

Ultrasondan Güç Alan Yapay Kaslar

Dr. Mahir E. Ocak [TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi

Ultrason
yani yüksek
frekanslı ses
dalgalарına maruz
kaldığında şekil değiştiren
yapay kaslar geliştirildi. İçerisi
mikrobaloncuklarla dolu yumuşak
polimer yapısındaki kaslar kablo, batarya
ya da elektronik bileşenler taşımaya ihtiyaç
duymadan biyolojik kasların hareketlerini taklit
edebiliyor.



Ociacia / iStock

Modern robotlar pek çok zorlu görevin üstesinden gelebilse de insan dokunuşunun yumuşaklığını ve hassaslığını taklit edemiyor. Bu eksiklik geleneksel robotlardaki sert malzemeleri ve hareket mekanizmalarını insan kaslarına benzeyen yumuşak bileşenlerle değiştirmeyi amaçlayan ve “yumuşak robot bilimi” olarak adlandırılan yeni bir araştırma alanının doğmasına yol açtı.

İsviçre, Almanya ve ABD’deki çeşitli üniversitelerde çalışan bir grup araştırmacı yumuşak robot biliminde önemli bir başarıya imza attı. Zhan Shi ve arkadaşları ultrason

dalgalarından güç alan bir tür yumuşak robot geliştirdi. Biyolojik kaslardan ilham alınarak tasarlanan robotlar, ultrason dalgalarına maruz kaldığında koordineli bir biçimde şekil değiştiriyor. Böylece iskelet kaslarının işleyişini taklit eden yapay kaslar ortaya çıkıyor.

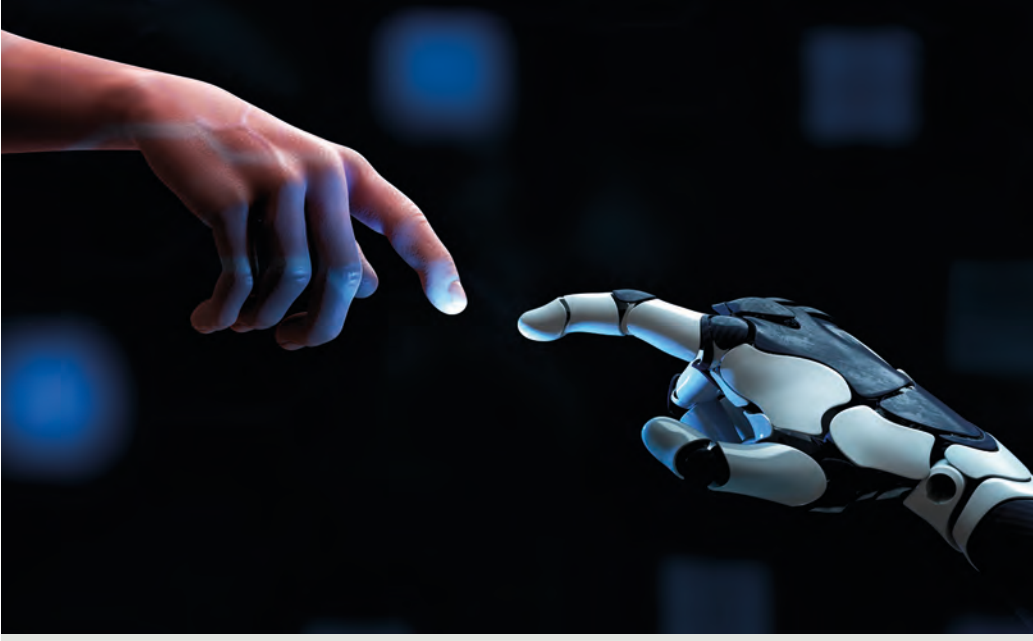
İnsanların iskelet kasları karmaşık bir görevi yerine getirir. Uzuvları istenen noktaya hareket ettirirken gövdenin durağan, dengeli kalmasını da sağlar. Biyolojik kasların bu becerisinin altında yatan iki temel etken vardır. Birincisi, biyolojik kaslarda hiyerarşik bir yapı bulunur. İskelet kasları, kas lifi olarak adlandırılan uzun, tüp biçimli hücrelerden oluşur. Bu hücrelerin temel bileşeni ise miyofibril olarak adlandırılan çubuk



Yuli4ka / iStock

biçimli organellerdir. Kas liflerinin içinde çok sayıda kalın ve ince miyofibriller zincirler hâlinde dizilir. Makroskobik hareketler çok sayıda ufak motor birimin uyumlu bir biçimde bir arada çalışmasıyla ortaya çıkar. İkincisi, kas hareketlerinin programlanabilir aktivasyonudur. Omurgalı hayvanlarda motor birimler, sinir sinyallerinin frekansı ile kontrol edilir. Kasların ne kadar kasılacağı, hangi hızla ve hangi yönde hareket edeceği sinir sinyallerinin frekansı tarafından belirlenir.

Shi ve arkadaşları, iskelet kaslarının bu iki temel özelliğine sahip bir yapay kas elde edebilmek için ultrasonla kontrol edilen mikrobaloncuklardan yararlanıyor. Mikrobaloncuklar, ilk bakışta hareket kaynağı olarak işlev görecektir bir motor olmak için fazla nazik nesnelere olarak görülebilir. Ancak büyüklüklerine bağlı olarak değişen belirli rezonans (yankılanma) frekansındaki ultrason dalgalarından enerji alarak şiddetli bir biçimde titreşmeye başlayabilirler. Bu titreşimler baloncukların etrafındaki



Shutterstock / iStock

akışkanın hareket etmesine yol açar. Ortaya çıkan yerel itkilerden makroskobik hareketler elde etmek için yararlanılabilir. Günümüzde sağlık alanında çeşitli amaçlar için bu etkiden yararlanılıyor. Örneğin vücuda enjekte edilmiş mikrobaloncukların üzerine ultrason dalgaları gönderilerek kan-beyin bariyerinin geçici olarak açılması ve bu sayede ilaçların beyne ulaşması sağlanabiliyor.

Araştırmacıların yumuşak bir polimerin içine diziler hâlinde mikrobaloncuklar gömerek elde ettiği yapay kaslar, iskelet kaslarına işlevsellik kazandıran iki temel özelliğe de sahip. Birincisi, malzemenin hiyerarşik bir yapısı var. Tekil mikrobaloncuklar biyolojik kaslardaki miyofibriller gibi iş görüyor. Tıpkı biyolojik kaslardaki motor birimlerin toplu hareketleri sonucunda makroskobik hareketler ortaya çıkması gibi her bir mikrobaloncuğun etrafında ortaya çıkan yerel itkiler de daha büyük ölçekte hareketler ortaya çıkarıyor.

İkincisi, üretilen yapay kaslarda farklı büyüklüklerde mikrobaloncuklar bulunuyor. Baloncukların rezonans frekansının büyüklüklerine bağlı olması nedeniyle kasların farklı bölgelerini harekete geçirmek için farklı frekanslarda ultrason dalgaları gerekiyor. Tıpkı biyolojik kasların karmaşık hareketlerinin farklı frekanslara sahip sinir sinyalleriyle kontrol edilmesi gibi yapay kasların bükülme, kavrama gibi karmaşık hareketleri de çeşitli frekanslarda ultrason dalgaları kullanarak kontrol edilebiliyor.

Deneyler, yapay kasların bükülme ve kavrama hareketlerinin nazik nesnelere güvenli biçimde kontrol etmek için yararlı olabileceğini gösteriyor. Yapay kaslar zebra balığı larvalarını zarar vermeden kavrayabiliyor.

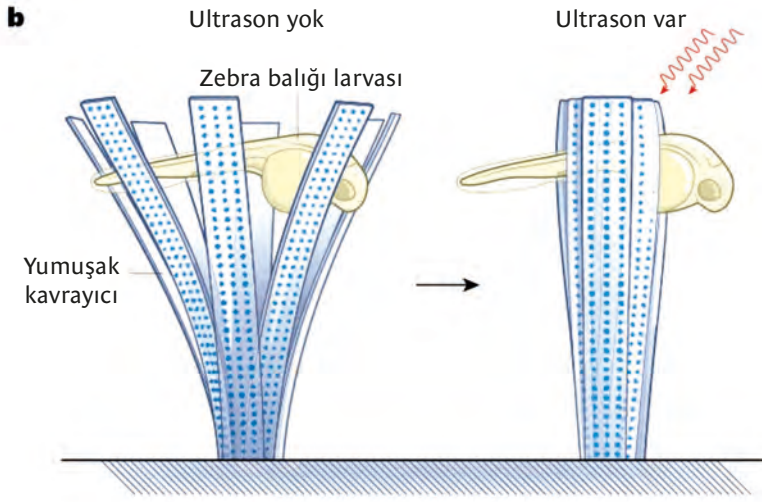
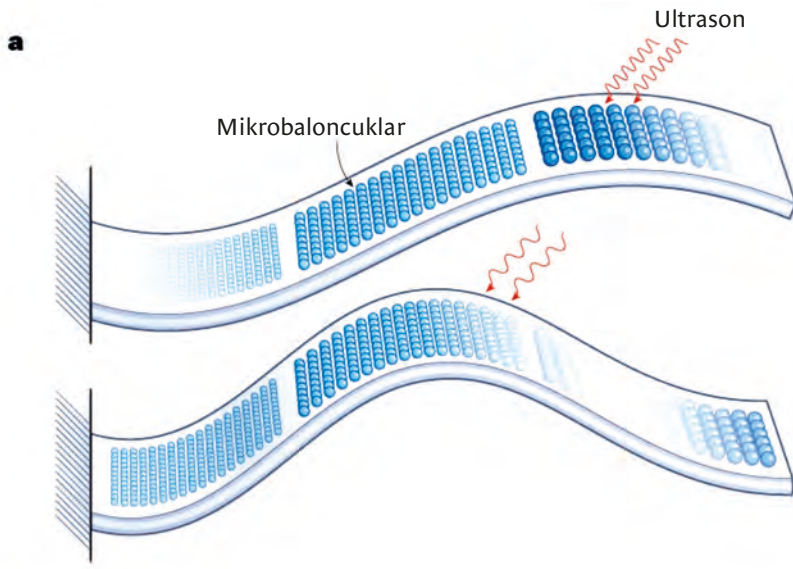
Araştırmacılar, yüzeylere tutunan ve tutunduğu yüzeyin şeklini alan yapay kas parçaları da üretti. Cansız ortamda domuz kalpleriyle yapılan deneylerde

ultrason ile uyarılan kasların şekil değiştirebildiği ve organa mekanik kuvvetler uygulayabildiği görüldü. Yapay kasların yumuşak dokuları arzu edildiği gibi uyarabilmesi gelecekte yeni tedavi yöntemlerinin geliştirilmesinde yararlı olabilir.

Shi ve arkadaşları, farklı büyüklüklerde mikrobaloncuklar içeren iki yapay kası yan yana bir araya getirerek yapısı vatoz balıklarının göğüs yüzgeçlerine benzeyen yüzgeçler de üretti. Bu yüzgeçlere sahip vatoz robotlar, ultrason dalgalarından güç alarak su içinde yüzebiliyor.

Vatoz robotlar mide ortamında parçalanan biyoçözünür kapsüllerle çevrelenebiliyor. Cansız ortamda yapılan deneyler sırasında vatoz robotlar, domuz midelerinin düzensiz yapısı içinde ultrason dalgalarıyla yönlendirilebildi. Bu deneyler robotların katı ve sert aletlerin erişemediği canlı ortamlarda ameliyat robotları olarak kullanılabilme potansiyelini ortaya koydu.

Yapay kasların önemli bir avantajı da kasları harekete geçiren mikrobaloncukların tıbbi amaçlar için kullanılan standart ultrason görüntüleme cihazlarıyla tespit edilebilmesi. Üstelik mikrobaloncukları uyararak rezonans frekans aralığı (1-100 kHz) ile görüntüleme için kullanılan frekans aralığı (1-20 MHz) farklı olduğu için görüntüleme ve kontrol süreçleri birbirini engellemiyor. Bu özellik ultrasondan güç alan robotlara,



(a) Shi ve arkadaşlarının geliştirdiği yapay kaslar, yumuşak bir polimer malzemenin içine gömülmüş farklı büyüklüklerdeki mikrobalonculardan oluşuyor. Farklı büyüklükteki baloncuklar farklı frekanslardaki ultrason dalgaları tarafından harekete geçirilmesi yapay kasların esneme, bükülme gibi hareketler yapmasını sağlıyor.

(b) Yapay kaslar zebra balığı larvaları gibi nazik şeyleri zarar vermeden kavrayabiliyor.

manyetizmayla kontrol edilen yumuşak robotlar gibi kontrol ile görüntülemenin birbirini engellediği alternatif yaklaşımlar karşısında bir avantaj sağlıyor.

Geliştirilen yapay kaslar ile ilgili henüz aşılması gereken sorunlar da var. Kesintisiz kullanıldığında yapay kasların yapısındaki mikrobaloncuklar yavaş yavaş

büyümeye başlıyor ve bu durum kasların işleyişinin kararsız hâle gelmesine yol açıyor. Araştırmacılar, ince polimer katmanlarla baloncukları içinde buldukları boşluklara sabitleyerek bu sorunun aşılabileceğini düşünüyor. Bir

Kaynaklar

Shi, Z., ve ark., "Ultrasound-driven programmable artificial muscles", *Nature*, Cilt 646, s. 1096, 2025.
Rufo, J., ve Huang, T.J., "Artificial muscles powered by ultrasound", *Nature*, Cilt 646, s. 1061, 2025.

diğer sorun ultrason kaynağından uzaklaştıkça kasların ses dalgalarından kazandığı enerjinin ve dolayısıyla kasların hareket miktarının azalması. Teorik olarak bu sorun, ultrason kaynağının gücünü artırarak ya da ultrason dalgalarını hassas bir biçimde bir noktaya odaklayarak çözülebilir ancak öncelikle bu yaklaşımların canlı ortamda güvenli bir biçimde çalışıp çalışmayacağını test edilmesi gerekiyor. Son olarak tüm deneylerin cansız ortamda ve dolayısıyla kontrollü koşullar altında yapıldığını belirtelim. Kemiklerin ya da yumuşak dokuların ultrason dalgalarını saçtığı ya da soğurduğu canlı ortamlarda, yapay kas hareketlerinin ne ölçüde kontrol edilebileceği henüz bilinmiyor.

Her ne kadar henüz aşılması gereken sorunlar olsa da Shi ve arkadaşlarının geliştirdiği yapay kaslar ve gerçekleştirdiği deneyler, ses dalgalarından güç alan yumuşak robotların tıbbi uygulamalar açısından büyük bir potansiyel taşıdığını gösteriyor. Ultrason dalgalarının frekansı aracılığıyla hareketleri kontrol edilebilen robotlar, insan vücudunda dolaşan ve insan vücudundaki dokularla etkileşen ya da dokulara ilaç dağıtımını yapan mikrorobotlar geliştirilmesine giden yolda büyük bir adım olarak görülüyor. ■