ve kelepçe grupları benzer bulundu ($p=0.73$). Sütürlerin kopma bölgeleri incelendiğinde kelepçe grubunda sütürlerin her seferinde toka kısmından koptuğu, tel grubunda ise de tamamına yakınında düğüme yakın bir noktada kopma olduğu gözlemlendi. Halat ve elastan gruplarında ise 800N'luk test sınırları içinde plastik deformasyon sınırına geçiş olmadı ve sütürler kopmadı.

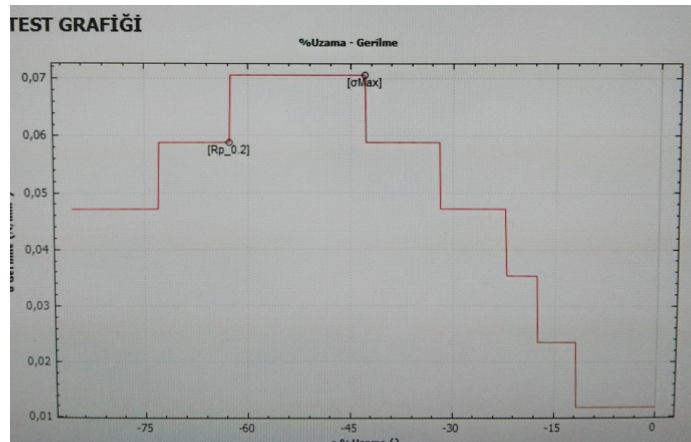
3. Sternum üzerinde çekme testi: Biyolojik test materyali olarak kullanılan koyun göğüs kafesleriyle yapıldı. Sternumun sütürasyonu esnasında hiçbir kemikte tellerin/sütürlerin aşırı zorlanması nedeniyle test öncesi çatlak veya kırık oluşmadı. Numunelerin sabitlendiği aparatlarda sonlanım noktasına kadar olan kuvvetlerde aparatla ilgili bir klemp kayması veya hasar meydana gelmedi. Temas yüzeyleri arasındaki fark anlamlıydı ($p<0.001$). Üstelik başlangıçta 0,8 mm olan tel çapı uzama esnasında incelmeye devam etti ve kopma anındaki çap 0,6 mm olarak ölçüldü. En fazla kemik hasarı en küçük sütür çapıyla ters korele olarak tel grubunda (0,8 mm-%29) ve takiben halat grubunda (1,1 mm-%11) görüldü. 800 N'lik maksimum kuvvet oluşuncaya kadar uzamaya devam edemeyip koptuğu için, kelepçe grubu bu aşamada değerlendirme dışı bırakıldı. elastan grubunda ise hiçbir sternumda deformasyon gelişmedi. Bu aşamada 800 N'lik kuvvet altında ortalama ayrışma en az oranda ve mesafede halat grubunda (2 mm) izlendi. Daha sonra tel grubu (11 mm) ve elastan grubunda (17 mm) izlendi. Ancak sadece elastan grubunda uygulanan kuvvet kaldırıldıktan sonra kemik yaraları tamamen eski konumlarına spontan olarak döndü (Şekil 3, 4).

Tartışma

Literatürde, sternum kapama yöntemlerinin karşılaştırıldığı birçok deneysel ve klinik çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların hemen tamamı "rijit fiksasyonun nasıl daha da rijit yapılabileceği" konusunu incelemiştir. Deneysel ve klinik bu araştırmaların bazılarında rutinde kullanılan tellerin sayısı-bağlama



Şekil 3. Test düzeneğinde oluşturulan gerilime karşı oluşan % uzama-gerilme verilerinin grafiği 1 (test cihazının ekran görüntüsü).



Şekil 4. Test düzeneğinde oluşturulan gerilime karşı oluşan % uzama-gerilme verilerinin grafiği 2 (test cihazının ekran görüntüsü).

şekli gibi özellikleri değiştirilerek^[16] bazılarında ise daha geniş bir kemik temas yüzeyi sağlamak üzere bant formunda sütürler incelenmiştir. Ayrıca daha da rijit bir sabitleme elde etmek amacıyla plaklar,^[17] yapıştırıcılar, vidalı sistemler gibi çoğu rutine girmemiş ancak seçilmiş yüksek dehissens riskli hastalarda başarılı bulunmuş ürünlerin incelendiği çalışmalar mevcuttur.

Titanyum plakla sabitleme,^[18] modifiye parasternal tel,^[19] sternal talon,^[20] nitinol klipsler,^[21] Robicsek tipi kapatma,^[12,22] ve kriptonit yapııştırıcılar^[23] bu rijitliği artırma yöntemlerinin bazılarıdır.

Abbas ve ark.^[16] klinik randomize ancak benzer risk grubunda yaptığı çalışmada tek tek telleme yöntemiyle "figure 8" şeklindeki tellemeyi incelemiş ve ikinci yöntemin daha stabil bir sabitleme sağladığını bildirmiştir. Tellerle uygulanan bir başka teknik Sharma ve ark.^[19] tarafından parasternal tel yerleştirme şeklinde tarif edilmiş ve sternal ayrılma riski yüksek olan hastalarda ekonomik ve başarılı bir yöntem olarak önerilmiştir. Vos ve ark.^[17] titanyum plak fiksasyonunun klinik sonuçlarını çelik tel serklaj ve pektoral kas rekonstrüksiyonu gibi geleneksel tedavi yöntemleriyle 42 hasta üzerinde karşılaştırmış ve özellikle posttornoti mediastinite bağlı sekonder kapatmada, geleneksel refiksasyon yöntemlerinden üstün olduğunu bildirmiştir. Subramaniam ve ark.^[20] ise postop 3. yılda sternal ayrışmaya ve tellerin kopmasına bağlı bir komplikasyonun kancalı bir plak olan "Sternal Talon"la onarılmasının başarılı bulunduğu bir vaka sunmuşlardır. Tüm bu çalışmalar ve benzerleri ayrıntılı olarak incelendiğinde görülüyor ki sadece asla kıyılamayacak bir yapı oluşturmak amaçlanmıştır. Oysa vücudun en esnemez-eğilmez yapıları bile bir nispette esnektir ve frajil değildir.

Bu çalışma bir hususun gözden kaçtığı hipoteziyle kurgulanmıştır. Sternumda ayrışmaya neden olan kuvvetler genellikle öksürük, tek koldan kuvvet olarak doğrulmaya çalışma gibi anlık asimetrik aşırı kuvvetler nedeniyle oluşmaktadır. Elbette olabildiğince rijit fiksasyon kemik iyileşmesini hızlandırmaktadır. Ancak ne kadar sıkı bir sabitleme yapılırsa yapılsın hastayı korunmasız bir anında yakalayacak bir öksürük, bu dehissensi başlatabilmektedir. Tıp dışı alanda bu gibi ani darbeleri emmek üzere süspansiyon sistemleri kullanılmaktadır. Örneğin araçlarda sadece çok sıkı bir birleştirme yerine süspansiyonun da kullanıldığı tekerler, büyük bir çukura düştüğünde anlık olarak ortaya çıkan bu büyük kuvveti sönümleyebilmekte ve çukurdan çıkar çıkmaz tekeri yeniden eski yerinde sabit tutabilmektedir.

Bu çalışmada yüksek esnekliği olan elastan lifleri ile sabitlenmiş bir sternumun 800N'lik bir kuvvetin üzerinde esnemesine izin verilerek kemik hasarı (plastik deformite) ve kuvvet kalktıktan sonra dehissensin düzelmesi (elastik uzama) incelendi.

Deney, "sütür çekme testi", "düşümlü sütür çekme testi" ve "sternum üzerinde çekme testi" olmak üzere 3 aşamada tamamlandı. Literatürde, kemik dokusuyla biyomekanik benzerlik taşımayan çelik, plastik gibi bazı dayanıklı modeller kullanılan ya da kemikle çeşitli benzerlikler taşıyan simulasyon modelleriyle^[24] yapılan çalışmalar mevcuttur. Ancak sütürle bir araya getirilmiş iki parçanın çeşitli kuvvetler altında vereceği elasto-plastik tepkiler (kırılma, esneme, uzama gibi) ve/veya bütünlüklerinin bozulması sadece sütürlerin kendisiyle ilgili değil bir araya getirilen doku parçalarıyla da ilgilidir. Örneğin dokunun esnemediği ancak sütürün esnediği durumlar olabileceği gibi, sütürün kopmadığı ancak dokunun kırıldığı durumlar olabilmektedir. Bu nedenlerle çalışmamızda gerçek koyun

göğüs kafesi tüm olarak temin edilmiş ve testereyle test öncesi dokulara hasar verilmeden deneye hazır hale getirilmiştir. Ayrıca rutin vakalarda tel kullanımı sırasında karşılaşılan önemli bir problem de vakanın son aşaması olan sternum kapama işlemi esnasında sürecin biraz aceleye getirilmesi nedeniyle tellerin tam uygun şekilde çevrilmediğinde plastik deformasyona^[25] ve çevirme sayısına bağlı olarak sütür kopmasına zemin oluşturulmaktadır. Çalışmada bu durumun getireceği belirsizliği ortadan kaldırmak üzere tel dönüş sayıları 5 olarak standardize edildi ve test öncesi kemik dokuda bir deformasyon oluşmadığından emin olundu.

Her ne kadar plastik deformasyon benzer düzeyde başlamış olsa da kelepçenin frajil bir karakterle, uzamaya devam etmeyip telden çok daha önce kopması polipropilen materyalin bu alanda kullanım için çok dayanıksız olduğunu düşündürdü.

Elastanın kopma anına kadar %14 gibi önemli bir uzama göstermesi ve bununla korele olarak sternum testinde en büyük açılma (17 mm) olması, anlık da olsa ayrışma gelişmesi yönünden rijit fiksasyonu savunan araştırmacılar^[26] tarafından rahatsız edici bulunabilir. Ancak buradaki anahtar düşünce şudur; anlık çok şiddetli bir kuvvet ortaya çıktığında, kemiğin ve/veya sütürün kırılarak-hasar görerek geri dönüşsüz bir dehissens oluşturması yerine anında yeniden dehissensin kaybolması çok daha başarılı bir sonuçtur. Nitekim bu büyük kuvvet ortaya çıkmadığı sürece yine bu teknikte bir ayrışma olmamaktadır. Bu sayede araçların çukura düşmediği sürece teker konumunun sabit kalmasına benzer bir model geliştirilmiştir.

Kardiyotorasik cerrahi sonrası ameliyattan saatler sonra solunum cihazından ayrılan hastalar nefes alıp vermeye başlamakta, günlerce hafif veya orta şiddette öksürmektedir. Erken dönemde kollardan destekle hastanın mobilizasyonu ve öksürme egzersizleri teşvik edilmektedir.^[3] Elastan açısından bir dezavantaj da düşüğünün kayma eğilimi göstermesi olarak izlendi. Bu nedenle halatta kullanılan titanyum kilitleyici benzeri bir sabitleyici geliştirilmesinin faydalı olacağı düşünülerek bu alanda bir patent başvurusu yapıldı.

Bunun dışında yine de sadece tam rijit bir sternum kapama yöntemi kullanılacaksa; kemik doku hasar görene kadar sütürde 2 mm'den^[27] daha büyük bir uzama, kırılma ortaya çıkmayan ve kemik üzerinde tele göre %38 daha geniş bir yüzeye oturan ve böylece en az kemik doku hasarına (%11) yol açan halatın en tercih edilebilir yöntem olduğu düşünüldü. Elbette bu öneri kullanım kolaylığı, maliyet, hasta-cerrah konforu gibi durumlar dikkate alınmadan, sadece biyomekanik açıdan geçerlidir. Literatürde bu materyal için diğer tüm yönlerden değerlendirmelerin yapıldığı çalışmalar mevcuttur.

Tel için kopma dayanımı (320N) teker teker düşünüldüğünde tel dayanımı aslında 6-8 sütür için uygun sınırlarda kalması gerekmektedir. Ancak deney sırasında yüzey alanının ince olması (0,8 mm) telin kopmadan önce kemiği kesmeye başlamasına neden oldu. Dahası sternum üzerinde düşen kuvvet homojen dağılmamaktadır.^[28] Bu heterojen dağılım deney sırasında da gözlemlendi ve bazı sütürlerin diğerlerinden daha önce kopmasına/kemik hasarı oluşmasına yol açtığı gözlemlendi.

Sonuç

Bulgularımız rijit fiksasyon tekniğinin yanı sıra yarı esnek sü- tür materyalleri kullanımının da kabul edilebilir bir alternatif olabileceğini düşündürdü. Sonuçlar rijit ve esnek materyal kombinasyonunun ek avantaj sağlayabileceği fikrini destek-lemekle birlikte, sternum iyileşmesine katkısı ile ilgili yeni ve daha geniş ölçekli klinik / deneysel çalışmalara ihtiyaç vardır.

Limitasyon: Sternum üzerinde öksürük gibi nedenlerle oluşan ani aşırı yük baskısı, milisaniyeler içinde pik yapıp tekrar kaybolan kuvvetlerden oluşmaktadır. Ancak bu çalış- mamızda daha önceki pek çok in vitro çalışmada kullanılan sternum kapama modeli kullanıldı ve sabit bir çekme hızıyla daha stabil kuvvetler değerlendirildi. Ani kuvvet testleri yap- ıldığında elastan gibi esnek materyallerin diğer esnemez materyallere olan üstünlüklerinin daha da belirginleşece- ği kanaatindeyiz ve bunu test edeceğimiz yeni bir çalışma daha planlandı.

Çıkar çatışması: Yazarlar bu yazının hazırlanması ve yayınlan- ması aşamasında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmişlerdir.

Finansal destek: Bu çalışma Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araş- tırma Projeleri Koordinasyon Birimince desteklenmiştir. Proje Nu- marası: 2016/036.

Kaynaklar

- Milton AF, cited by Kirschner M. *Tratatad de tecnicaoperatoria general y especial*. Barcelona: Editorial Labor, 1944;4:756–60.
- Julian OC, Lopez-Belio M, Dye WS, Javid H, Grove WJ. Appraisal of progress in surgicaltherapy. *Surgery* 1957;42:753–61.
- Orhan SN, Ozyazicioglu MH, Colak A. A biomechanical study of 4 different sternum closure techniques under different de- formation modes. *Interactive cardiovascular and thoracic surgery*. 2017;25:750–6.
- Aykut K, Celik B, Acikel U. Figure-of-eight versus prophylactic sternal weave closure of median sternotomy in diabetic obese patients undergoing coronary artery bypass grafting. *The Annals of thoracic surgery*. 2011;92:638–41.
- Danter MR, Saari A, Gao M, Cheung A, Lichtenstein SV, Abel JG. A New Device for Securing Sternal Wires after Median Sternotomy: Biomechanical Study and Retrospective Clinical Assessment. *In- novations*. 2018;13:40–6.
- Stahle E, Tammelin A, Bergstrom R, Hambreus A, Nystrom SO, Hansson HE. Sternal wound complications--incidence, microbio- logy and risk factors. *European journal of cardio-thoracic surgery*. 1997;11:1146–53.
- Landes G, Harris PG, Sampalis JS, Brutus JP, Cordoba C, Ciaburro H, Bernier C, Nikolis A. Outcomes in the management of sternal dehiscence by plastic surgery: a ten-year review in one university center. *Annals of plastic surgery*. 2007;59:659–66.
- Tekumit H, Cenal AR, Tataroglu C, Uzun K, Akinci E. Comparison of figure-of-eight and simple wire sternal closure techniques in patients with non-microbial sternal dehiscence/Non-mikrobiyal sternal dehisens gelisen olgularda figur 8 ve basit tek tek telleme ile kapama tekniklerinin mukayesesi. *The Anatolian Journal of Cardiology (Anadolu Kardiyoloji Dergisi)*. 2009;9:411–7.
- Robicsek F, Fokin A, Cook J, Bhatia D. Sternal instability after midline sternotomy. *The Thoracic and cardiovascular surgeon*. 2000;48:1–8.
- Balachandran S, Lee A, Denehy L, Lin KY, Roysse A, Roysse C, El-Ansary D. Risk factors for sternal complications after cardiac operations: a systematic review. *The Annals of thoracic surgery*. 2016;102:2109–17.
- Losanoff JE, Richman BW, Jones JW. Disruption and infection of median sternotomy: a comprehensive review. *European journal of cardio-thoracic surgery*. 2002;21:831–9.
- Robicsek F, Daugherty HK, Cook JW. The prevention and treat- ment of sternum separation following open-heart surgery. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 1977;73:267–8.
- Goldman G, Nestel R, Snir E, Vidne B. Effective technique of sternum closure in high-risk patients. *Archives of Surgery*. 1988;123:386–7.
- Glennie S, Shepherd DE, Jutley RS. Strength of wired sternotomy closures: effect of number of wire twists. *Interactive cardiovascu- lar and thoracic surgery*. 2003;2:3–5.
- Cheng W, Cameron DE, Warden KE, Fonger JD, Gott VL. Biomecha- nical study of sternal closure techniques. *The Annals of thoracic surgery*. 1993;55:737–40.
- Abbas S, Gul S, Abbas A, Iqbal M, Khan T, Khan JS. Figure-of-8 sternal closure vs simple interrupted sternal closure in reducing sternal dehiscence in patients with coronary artery bypass grafting (CABG). *Pakistan Heart Journal*. 2017;50.
- Vos RJ, Jongbloed L, Sonker U, Kloppenburg GT. Titanium plate fixation versus conventional closure for sternal dehiscence af- ter cardiac surgery. *The Thoracic and cardiovascular surgeon*. 2017;65:338–42.
- Voss B, Bauernschmitt R, Brockmann G, Krane M, Will A, Lange R. Complicated sternal dehiscence: reconstruction with plates, cables, and cannulated screws. *The Annals of thoracic surgery*. 2009;87:1304–6.
- Sharma R, Puri D, Panigrahi BP, Viridi IS. A modified parasternal wire technique for prevention and treatment of sternal dehiscen- ce. *The Annals of thoracic surgery* 2004;77:210–3.
- Subramaniam T, Keita L, Veerasingam D. Sternal Talon, a novel repair for sternal dehiscence. *Kardiochirurgia i torakochirurgia polska= Polish journal of cardio-thoracic surgery*. 2015;12:153.
- Bejko J, Bottio T, Tarzia V, De Franceschi M, Bianco R, Gallo M, Castoro M, Bortolussi G, Gerosa G. Nitinol flexigrip sternal closu- re system and standard sternal steel wiring: insight from a mat- ched comparative analysis. *Journal of Cardiovascular Medicine*. 2015;16:134–8.
- Dell'Amore A, Campisi A, Giunta D, Congiu S, Dolci G, Murana G, Suarez SM, Daddi N. Surgical options to treat massive sternal de- fect after failed Robicsek procedure. *Journal of thoracic disease*. 2018;10:410.
- Fedak PW, Kieser TM, Maitland AM, Holland M, Kasatkin A, LeBlanc P, Kim JK, King KM. Adhesive-enhanced sternal closure to improve postoperative functional recovery: a pilot, randomized controlled trial. *The Annals of thoracic surgery*. 2011;92:1444–50.
- Orhan SN, Özyazicioğlu MH, Çolak A. Experimental comparison of efficiency of four different sternum closure techniques. *Turkish Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 2017;25:535–42.
- Capek L, Henys P, Kalab M, Solfronk P. Failure of sternal wires de- pends on the number of turns and plastic deformation: combi- ned experimental and computational approach. *Interactive car-*

- diovascular and thoracic surgery. 2018;26:777–82.
26. Marzouk M, Mohammadi S, Baillet R, Kalavrouziotis D. Rigid Primary Sternal Fixation Reduces Sternal Complications among Patients at Risk. *The Annals of thoracic surgery*. 2019;108:737–43.
27. Vestergaard RF, Søballe K, Hasenkam JM, Stilling M. Sternal instability measured with radiostereometric analysis. A study of method feasibility, accuracy and precision. *Journal of cardiothoracic surgery*. 2018;1:41.
28. Casha AR, Manché A, Gatt R, Duca E, Gauci M, Schembri-Wismayer P, Camilleri-Podesta MT, Grima JN. Mechanism of sternotomy dehiscence. *Interactive cardiovascular and thoracic surgery*. 2014;19:617–21.