

Metakarpal eklem içi baş kırıklarında kilitli plak, iki çapraz K-teli ve iki yöntemin kombine şeklinde uygulanmasının sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmesi

Finite element analysis of locked plate, two crossed K-wires, and combined application of both methods in intra-articular metacarpal head fractures

Fatih ALİBEYOĞLU*^{1,2} , Hüseyin MEBDİ³ , Ertuğrul ALLAHVERDİ⁴ 

¹Aalborg University, Department of Materials and Production, 9220, Aalborg, Denmark

²Kafkas Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 36000, Kars

³Çankırı İl Sağlık Müdürlüğü, 18200, Çankırı Merkez/Çankırı

⁴Kafkas Üniversitesi, Tıp Fakültesi Ortopedi ve Travmatoloji A.B.D. 36000, Kars

• Geliş tarihi / Received: 27.02.2024

• Kabul tarihi / Accepted: 20.08.2024

Öz

Kırıklar, özellikle elde meydana geldiğinde, günlük yaşamın kalitesini önemli ölçüde etkileyen travmalardan biridir. Metakarpal kırıklar, en yaygın el kırıkları arasında yer alır ve bunların etkin bir şekilde tedavi edilmesiyle elin normal işlevinin geri kazanılması açısından kritik öneme sahiptir. Bu çalışma, metakarpal eklem içi baş kırıklarının tedavisinde kullanılan kilitli plak, Kirschner teli ve bu iki yöntemin kombinasyonunun sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmesini hedeflemektedir. Bu çalışmada el travması geçiren bir bireyin bilgisayarlı tomografi verileri kullanılarak üç boyutlu bir metakarpal kemik modeli ve kırık hattı oluşturulmuştur. Üç farklı tedavi için oluşturulmuş modellerin sonlu elemanlar esaslı analizi yapılmıştır ve analizlerinden elde edilen eşdeğer gerilme sonuçları değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular kilitli plak ve iki çapraz Kirschner teli kombinasyonunun diğer iki metoda kıyasla daha düşük gerilme değeri verdiğini göstermektedir. Bu sonuç, kombinasyon yönteminin kilitli plakaya göre nispeten daha stabil bir yapı sağladığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, yalnızca Kirschner teli kullanılan yöntemin ise incelenen üç metod içinde en yüksek gerilme değerine sahip olduğu tespit edilmiş, bu da onun en az stabil yöntem olduğunu göstermektedir. Bu bulgular neticesinde, metakarpal eklem içi baş kırıklarının tedavisinde kilitli plak ve iki çapraz Kirschner teli kombinasyonunun kullanılmasının daha etkin olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Kirschner teli, Kilitli plak, Metakarpal kırıkları, Sonlu elemanlar analizi

Abstract

Fractures, especially when they occur in hand, are one of the traumas that significantly affect the quality of daily life. Metacarpal fractures are among the most common types of hand fractures, and it is essential to treat them effectively to restore normal hand function. This study uses the finite element method to analyze the effectiveness of locked plates, Kirschner wires, and a combination of both in treating intra-articular metacarpal head fractures. Using computed tomography data from an individual who suffered hand trauma, a three-dimensional metacarpal bone model and fracture line were created. Finite element-based analyses were conducted for models created for three different treatments, and the equivalent stress results obtained from the analyses were evaluated. The findings indicate that combining a locking plate and two crossed Kirschner wires produces lower stress values than the other two methods. This result demonstrates that the combined method provides relatively greater stability than the locking plate alone. Additionally, the method using only the Kirschner wire was found to have the highest stress values among the three methods examined, indicating it is the least stable method. Consequently, it has been concluded that the combination of a locking plate and two crossed Kirschner wires is more effective for the treatment of intra-articular metacarpal head fractures.

Keywords: Kirschner wire, Locked plate, Metacarpal fracture, Finite element analysis

*Fatih Alibeyoğlu; fatiha@mp.aau.dk

1. Giriş

1. Introduction

İnsanoğlu, günlük yaşam aktivitelerini sürdürebilmek için ellerini aktif olarak kullanmaya ihtiyaç duymaktadır (Kat, 2018). El kırıkları, ellerin fiziksel ortam ile sürekli teması nedeniyle, özellikle 10 ile 29 yaş arası aktif çalışan bireylerde sıkça görülmektedir (Özcan, 2019). El kırıkları tüm vücut kırıklarının %10'unu, metakarpal kırıklar ise bu kırıkların %36-42'sini oluşturmaktadır (Zhang vd., 2022).

Metakarpal kırıklarının tedavisindeki temel amaç el fonksiyonunun ideale yakın bir seviyeye getirilmesidir (Giddins, 2015). Çoğu metakarpal kırık konservatif yöntemlerle tedavi edilebilirken, parçalı ve stabil olmayan kırıklar cerrahi müdahale gerektirebilir (van Busse et al., 2019; Chiu et al., 2022). Metakarpal kırıklar, kırık hattının morfolojisine bağlı olarak Kischner teli (K-teli), kemik içi teller, lag vidaları veya kilitli plaklar (KP) ile cerrahi olarak tedavi edilebilir (Kollitz vd., 2014). Metakarpal kırık tedavisinin temel amacı, erken hareketi mümkün kılacak şekilde bir stabilite sağlamaktır (Lambi vd., 2023). Stabilite, metakarpal kırık tedavisinde kritik öneme sahiptir. Özellikle eklem içi kırıkların tedavisi zor olup, stabilite sağlanamadığı uzun vadeli işlev kaybı ve geç artrit gibi komplikasyonlar ortaya çıkabilir (Diaz-Garcia & Waljee, 2013). Kırıkların stabil bir şekilde sabitlenmesi, komplikasyon riskini önemli ölçüde azaltır ve iyileşme sürecini hızlandırır. Yetersiz stabilite, kemik yenilenmesi için gerekli biyolojik süreçleri engelleyerek iyileşmenin sağlanmamasına veya kaynamama durumuna neden olabilir (Hu vd., 2023). Literatürde kemik kaynaması ile ilgili sorunların %30 ile %40 arasında olduğu belirtilmiştir (Lee vd., 2017). Bu nedenle cerrahi tekniklerin ve sabitleme yöntemlerinin dikkatli seçilmesi ve uygulanması, tedavi başarısının anahtarıdır (Lambi vd., 2023). Metakarpal kırıklarının farklı tedavi yöntemlerini kıyaslayarak biyomekaniklerinin anlaşılması, hastanın sonuçlarını optimize etmek için oldukça önemlidir (Wang et al., 2019).

Sonlu elemanlar analizi (SEA), çeşitli tedavi yöntemlerinin kemik-implant yapılarında oluşturduğu mekanik etkiler ve iyileşme sürecine olan etkileri incelemekte kullanılır (Asl vd., 2015). Detaylı analiz imkânı sunan SEA, tekrarlanabilirlik, maliyet etkinliği ve etik avantajlar sayesinde deneysel yöntemlere üstünlük sağlamaktadır (Schileo vd., 2007). Gerçek hayattaki kuvvetleri simüle ederek ve kemiklerin ve implantın mekanik davranışını değerlendirerek, kırık stabilitesi, tedavi sonuçları ve implant performansı hakkında bilgi sağlar. Bu bilgiler, klinisyenlere tedavi metodunu optimize etme konusunda rehberlik edebilir.

Metakarpal kırıkları sıklıkla karşılaşılan kırık tipi olmasına rağmen, literatürde metakarpal kırıklar üzerine yapılan sonlu elemanlar çalışmaları oldukça kısıtlıdır. Hayashi ve arkadaşları K-telinin farklı açılarda ve kalınlıklarda falanks kırık stabilitesi üzerine etkisini incelemiştir (Hayashi vd., 2023). Zhang ve arkadaşları metakarpal şaft kırıklarının sabitlenmesi için optimal vida sayısını araştırmışlardır (Zhang vd., 2022). Hutchison ve arkadaşları 3 farklı intramedüller K-tel fiksasyonu metodunun şaft kırıklarının stabilizasyonuna olan etkisini incelemiştir (Hutchison vd., 2022). Meng ve arkadaşları Bennett kırığının tedavisi için mini eksternal fiksasyonu ve perkütan K-tel fiksasyonunu karşılaştırmıştır (Meng vd., 2013).

Bu çalışmada, metakarpal kırıklarında sıklıkla kullanılan KP ve K-teli yöntemlerinin ve bu iki yöntemin kombinasyonunun, 2. metakarpal eklem içi baş kırıkları üzerindeki etkilerinin sonlu elemanlar esaslı analizi yapılmıştır. Eklem içi baş kırıkları, karmaşık yapıları ve tedavi zorlukları nedeniyle özel bir öneme sahiptir. Literatürde metakarpal kırıkların sonlu elemanlar analizi ile incelenmesi konusunda sınırlı çalışma bulunmakta olup, bu çalışmanın amacı, farklı tespit yöntemlerinin karşılaştırmalı analizini yaparak en uygun tedavi stratejilerini belirlemektir. Bu analizler, klinisyenlere kırık stabilitesi, tedavi sonuçları ve implant performansı hakkında değerli bilgiler sağlayarak tedavi yöntemlerinin optimize edilmesine rehberlik edebilir.

2. Materyal ve yöntem

2. Material and method

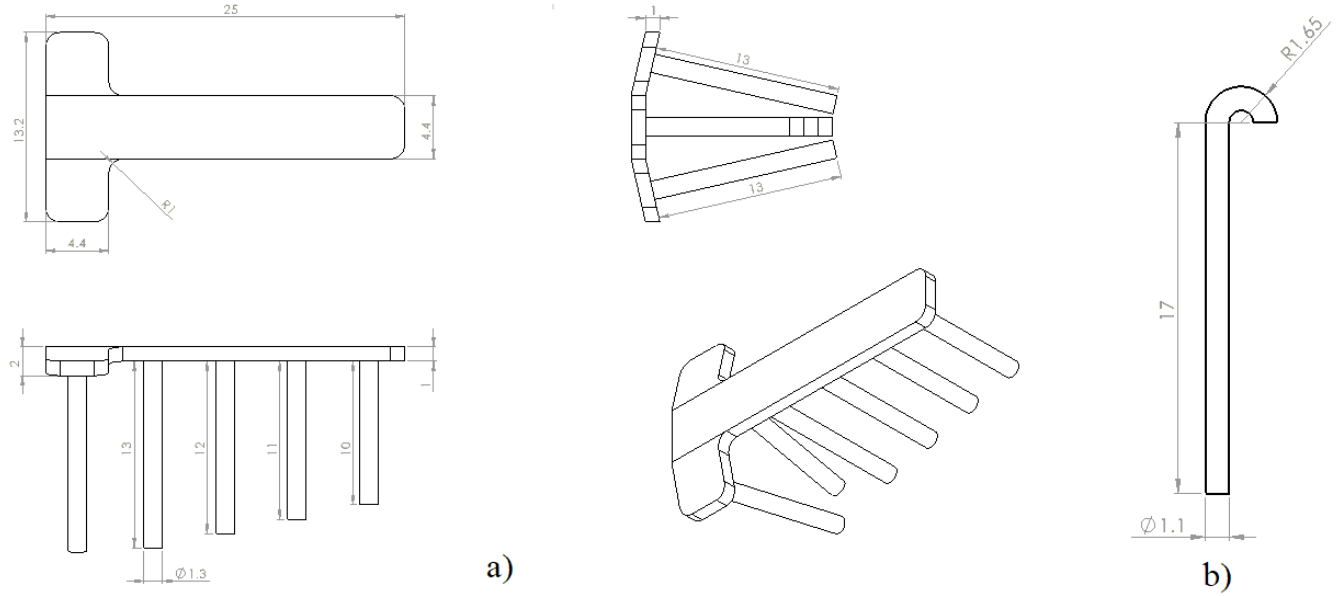
2.1. Hastaya ait görüntülerin elde edilmesi, kemiğin ve implantların 3B modellenmesi:

2.1. Acquiring images of the patient, 3D modelling of bone and implants

Bu çalışmada kullanılan bilgisayarlı tomografi (BT) verisi, Kafkas Üniversitesi Sağlık Araştırma ve Uygulama Merkezi Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı kliniğine düşme şikâyeti ile başvuran 35 yaşındaki bir erkek hastadan alınmıştır. Kafkas Üniversitesi Tıp Fakültesi'nin, 24.02.2023 tarihli, 80576354-050-99/255 sayılı ve 209 kayıt numaralı etik kurulunun onayı alınarak, hastaya ait görüntüler kullanılmıştır. Metakarpal kemik 0.5

mm'lik kesit aralıklarında çekilmiş DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) formatındaki BT verilerinden, MIMICS (Materialise's Interactive Medical Image Control System) yazılımı aracılığıyla tek katman şeklinde 3B olarak modellenmiştir (Meng vd., 2013). SEA aşamasında istenmeyen gerilmelerin ortaya çıkmasını engellemek için yüzey kalitesi iyileştirilmiştir.

Metakarpal kırık tedavisinde kullanılan K-telleri ile KP ve vidaları (17124034/8H/0009/1.7) United Grup tarafından temin edilmiştir. K-telleri %100 çelikten, plak ve vidalar ise %100 titanyumdan üretilmiştir. Malzeme özellikleri, firma tarafından sağlanan verilere dayanmaktadır. K-teli, plak ve vidaların tasarımı SolidWorks yazılımı (v2019) ile 3B olarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Vida yüzeylerindeki girintiler, noktasal gerilmelerden kaçınmak amacıyla düz silindirik yüzey şeklinde modellendi (Inzana vd., 2016).



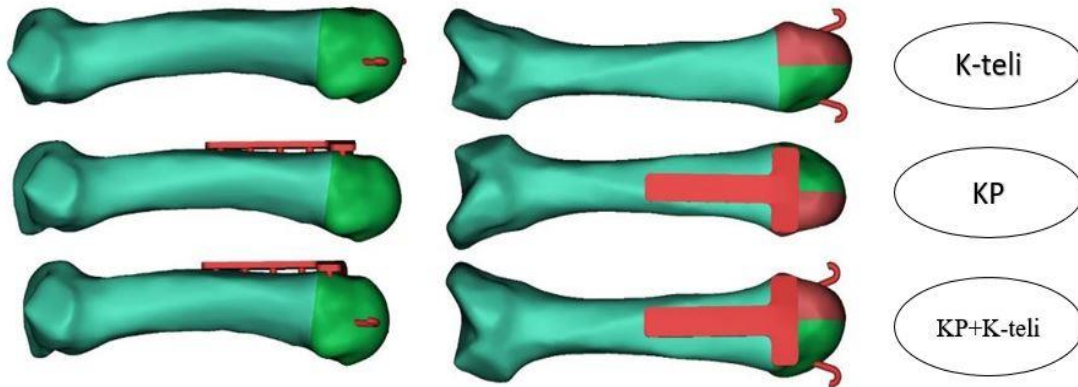
Şekil 1. Teknik resimler. (a) KP'nin ve (b) K-teli'nin teknik resmi.

Figure 1. Technical drawings. (a) Technical drawing of LP and (b) K-wire.

2.2. Sonlu elemanlar modelinin oluşturulması

2.2. Finite element modelling

Bu çalışmada kullanılan metakarpal kemiğin distal ucunda, eklem içine denk gelecek şekilde 0.1 mm'lik ara açıklığı olan iki parçalı bir kırık hattı oluşturulmuştur. Her üç tedavi yöntemini (KP, K-teli ve bu ikisinin kombinasyonu) temsil edecek şekilde, kemiğe montaj yapıldı. Montaj yerlerine gelen kemik dokusu çıkarılarak, kemikte vida ve K-teli için boşluklar oluşturuldu. Vida ve K-telleri, bikortial olacak şekilde monte edildi.



Şekil 2. Üç farklı tedavi yönteminin gösterimi

Figure 2. Representation of three different treatment methods

İmplant yerleştirilmiş elemanların analizini yapabilmek için gerekli olan meshleme işlemi 3-MATIC yazılımı kullanılarak gerçekleştirildi. Mesh tipi tetrahedron eleman seçilmiştir ve tüm analizlerde mesh kalitesi birimi olan skewness değeri 0.25'in altındadır. SEA'ya başlamadan önce aşağıda belirtilen bazı varsayımlar (Zhang vd., 2022) yapılmıştır:

1. İkinci metakarpalda olası bir eklem içi baş kırığı olduğu kabul edilmiş ve kırık parçaları, anatomik yapıya uygun olarak sürtünmesiz redükte edilmiştir.
2. KP bir bütün olarak tasarlanmış ve K-teli sıkı (*bonded*) bir şekilde monte edilmiştir. Kemik yüzeyleri arasındaki kontakt durumu yüzeyleri ayrılmaz temas (*no separation*) edecek şekilde ayarlanmıştır (Zhang vd., 2022).
3. Sabitleme yöntemlerinde kullanılan malzemelerin herhangi bir kırılma veya gevşeme yaşamayacağı varsayılmıştır.
4. Kuvvet uygulanan yüzey, kemiğin uç noktası olarak seçilmiş ve sabitleme noktası, kemiğin taban kısmı olarak belirlenmiştir.
5. KP, K-teli ve kemik dokusu, elastik ve izotropik malzemeler olarak kabul edilmiştir (Lewis vd., 2021).

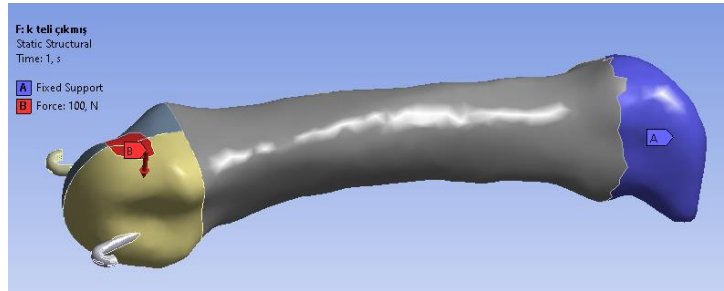
Zhang ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada metakarpal kemiklerden her birinin taşıyabileceği doğrusal yüklemenin en fazla 100 N olduğunu belirtmişlerdir (Zhang vd., 2022). K-telinin çapı 1.1 mm bir değer olarak belirlenmiştir (Hutchison vd., 2022) ve malzeme özellikleri de Tablo 1'de belirtilmiştir.

Tablo 1. Kemik, K-teli ve KP için malzeme özellikleri

Table 1. Material properties for bone, K-wire and LP

Malzeme adı	Young modülü (GPa)	Poisson oranı
Kemik	10	0.3
K-teli	110	0.33
Plak & vidalar	100	0.32

ANSYS/Workbench (v18.2) analiz sayfasında her üç tedavi yöntemi için de aynı sınır şartları uygulanmıştır. Kemik proksimal ucundan Şekil 3'te gösterildiği gibi sabitlenmiş ve baş kısmına '-y' yönünde 100N uygulanmıştır. Böylece her tedavi metodu için analiz yapılarak gerilme değerleri elde edilmiştir.



Şekil 3. Sınır şartları

Figure 3. Boundary conditions

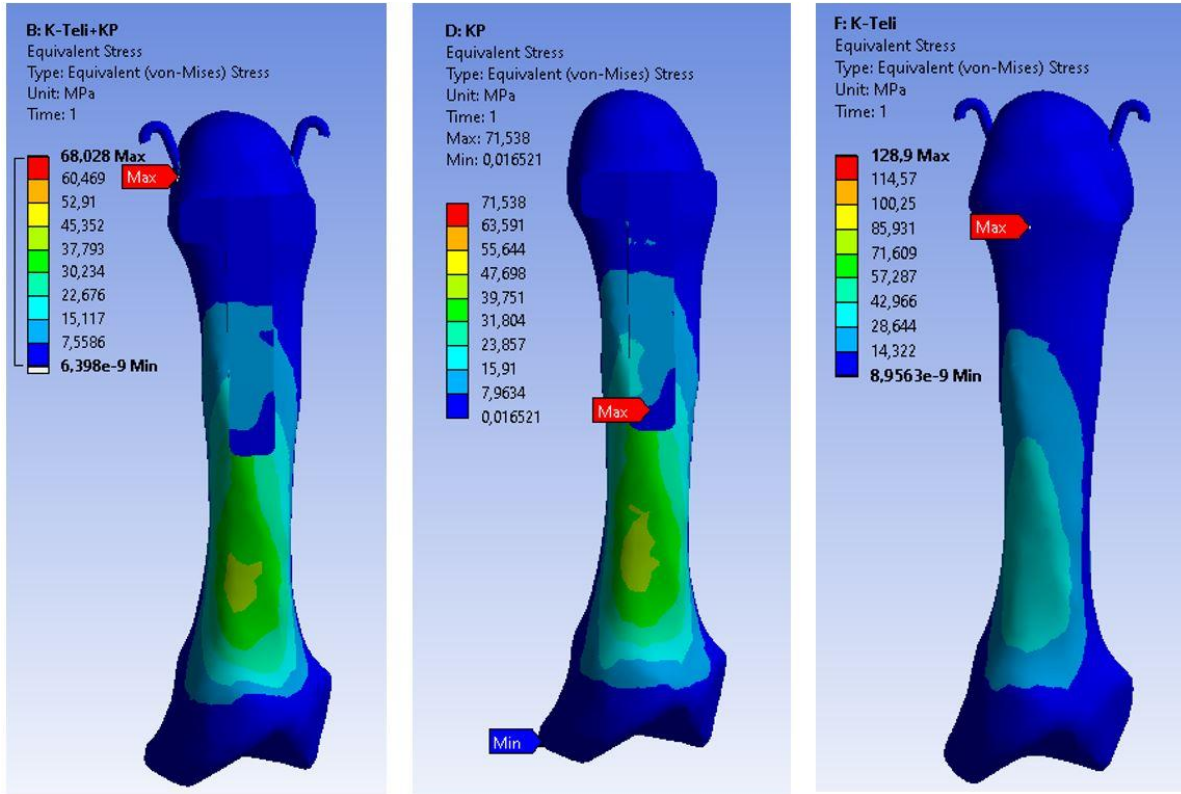
3. Bulgular ve tartışma

3. Results and discussions

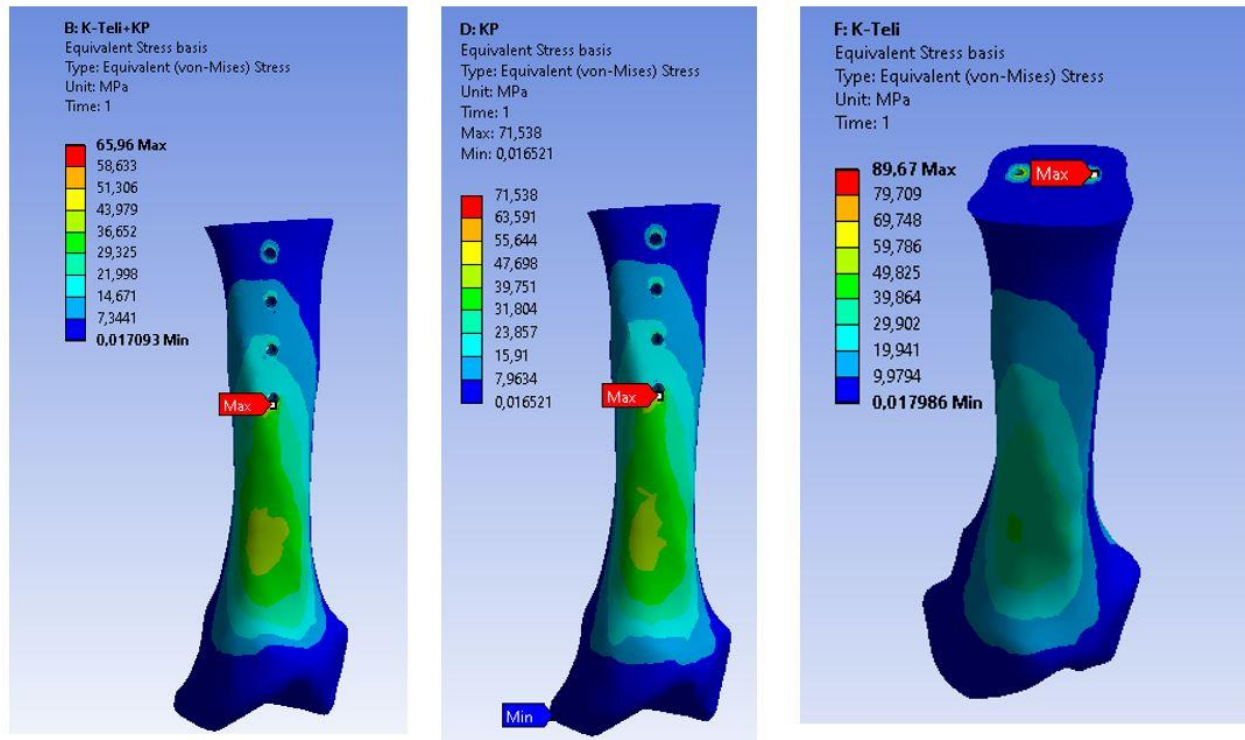
Bu bölümde, metakarpal eklem içi baş kırıklarının cerrahi tedavi yöntemlerinden KP, K-teli ve KP ve K-telinin birlikte kullanılmasının SEA yöntemiyle karşılaştırılmalı analizi yapılmış ve sonuçlara yer verilmiştir.

Maksimum eşdeğer gerilme sonuçları Şekil 4'te gösterilmiştir. En yüksek maksimum gerilme değeri, iki çapraz K-telinin kullanıldığı metotta (128.9 MPa) ortaya çıkmıştır. Plak ve K-telinin birlikte kullanıldığı tedavi yöntemi, diğer metotlara kıyasla en düşük gerilme değerine (68.028 MPa) sahiptir. Sadece kilitli plak kullanılan tedavi yönteminde ise gerilme değeri 71.538 MPa olarak hesaplanmıştır.

Şekil 5'te metakarpal kemiğin gövde kısımlarında meydana gelen gerilme değerleri gösterilmiştir. KP kullanılan her iki modelde de maksimum gerilme değerleri, kemiğin proksimal kısmındaki vida deliğinde ortaya çıkmıştır.

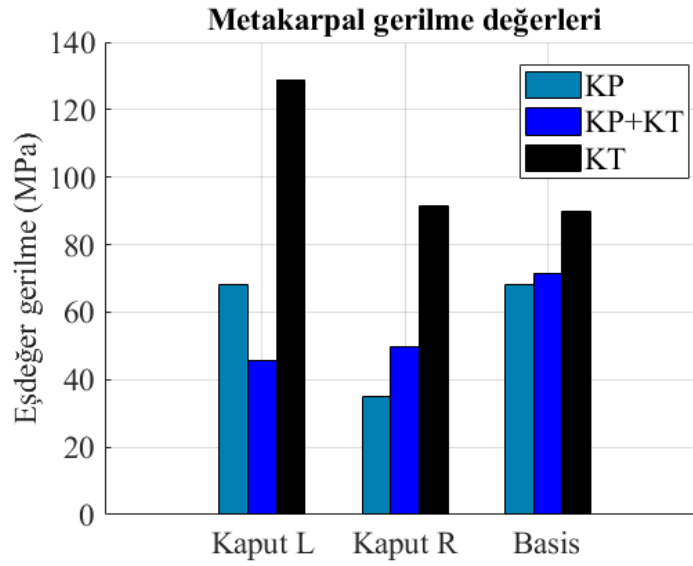


Şekil 4. Eşdeğer gerilme değerleri
Figure 4. von Mises equivalent stress values



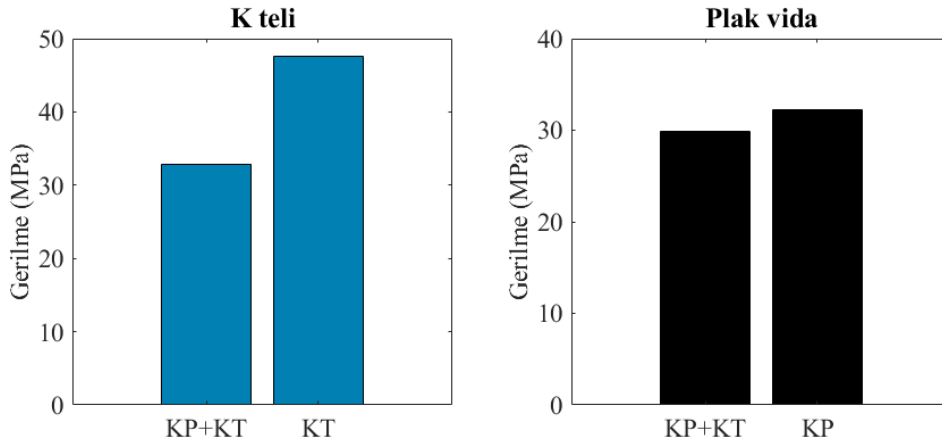
Şekil 5. Kemik basis eşdeğer gerilme değerleri
Figure 5. von Mises equivalent stress values of bone basis

Kemiğin sağ ve sol baş (kaput) kısımlarında ve gövdesinde meydana gelen gerilme değerlerinin dağılımı Şekil 6'da grafiksel olarak sunulmuştur. Tüm kemiklerde en yüksek gerilme değerleri K-telinin kullanıldığı metotta ortaya çıkmıştır.



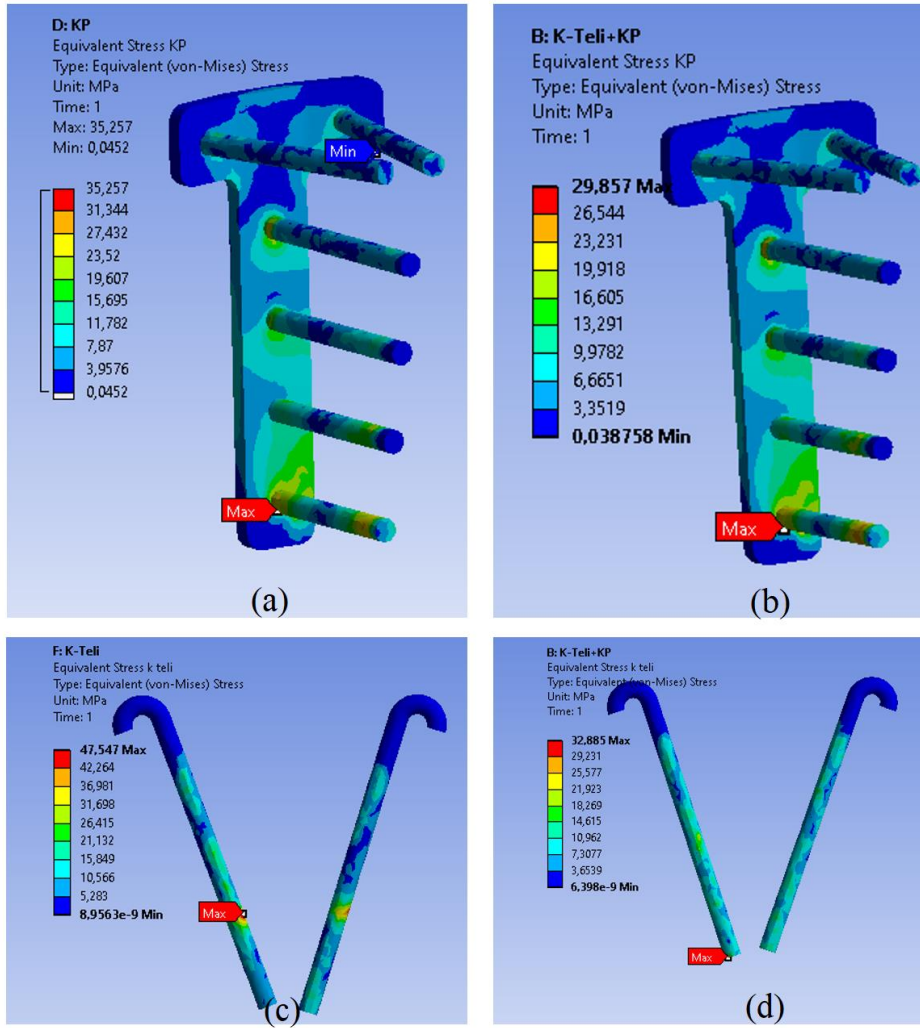
Şekil 6. Tüm kemiklerde oluşan eşdeğer gerilme değerleri
Figure 6. Equivalent stress values in all bones

Üç tedavi yönteminde de implantlarda ortaya çıkan gerilmeler karşılaştırmalı olarak verilmiştir. İmplantlardaki gerilme değerleri KP+KT'nin birlikte kullanıldığı uygulamada nispeten bu implantların tek kullanıldığı metotlardan düşük çıkmıştır.



Şekil 7. İmplantlarda oluşan eş değer gerilme değerleri
Figure 7. Equivalent stress values in implants

Her iki plak vida modelinde maksimum gerilme değerlerinin proksimal taraftaki vidanın kemiğe girdiği kısımda oluştuğu görülmektedir. Kaputlara geçen kısımlardaki gerilme nispeten gövdede kalan bölgelerdekine göre düşük çıkmıştır. K-tellerine bakıldığında iki modelde de düzgün bir dağılım söz konusudur. K-teli ve kilitli plağın birlikte kullanıldığı modelde maksimum gerilme K-telinin ucunda çıkmışken, sadece K-telinin olduğu tedavide ise K-telinin metakarpal kaputtan çıkıp baş kısmına girdiği noktada oluştuğu görülmüştür.



Şekil 8. İmplantlarda oluşan gerilme değerleri. (a) Plak (KP) (b) Plak (KP-KT). (c) K-Teli (KT) (d) Plak (KP-KT).

Figure 8. Stress values of implants. (a) Plate (LP) b) Plate (LP-KW). (c) K Wire (KW) (d) Plate (LP-KW).

4. Sonuçlar

4. Conclusions

El kırıkları, günlük yaşamda sıklıkla karşılaşılan travmatik durumlardan biridir ve genellikle çeşitli cerrahi müdahaleler gerektirir. Metakarpal kırıkları, elin hareket kabiliyeti açısından büyük öneme sahiptir ancak bu tür kırıklar için henüz evrensel olarak kabul görmüş bir tedavi yöntemi bulunmamaktadır (Gocke, 2023). Mevcut tedavi yöntemlerinden KP ve K-teli, çeşitli cerrahi tedavi seçenekleri arasında önemli bir yere sahiptir (Chung & Spilson, 2001). Bu iki yöntemin kombine kullanımının, kırığın stabilitesini artırabileceği ve sekonder yer değişimini önleyerek klinik sonuçları iyileştirebileceği öne sürülmüştür (Zhu vd., 2017). Özellikle eklem içi kırıklar gibi zorlu kırıkların tedavisinde, stabilite ve optimal sonuçlar elde etmek için doğru tedavi yönteminin belirlenmesi oldukça önemlidir aksi takdirde ciddi komplikasyonlar ortaya çıkabilir (Seaton, 2023) Ancak tedavi yöntemlerin etkinliği ve uygulanabilirliği üzerine yapılan araştırmalar, çoğunlukla deneysel ve sübjektif değerlendirmelere dayanmaktadır. Bu durum, bu tekniklerin somut ve objektif değerlendirmesini zorlaştırabilir. Kemik kırıklarının biyomekanik analizi, deneysel denemelerden elde edilen verilerle karşılaştırıldığında, SEA ile daha doğru ve detaylı bilgilere ulaşılabilmektedir (Kalayarsan vd., 2013). Bu amaçla SEA, metakarpal kemiklerin gerilme dağılımını ve kırılma davranışını doğru bir şekilde tahmin edebilir ve metakarpal kırıklar için en uygun tedavi stratejileri ve fiksasyon yöntemleri hakkında değerli bilgiler sağlayabilir. Bu çalışmada, metakarpal kırıklarının cerrahi tedavisinde yaygın olarak kullanılan K-teli KP ve bu iki yöntemin birlikte kullanıldığı yöntem SEA ile biyomekanik açıdan karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir.

Literatürde metakarpal kırıkları üzerine yapılan sonlu elemanlar çalışmaları oldukça sınırlıdır. Hutchison ve arkadaşları, K-tellerinin 100N'luk bir kuvvet altında sonlu elemanlar analizini yapmışlardır. Bu çalışmada, tek bir K-teli yerine iki K-telinin bitişik olarak kullanılmasının iki kat daha fazla rijitlik sağladığını belirtmişlerdir (Hutchison vd., 2022). Bu bulgu ışığında, bu çalışmada da K-telinin ikili kombinasyonunun kullanımına karar verilmiştir.

Wang ve arkadaşları, plak fiksasyonunun K-teli fiksasyonuna kıyasla daha yüksek genel başarı oranına ve daha düşük komplikasyon oranına sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, plakların sağladığı daha iyi stabilite sayesinde, elin erken mobilizasyonuna izin vererek fonksiyonel sonuçların iyileşmesine katkıda bulduklarını vurgulamışlardır (Wang vd., 2020). Bu çalışmanın sonuçları da KP'nin K-teline göre daha stabil olduğunu göstermektedir. Özellikle gerilme değerleri açısından KP'de ölçülen değer, K-telinin değerine kıyasla yaklaşık %44 daha düşüktür. Bu fark, KP'nin yüksek stres durumlarında daha az deformasyona uğrayarak daha yüksek stabilite sunduğunu ve dolayısıyla iyileşme sürecinde daha avantajlı olduğunu göstermektedir. Wang ve arkadaşlarının bulguları, KP'nin K-teline göre daha etkin bir tedavi yöntemi olduğunu güçlü bir şekilde desteklemektedir.

Zhu ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, beşinci metakarpal boyun kırıklarının tedavisinde KP ve çapraz K-telleri kombinasyonunun, sadece kilitli plaka kullanımına kıyasla daha iyi klinik sonuçlar verdiği belirtilmiştir (Zhu vd., 2017). Bu kombinasyonun Michigan El Sonuçları Anketi (MHQ) puanlarını, nihai açma değerlerini ve hareket aralığını önemli ölçüde iyileştirdiği bulunmuştur. Ayrıca, kombine yöntemin stabiliteyi iyileştirdiği ve böylece fonksiyonel sonuçları iyileştirdiği belirtilmiştir. Bu çalışmada ayrıca sonlu elemanlar analizinden elde edilen gerilme sonuçları incelenmiş ve kombine yöntemin yalnız kilitli plakaya göre üstünlüğü açıkça görülmüştür. Kombine yöntem daha yüksek stabilite sağladığı görülmüştür. SEA sonuçları, klinik bulguları pekiştirir niteliktedir ve optimal iyileşme ve fonksiyonel iyileşme elde etmek için kilitli plaka ve K-teli kombinasyonunun kullanılmasını desteklemektedir. Bununla birlikte, sadece iki çapraz K-teli kullanımının, sadece KP kullanımına göre daha az stabil olduğu görülmüş ve tedavi açısından bu yöntemin en az stabil olduğu yorumu yapılmıştır.

Üç yöntem kıyaslandığında en düşük gerilme değerleri kombine yöntemde görülmüştür. Bu değerler, sadece plak kullanımıyla yakınlık gösterirken, yalnızca iki çapraz K-teli kullanımına göre belirgin bir şekilde düşüktür. Bu bulgular, yalnızca K-teli kullanımının daha az stabilite sağladığını göstermektedir. Klinik çalışmalar, stabilite açısından kilitli plak ile K-teli arasındaki farkları da doğrulamıştır (Adams vd., 2013). Çalışmamızdan elde edilen sonuçlar ışığında, K-teli yerine plak kullanımının tercih edilmesi önerilmektedir.

Bu çalışmada bazı sınırlamalar bulunmaktadır. İlk olarak SEA yöntemi ile yapılan analizler sadece ikinci metakarpal kemik için yapılmıştır. Ayrıca, kemik dokusu izotropik bir malzeme olarak kabul edilmiştir. Uygulanan kuvvetin yalnızca -y doğrultusunda olduğu varsayılmıştır.

Bu sınırlamalar ışığında, gelecekte yapılacak çalışmalar için bazı önerilerde bulunulabilir. Farklı kalınlıklarda K-teli ve KP örnekleri üzerinde çalışmalar yaparak, çeşitli kırık tipleri ve tedavi yöntemleri arasındaki etkileşimler daha detaylı incelenebilir. Ayrıca sonlu elemanlar yöntemi ile canlı vücutta oluşan burulma ve yorulma karakteristiklerini, metakarpale monte edilmiş plaklar ve teller üzerinde test etmek, gerçekçi koşullar altında bu tedavi yöntemlerinin etkinliğini ölçmek için kullanılabilir. Bu tür çalışmalar, kırık tedavisi konusunda daha etkili ve güvenilir sonuçlar elde edilmesine yardımcı olabilir.

Teşekkür / Katkı belirtme

Acknowledgement

Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında göstermiş oldukları çalışma ve değerli katkılarından dolayı editör olmak üzere tüm hakemlere içten teşekkürlerimi sunarız.

Yazar katkısı

Author contribution

Fatih Alibeyoğlu: Makale yazımı, kavramsallaştırma, araştırma
Hüseyin Mebdi: Modelleme, sonlu elemanlar analizi
Ertuğrul Allahverdi: Veri temini, etik kurul izni

Etik beyanı*Declaration of ethical code*

Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiđi Yönergesi” kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiđine Aykırı Eylemler” başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi için Kafkas Üniversitesi Tıp Fakültesi Dekanlığınca 24/02/2023 tarih ve 80576354-050-99/255 sayılı etik kurul kararı alınmıştır.

Çıkar çatışması beyanı*Conflicts of interest*

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar*References*

- Adams, J. E., Miller, T., & Rizzo, M. (2013). The Biomechanics of Fixation Techniques for Hand Fractures. *Hand Clinics*, 29(4), 493-500. <https://doi.org/10.1016/j.hcl.2013.08.004>
- Asl, H., Kovacı, H., Aksaran, A., Kaymaz, İ., Çelik, A., & Yildirim, Ö. (2015). Tibia Kırıklarında Kullanılan Kilitli ve Kilitli Plak Fiksasyon Sistemlerinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18(3), 167-174.
- Chen, K.-J., Wang, J.-P., Yin, C.-Y., Huang, H.-K., Chang, M.-C., & Huang, Y.-C. (2020). Fixation of fifth metacarpal neck fractures: A comparison of medial locking plates with intramedullary K-wires. *Journal of Hand Surgery (European Volume)*, 45(6), 567-573. <https://doi.org/10.1177/1753193419896518>
- Chiu, Y.-C., Hsu, C.-E., Ho, T.-Y., Ting, Y.-N., Tsai, M.-T., & Hsu, J.-T. (2022). Biomechanical study on fixation methods for horizontal oblique metacarpal shaft fractures. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 17(1), 374. <https://doi.org/10.1186/s13018-022-03267-2>
- Chung, K. C., & Spilson, S. V. (2001). The frequency and epidemiology of hand and forearm fractures in the United States. *The Journal of Hand Surgery*, 26(5), 908-915. <https://doi.org/10.1053/jhsu.2001.26322>
- Diaz-Garcia, R., & Waljee, J. F. (2013). Current Management of Metacarpal Fractures. *Hand Clinics*, 29(4), 507-518. <https://doi.org/10.1016/j.hcl.2013.09.004>
- Giddins, G. E. B. (2015). The non-operative management of hand fractures. *Journal of Hand Surgery (European Volume)*, 40(1), 33-41. <https://doi.org/10.1177/1753193414548170>
- Gocke, T. (2023). Metacarpal Fractures: A Review of Fracture Characteristics and Treatment Options. *JBJS Journal of Orthopaedics for Physician Assistants*, 11(1), e22. <https://doi.org/10.2106/JBJS.JOPA.22.00018>
- Hayashi, Y., Ajiki, T., Takahashi, T., Endo, T., & Takeshita, K. (2023). Finite Element Analysis of the Mechanical Strength of Phalangeal Osteosynthesis Using Kirschner Wires. *The Journal of Hand Surgery (Asian-Pacific Volume)*, 28(02), 163-171. <https://doi.org/10.1142/S2424835523500169>
- Hutchison, R. L., Boles, J., & Duan, Y. (2022). Biomechanical Modeling of Connecting Intermetacarpal K-Wires in the Treatment of Metacarpal Shaft Fractures. *HAND*, 17(3), 412-415. <https://doi.org/10.1177/1558944720946485>
- Hu, M., Zeng, W., Zhang, J., Feng, Y., Ma, L., Huang, F., & Cai, Q. (2023). Fixators dynamization for delayed union and non-union of femur and tibial fractures: A review of techniques, timing and influence factors. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 18(1), 577. <https://doi.org/10.1186/s13018-023-04054-3>
- Inzana, J. A., Varga, P., & Windolf, M. (2016). Implicit modeling of screw threads for efficient finite element analysis of complex bone-implant systems. *Journal of Biomechanics*, 49(9), 1836-1844. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2016.04.021>

- Kalayarasan, M., Prakash, L., & Shankar, S. (2013). Material selection of acetabular component in human hip prosthesis using finite element concepts. *International Journal of Experimental and Computational Biomechanics*, 2(2), 118-135. <https://doi.org/10.1504/IJECB.2013.056519>
- Kat, G. (2018). *Falanks ve metakarpal kemik kırıklarında eksternal fiksator uygulamaları sonuçlarının retrospektif olarak değerlendirilmesi* [Uzmanlık Tezi, Bursa Uludađ Üniversitesi]
- Kollitz, K. M., Hammert, W. C., Vedder, N. B., & Huang, J. I. (2014). Metacarpal Fractures: Treatment and Complications. *HAND*, 9(1), 16-23. <https://doi.org/10.1007/s11552-013-9562-1>
- Lambi, A. G., Rowland, R. J., Brady, N. W., Rodriguez, D. E., & Mercer, D. M. (2023). Metacarpal fractures. *Journal of Hand Surgery (European Volume)*, 48(2_suppl), 42S-50S. <https://doi.org/10.1177/17531934231184119>
- Lee, J.-K., Jo, Y.-G., Kim, J.-W., Choi, Y. S., & Han, S.-H. (2017). Open reduction and internal fixation for intraarticular fracture of metacarpal head. *Der Orthopäde*, 46(7), 617-624. <https://doi.org/10.1007/s00132-017-3392-8>
- Lewis, G. S., Mischler, D., Wee, H., Reid, J. S., & Varga, P. (2021). Finite Element Analysis of Fracture Fixation. *Current Osteoporosis Reports*, 19(4), 403-416. <https://doi.org/10.1007/s11914-021-00690-y>
- Meng, L., Zhang, Y., & Lu, Y. (2013). Three-dimensional finite element analysis of mini-external fixation and Kirschner wire internal fixation in Bennett fracture treatment. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, 99(1), 21-29. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2012.07.015>
- Okazaki, A., Sakano, H., & Inaba, Y. (2019). Retrograde Intramedullary Absorbable Pin Fixation for Intraarticular Fracture of the Metacarpal Head. *Journal of Hand Surgery Global Online*, 1(4), 208-213. <https://doi.org/10.1016/j.jhsg.2019.06.001>
- Özcan, Ç. (2019). El falanks kırıklarında açık redüksiyon ve plak ile fiksasyonun sonuçları. *Cukurova Medical Journal*, 44, 427-433. <https://doi.org/10.17826/cumj.560382>
- Seaton, D., Sidhu, G., Kitsis, C., & Ashwood, N. (2023). Open Reduction and External Fixation of a Comminuted Intra-articular Fifth Metacarpal Head Fracture: A Case Report. *Cureus*, 15(5). <https://doi.org/10.7759/cureus.38845>
- van Bussel, E. M., Houwert, R. M., Kootstra, T. J. M., van Heijl, M., Van der Velde, D., Wittich, Ph., & Keizer, J. (2019). Antegrade intramedullary Kirschner-wire fixation of displaced metacarpal shaft fractures. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, 45(1), 65-71. <https://doi.org/10.1007/s00068-017-0836-0>
- Wang, D., Sun, K., & Jiang, W. (2020). Mini-plate versus Kirschner wire internal fixation for treatment of metacarpal and phalangeal fractures. *Journal of International Medical Research*, 48(3), 0300060519887264. <https://doi.org/10.1177/0300060519887264>
- Zhang, J.-F., Li, Y., Huo, Y.-X., Yan, M., Liang, S.-L., Wang, L., & Wang, B.-C. (2022). Biomechanical analysis of locking plates for fixation of metacarpal shaft fractures: A finite element analysis. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, 103340. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2022.103340>
- Zhu, H., Xu, Z., Wei, H., & Zheng, X. (2017). Locking Plate Alone versus in Combination with Two Crossed Kirschner Wires for Fifth Metacarpal Neck Fracture. *Scientific Reports*, 7, 46109. <https://doi.org/10.1038/srep46109>