

Tıp Doktoru ve Mühendis Bakış Açısıyla Ortopedik İmplantlar

Canlı, içinde kan ve dokular bulunan, sürekli yenilenen ve yapısı pek çok değişkene bağlı olan kemikler kırıldıklarında tekrar nasıl birleştirilir?

Kemiğin alternatifi olabilecek malzemeler var mı? Tıp doktorlarının istekleri ve ihtiyaçları nelerdir?

Mühendisler tıp doktorları ile birlikte ortopedik implantları nasıl tasarlar ve üretir?

Altı Milyon Dolarlık Adam 1974-1978 yılları arasında TRT ekranlarında gösterilen bir dizi filmi. Bir uçak kazası sonrasında Albay Steve Austin yeniden hayata döndürülmüştü ve vücudunun hasar görmüş bir bölümü mekanikti. O artık "Biyonik Adam Steve Austin"di. Sonraki yıllarda "siborg" karakterini sinemalarda görmeye başladık. Bir canlının siborg sayılması için ana şart, makine kısmının canlının yaşamsal işlevlerden birinde rol almasıydı. Örneğin yapay kalbi olan bir insan, bir çeşit "sibernetik organizma"dır. Bir başka sinema filmi, çatışmada çete üyeleri tarafından kurşuna dizilerek acımasızca öldürülen polis memuru Alex Murphy'nin vücudunun çelikten yapılmış bir robotla birleştirilmesini anlatıyordu. Terminatör filmi de robot-insan karışımı biyonik insanların sinema perdesindeki en popüler örneklerinden biridir.

İnsanların standart özelliklerinin ve kapasitelerinin üzerinde güce ve dayanıma sahip olma istekleri, günümüz hayat temposunun ve beklentilerin artması yüzünden normal karşılanabilir. Diğer yandan insanlar başlarına gelen çeşitli kaza ve hastalıklar nedeniyle günlük hayatlarına devam edemiyor ve yaşam konforlarından ödün vermek zorunda kalabiliyorlar. Bu durumda kazadan önceki bedensel işlevlerin yerine getirilmesi, kaza ve hastalık öncesi hayat standartlarının yakalanması isteniyor.

Ortopedi ve travmatoloji ana bilim dalı, organizmayı taşıyan, ona hareket veren, dış etkilere karşı iç organları, yumuşak dokuları ve sinir sistemini koruyan iskelet sistemimizin sağlığı ve bu sistem üzerinde gerçekleşen hastalık ve sorunlar ile ilgilenir.

Ortopedinin uğraştığı ana malzeme kemiktir. Kemiğin yanı sıra ona hareket veren kaslar, kas kırımları ve eklemler de ortopedinin konusudur. Bu unsurlardan her biri iskelet sistemini bir arada tutan ve işlevlerin yerine getirilmesine yarayan yapı taşlarıdır.

Bu unsurlardan herhangi birinin ya da bir kısmının bütünlüğünün bozulması ya da çeşitli nedenlerle artık kullanılamaz hale gelmesi sonucunda "implant" olarak isimlendirilen yapay ekipmanlar ile iskelet sistemi desteklenir. Böylelikle görevini gerçekleştiremeyen iskelet sistemi parçasının yerine yapay bir çözüm üretilir. Ortopedide kullanılan hemen hemen her implant kemik ile ilişkilendirilir. Bu noktada mühendislerin ve tıp doktorlarının birlikte çözmeleri gereken bir takım sorunlar ortaya çıkıyor. Belirli bir uygulamayı gerçekleştirmek üzere implant tasarlanması ve üretiminde, ayrıca implantın yerine yerleştirilmesi ve kullanımı süresince yerleştirildiği bölge ile uyumlu çalışabilmesine imkân verecek çözümler üretilmesi amacıyla da malzeme ve makine mühendislerinin ortopedi uzmanı tıp doktorları ile işbirliği yapması gerekiyor.



Tıp Doktorlarının Gözüyle Ortopedik İmplantlar

Kemik, yaralanmalar sonrası kendini iyileştiren benzersiz bir dokudur. Bir kırık, zedelenmiş olan kemiği orijinal konumuna getirmek için enflamasyon (kızarıklık ve ısı artışı), tamir ve yeniden şekillenmeyi içeren bir dizi olay başlatır. Fakat çeşitli nedenlerle kırık kemiğe dışarıdan müdahale ederek implant kullanımını ile iyileşme sürecinin düzgün gerçekleşmesi ve hızlanması sağlanır. Kırığın olduğu yer, kanlanma özelliği, kırık uçlarının cilt dışına çıkması, kullanılan ilaçlar gibi birçok değişken kırığın iyileşme sürecini etkiler. Kırık uçları birbirine yaklaştırılıp hareketsiz hale getirilirse genellikle kırık iyileşir.

Kırıklar çoğu zaman alçılama ve istirahat gibi ameliyatsız yöntemlerle iyileşmelerine rağmen kırık uçlarının dışarıdan uygun pozisyona getirilememesi, alçı içerisinde kayması, yanlış kaynamaya veya kaynamamaya yol açar. Ayrıca alçı içerisinde kalan eklemlerin hareketsizlik nedeniyle sertleşmesi, kasların kullanılmamaya bağlı olarak incilmesi ve kemik erimesi nedeniyle bazı durumlarda ameliyat kaçınılmaz olur.

Ameliyatsız tedaviler dışarıdan tespit (eksternal fiksasyon) ve içeriden tespit (internal fiksasyon) olmak üzere ikiye ayrılır.

Dışarıdan tespit, ekipmanın vücudun dışında bulunduğu kırık tespit yöntemidir. Kırığın geçici tespitinde bu yöntemler yaklaşık 150 yıldır kullanılıyor. Kas-iskelet sisteminin ciddi yaralanmalarında, kırık uçlarının ciltten dışarıya çıktığı ve kemik enfeksiyonu olasılığının yüksek olduğu kırıklarda, eklem çevresi kırıklarında ve leğen kemiği kırıklarında bu yöntem tercih edilir. Ayrıca kol- bacak kemiklerinin uzatılması amacıyla da kullanılır.

Kemiğe tutturulan yivli çiviler veya pürüzsüz teller yardımıyla kırık uçlarına uygun pozisyon verildikten sonra sistem ana gövdeye birleştirilerek sabitlenir.

Bu sistem içeriden tespite göre daha az sağlamdır. Kırık hattında bir miktar hareket olacağından kaynamama olabilir. Kolay ve hızlı uygulanışı, kırık uçlarının ortaya konulmasını gerektirmemesi ve böylelikle iyileşme hücrelerini içeren pıhtının boşalmaması sistemin avantajlarıdır.

İçeriden tespit, ekipmanın vücudun içinde bulunduğu kırık tespit yöntemidir. Bu yöntemde çeşitli donanımlar kullanılabilir.

Kirschner Telleri değişik çaplarda, uçları düz veya yivli olan metal tellerdir. Kırık kemikler uç uca getirildikten sonra bu tellerle birbirine tutturulur.

Vidalar kırık kemik parçalarını Kirschner Tellerine göre daha sıkı tutturmayı sağlar. Ayrıca metal bir

plaka üzerinden uygulandığında daha sağlam tespit sağlarlar. Birçok vida tipi vardır. Kırık tipleri ve uygulama şekline göre değişik tip vidalar kullanılır.

Kendi yolunu açan vidalar yerleştirilmeleri esnasında kendi yiv yollarını kendileri keser. Böylelikle yiv açıcı kullanmaya gerek kalmaz. Gerekli olan işlem basamaklarını azaltarak ameliyat süresini kısaltmaları en önemli avantajlarıdır. Yerleştirilirken daha fazla döndürme kuvveti gerektirmeleri ve yiv sayılarının daha az olması nedeniyle kemiğe daha zayıf tutunmaları belirgin dezavantajlarıdır.

Kendi yolunu açmayan vidalar künüt uçludur ve uçlarında keski yoktur. Yerleştirilmelerinden önce yiv açıcılarla yiv yerlerinin kesilmesi gereklidir. En önemli avantajları yerleştirilirken daha az döndürme kuvveti gerektirmeleridir.

Sert kemiklerde kullanılan vidalar dar yivli iken süngerimsi kemiklerde kullanılan vidalar geniş yivlidir. Her iki vida da tüm uzunlukları boyunca yivli olabildikleri gibi kısmen yivli de olabilir.



Oluklu vidaların merkezinde içi boş bir kanal vardır. Bu özellikleri yol gösterici bir tel üzerinden yerleştirilebilmelerini sağlar. Kırık uçlar ucuca getirildikten sonra telle birbirine tutturulur ve telin üzerinden vida istenilen yönde ve açıda yerleştirilir.

Başsız vidaların her iki ucu da yivlidir. Vida başının olmaması sayesinde eklem yüzeylerinde hareket esnasında takılma veya sürtünme yaratmadan kullanılabilirler.

Emilebilen vidalar polilaktik asit ve diğer polimerlerden üretilir. Vidaların çıkarılmasının güç olduğu hastalarda, özellikle çocuklarda ve eklem kırıklarında

kullanılırlar. Kendiliğinden emilerek vücut tarafından yok edildiğinden çıkartılmalarına gerek kalmaz.

Plakalar içeriden tespitin değişmez elemanlarıdır. Üzerlerinde vidaların yerleştiği yuvarlak veya oval delikler bulunur. Nötralize eden, destekleyici, kaymayı engelleyen, kompresyon yapan, köprü sağlayan tipte çeşitli plakalar kullanılmaktadır.

İntramedüller çiviler uzun kemiklerin orta kısım kırıklarının tedavisi amacıyla geliştirilmiştir. Kemiğin dış yüzeyine yerleştirilen plaka ve vidaların aksine, bu çiviler uzun kemiklerin merkezinde bulunan kanala yerleştirilir. Çivi kemiğin tüm uzunluğu boyunca yerleştirildiğinden plaka ve vidalarla yapılan tespite göre daha sağlamdır. Dönme kuvvetlerine karşı direnç, kemiğin içine yerleştirilmiş olan çivinin yine kemiğe vidalarla tespit edilmesiyle sağlanır. Kırık hattına dokunmadan, sadece çivinin giriş yeri ameliyat esnasında açılmak suretiyle bu çiviler yerleştirilebilir.

İçeriden tespit tekniğinin ana ilkesi kırılmış olan kemiği eski şekline getirmek ve bir arada tutmaktır. Bu işlemleri gerçekleştirmek amacıyla kemiğin üzerinin geniş olarak açılması, kırık sahasının iyi bir şekilde gözlenmesine ve plakanın yerleştirilmesine olanak sağlar. Bu işlem plakanın uygulanacak olan kemiğin anatomisine uygun şekilde önceden bükülerek şekillendirilmesini gerektirir.

Son zamanlarda kırık hattının açılmamasının daha hızlı kaynamaya yol açtığı fark edilmesi üzerine bu tekniğe uygun yeni plakalar geliştirildi. Bu plakalar üzerine yerleştirildikleri kemiğin konturuna uygun olarak üretildiklerinden ameliyat esnasında bükülmelerine gerek kalmıyor. Günümüzde vücuttaki hemen hemen her kemik için bu anatomik plakalardan var ve uygun tekniklerle yerleştirildiklerinde daha az cerrahi hasarla, daha hızlı kaynama sağlanıyor.

Sonuç olarak temel cerrahi ilkeler akılda tutularak hastalara en uygun tedavi yöntemi seçilmelidir. Başarılı sonuçların sırrı ameliyat öncesi yapılan uygun görüntüleme yöntemleri ve tedavi planlamasında saklıdır.

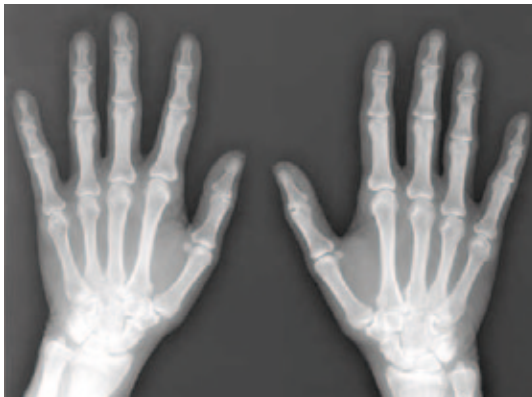
Mühendislerin Gözü ile Ortopedik İmplantlar

Mühendisler tarafından uygun bir malzemeden tasarlanmış yeni bir implantın vücut içerisine kolaylıkla yerleştirilmesi, iskelet sistemi ile uyum sağlaması ve onunla birlikte hareket etmesi gerekir.

Vücudumuz günlük hayatta statik ve dinamik yüklemelere maruz kalıyor. İskelet sistemimiz bazen sadece kendi ağırlığını taşımakta iken bazen hareket ile oluşan veya dışarıdan gelen yüklemelerle karşılaşır. Vücut içerisindeki kemikler zorlanmaları en uygun şekilde karşılayacak yapıya ve geometriye sahiptir. İmplantların öncelikle zafiyet meydana gelmiş olan yerde iskelet sisteminin bütünlüğüne uyacak şekilde davranması gerekir. Kırılan bir kemiğin birleştirilmesi için kullanılan plaka ve vidalar canlı bir doku olan kemiğe uygulanır. Kemiklerimiz mühendislik malzemeleri gibi homojen ve izotropik (yani her yöndeki özellikleri aynı) değildir. Diğer yandan yapıları, fiziksel ve mekanik özellikleri yaş, cinsiyet, hormonal yapı, beslenme ve fiziksel aktivite gibi pek çok parametreye bağlı olarak değişir.

Kemik dışarıdan bakıldığında sert ve cansız bir yapı olarak görünse de temel fizyolojik işlevleri yerine getiren canlı bir dokudur. Sertliği, orta seviyede elastikliği ve hayli düşük seviyede plastikliği, vücudun dik durmasına, kasların bağlanmasına, kaslar ve kirişler vasıtası ile hareket etmesine, doku ve organların, kemik iliğinin korunmasına imkân verir. Bunun yanı sıra içerisinde bulunan porozitelerin belirli büyüklük ve miktarla sınırlı kalması ve dayanımı çok azaltmaması istenir. Porozite miktarı ve büyüklükleri yaşa ve cinsiyete bağlı olarak değişir. Özellikle yaşlı ve kemik yoğunluğu az olan hastalarda artan porozite son derece risklidir. Zira porozite oranı yüksek bir kemikte, vidanın yerinden çıkması çok kolaydır. Mineral yoğunluğu düşük kemiklerde bu boşluklar vidanın kemiğe tutunmasını daha da zorlaştırır. Bu gibi durumlarda vidanın kemiğe daha sıkı bağlanması amacıyla kemik çimentosu, siyanoakrilat yapıştırıcılar gibi ek malzemeler kullanılır. Özellikle kemiğin dış yapısının sert olması, yaşamsal ünitelerin bulunduğu kanallar, damarlar, lenf dokuları gibi yapıları içeren iç bölgelerin yumuşak yapıda olması kemiğin hayli heterojen yapıda olmasına neden olur. Dolayısıyla bir implant tasarlanırken, yerleştirilmesi ve sonrasında yük taşıyıp görevini yerine getireceği süreç boyunca canlı ve heterojen bir doku ile birlikte çalışacağı düşünülmelidir.

İskelet sistemine etki eden kuvvetler iç ve dış etkiyle oluşur. Vücuda etkiyen kuvvetleri çekme, bas-



ma ve kesme kuvvetleri olarak üç ana gruba ayırmak mümkündür. Gerilme ise kuvvetin etki ettiği alana bölünmesi ile ifade edilir. Her malzemenin dayanabildiği bir gerilme değeri vardır. Bu gerilmelerin üzerindeki zorlanmalar malzemelerin (kemiğin veya implantın) kırılmasına neden olacaktır. İmplant uygulamaları esnasında kemiğin kesitinde oluşan değişiklik, oluşturulan bir kesi ya da açılan bir delik nedeni ile gerilme yığılması (konsantrasyonu) oluşur. Özellikle plaka-vida uygulamalarında kemiğe açılan delikler, kemikten plakaya ya da plakadan kemiğe gelen yüklerin yoğunlaştığı noktalar. Bu noktalarda kemiğe gelen yüklerin kemiği zedelemeyip deformasyona neden olmayacak büyüklüklerde olması istenir.

Eğer kemiğe eş eksenli bir basma yükü etki ederse kemiğin boyutları eksenel yüklemeye yönünde küçülürken, enine doğrultuda artar. Dış etkiler nedeniyle birbirine dik bu iki şekil değişimi arasındaki oran Poisson oranı olarak tanımlanır. İmplant bağlantılarında kemiğin zorlanma yönüne dik doğrultularda da deformasyona uğrayacağı ve bu deformasyonların Poisson oranı ile orantılı olacağı hesaba katılmalıdır.

Vücuda etki eden bir kuvvet, kemik ve implant bağlantılarında burulma etkisi yaratabilir. Kemiğe etkileyen bu zorlamalar kemik ile birlikte çalışan implantta da iletilecektir. İmplantta kemik üzerinden yükün aktarımı esnasında burulma kaynaklı, kalıcı bir deformasyon olmaması gerekir.

Özellikle uzun kemikler sahip oldukları eğrisel formları nedeniyle eksenel yüklemelerin etkisi ile eğilme zorlanmalarına maruz kalırlar. Eğilme nedeniyle kemiğin bir yüzeyinde çekme gerilmeleri meydana gelirken, diğer yüzeyinde basma gerilmeleri oluşur. Eğilme mukavemet momenti, eğilme esnasında malzemelerin eğilmeye karşı direncini ifade eder. Bası zorlanması şeklinde etkileyen bir yüklemeye kemiğin eğrilmesi nedeniyle eğilme zorlanmalarına dönüşebilir. Bu nedenle implant tasarımında bu etki göz önünde bulundurulmalıdır.

İskelet sistemimiz sadece statik değil, değişken yüklemelere de maruz kalır. Tekrarlayan yüklemeler mikro hasarlar oluşturabilir. Bu hasarlar her bir yük tekrarıyla giderek artar. Unutulmamalıdır ki insanlar gün içerisinde yürümek, koşmak gibi pek çok tekrarlanan yüklemeye maruz kalır. Kemiğin kırılması, belli bir alanda ezilmesi, kemik-implant arayüzeyinde deformasyon kemik/implant sistemleri için dayanım ve tasarım sınırınıdır. Aynı zamanda tekrarlanan hareketler kemik-implant arasında oluşan kuvvetli bağlantının zaman içinde gevşemesi riskini de taşır. Özellikle vidalarda yerinden çıkma, gevşeme, temas

ettiği deliği büyütme, delik çeperlerini ezme gibi riskler statik yüklerden ziyade tekrarlanan yüklemelerde daha yüksektir.

Kemiklerin kırılması için harcanan enerji kırılma enerjisi olarak tanımlanır. Belirli bir kinetik enerjiye sahip bir dış etki kemiği kırabilir. Kırılma esnasında absorbe edilen (harcanan) enerji ise tokluk olarak isimlendirilir ve N.m birimi ile ifade edilir. Kemiklerin kırılması malzemenin bütünlüğünün ortadan kalkması anlamına gelir. Elastik sınırın üzerinde bir zorlanmaya maruz kalan kemik-implant bağlantısının kırılacağı tasarım esnasında değerlendirilmelidir.

Kemiklerimiz anizotropik (izotropik olmayan) özellikler sergiler. Yani mekanik özellikleri yöne bağlı olarak değişir. En yüksek dayanım kemiğin uzunlamasına eksenine paralel olan yöndedir. Enlemesine yönde ise kemik en zayıf mekanik özelliklere sahiptir. Uyluk kemiğinin orta bölümü en yüksek dayanım ve elastik modüle sahiptir. Diğer kısımlar ise daha düşük dayanım ve elastikliğe sahiptir. İmplantın tatbik edilmesi ve implantın kemik ile birlikte çalışması esnasındaki yük paylaşımlarının planlanması aşamasında da bu detayların düşünülmesi gerekir.

İmplant ile yakınındaki dokuların, damarların ve sinirlerin etkileşimleri de düşünülmelidir. Belki bir plaka ile kemik çok sağlam bir şekilde tespit edilebilir, fakat plakaların kenarının ve vida başının yakınındaki canlı diğer yaşamsal dokuları olumsuz etkilemeleri söz konusu olabilir. Bu etki diğer dokuları yaralamak, zedelemek ile birlikte enfekte olmalarına da neden olabilir.

İmplant yapımında genellikle polimer ve metal esaslı malzemeler kullanılır. Seramik malzemelerin kullanımları daha sınırlıdır. Çünkü seramik malzemeler hayli kırılmandır ve şekil değiştirme kabiliyetleri yok denecek kadar azdır. Polimerik malzemelerin elastik modül ve dayanım değerleri kemiklerden daha düşüktür. Bunun anlamı bu malzemelerden yapılan kemik desteklemelerinde, kemik ile birlikte hareket etmesi istenen polimerik malzemelerin daha kolay deforme olmasıdır.

Özetle günümüzde halen ortopedik implant tasarımı ve uygulama çalışmaları tıp doktorlarının istekleri ve mühendislerin bu isteklere mümkün olduğunca ölçüde cevap vermeleri şeklinde devam ediyor. Malzeme özellikleri, implanttan istenilen geometrik şekil ve implantın maruz kalacağı zorlanmalar implant tasarımlarını ve imalatlarını belirliyor.

Kaynaklar

Mazzocca, A. D., Caputo, A. E., Browner, B. D., Mast, J. W., Mendes, M.W., *Principles of Internal Fixation, Skeletal Trauma*, s.195- 249, 2003.
Pollak, A. N., Ziran, B. H., *Principles of External*

Fixation, Skeletal Trauma, Saunders, s.179- 194,2003.
An, Y. H., Draughn R. A., *Mechanical Testing of Bone and the Bone-Implant Interface*, CRC PRESS, s.3-119, 2000.



Yrd. Doç. Dr. Bilgehan Tosun, İ.Ü. Cerrahpaşa Tıp Fakültesi'ni 2000'de bitirdi. 2000'de Kocaeli Üniversitesi Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı'nda başladığı asistanlığını 2005'te tamamladı. Kocaeli Üniversitesi'nde yardımcı doçent oldu. Halen aynı kurumda çalışmaktadır. 2008 yılında Almanya'da omurga hastalıkları üzerine çalışmıştır.



Doç. Dr. Tamer Sınmazçelik, 1993'te yüksek lisans, 1997'de doktora çalışmalarını tamamladı. 2005'te makine mühendisliği doçenti unvanını aldı. Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Konstrüksiyon Anabilim Dalı öğretim üyesidir. Aynı zamanda TÜBİTAK-MAM Malzeme Enstitüsü'nde yarı zamanlı araştırmacı olarak görev yapmaktadır. Polimer kompozitler, triboloji ve biyomekanik konuları ilgi alanlarıdır.