



Artroskopi ve artroplasti eğitiminde sanal gerçeklik simülasyonu

Virtual reality simulation in arthroscopy and arthroplasty education

Halis Atıl Atilla, Burak Menderes Akdoğan

Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Dışkapı Yıldırım Beyazıt Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, Ankara

Ortopedi ve travmatoloji uzmanlık eğitimi birçok diğer cerrahi dal eğitimi gibi tüm dünyada usta-çırak ilişkisi ile yapılmaktadır. Gerçek ameliyathane ortamında yapılan eğitimlerden önce eğitim alan kişinin teorik olarak eğitimini tamamlamış ve cerrahi için birtakım motor beceriler kazanmış olması beklenmektedir. Bu da sıklıkla maket ve kadavra eğitimleriyle gerçekleştirilmektedir. Teknolojinin ilerlemesiyle havacılık ve askeri eğitimlerde sıklıkla kullanılan sanal gerçeklik simülasyonları da bu motor becerilerin kazanılmasında kullanılmaya başlanmıştır. Sanal gerçeklik simülasyonu ortopedik cerrahi eğitiminde hızla büyümekte ve bunun faydalı olduğuna dair literatür gün geçtikçe artmaktadır. Birçok ticari firma çeşitli modellerle bu alanda faaliyet göstermekle beraber, eğitim alacakların sanal gerçeklik eğitimlerine ulaşımı sınırlı kalmaktadır. Teknolojinin hızla gelişmesiyle birlikte simülasyonların maliyetlerinin azalması ve sanal gerçeklik eğitiminin maliyet etkinliği ve öneminin anlaşılmasıyla sanal gerçeklik simülasyonu eğitimleri ortopedik cerrahi eğitiminde daha sıklıkla yer bulacaktır.

Anahtar sözcükler: artroskopi; artroplasti; eğitim; sanal gerçeklik simülasyonu

Orthopaedics and traumatology residency training, like many other surgical disciplines, is carried out all over the world with a master-apprentice relationship. Before the trainings in the real operating room environment, the trainee is expected to have completed the theoretical training and gained some motor skills for surgery. This is often done with model and cadaver trainings. With the advancement of technology, virtual reality simulations, which are frequently used in aviation and military training, have also started to be used in the acquisition of these motor skills. Virtual reality simulation is growing rapidly in orthopedic surgery education and the literature on its usefulness is increasing daily. Although many commercial companies operate in this field with various models, access to virtual reality trainings for those who will receive training remains limited. With the rapid development of technology, decreasing the costs of simulators and understanding the cost effectiveness and importance of virtual reality training, virtual reality simulation training will take place more frequently in orthopedic surgery training.

Key words: arthroscopy; arthroplasty; education; virtual reality simulation

Sanal gerçeklik (SG), gerçek dünyaya benzer veya tamamen farklı olabilen bir algı simülasyonudur. Video oyunları gibi eğlence sektöründe sıklıkla kullanılmakla beraber havacılık, askeriye ve tıp gibi gerçek hayatta eğitimleri çok zor ve maliyetli olan sektörlerde de personel eğitimi amacıyla kullanımları geniş yer bulmuştur. Artırılmış gerçeklik, genişletilmiş gerçeklik veya karma gerçekliği gibi farklı SG uygulama türleri bulunmaktadır.^[1]

Günümüzde, standart sanal gerçeklik sistemleri, bir kullanıcının sanal bir ortamda fiziksel varlığını simüle eden gerçekçi görüntüler, sesler ve diğer duyumları oluşturmak için sanal gerçeklik başlıkları veya çoklu projeksiyon ortamlarını kullanır. Sanal gerçeklik ekip-

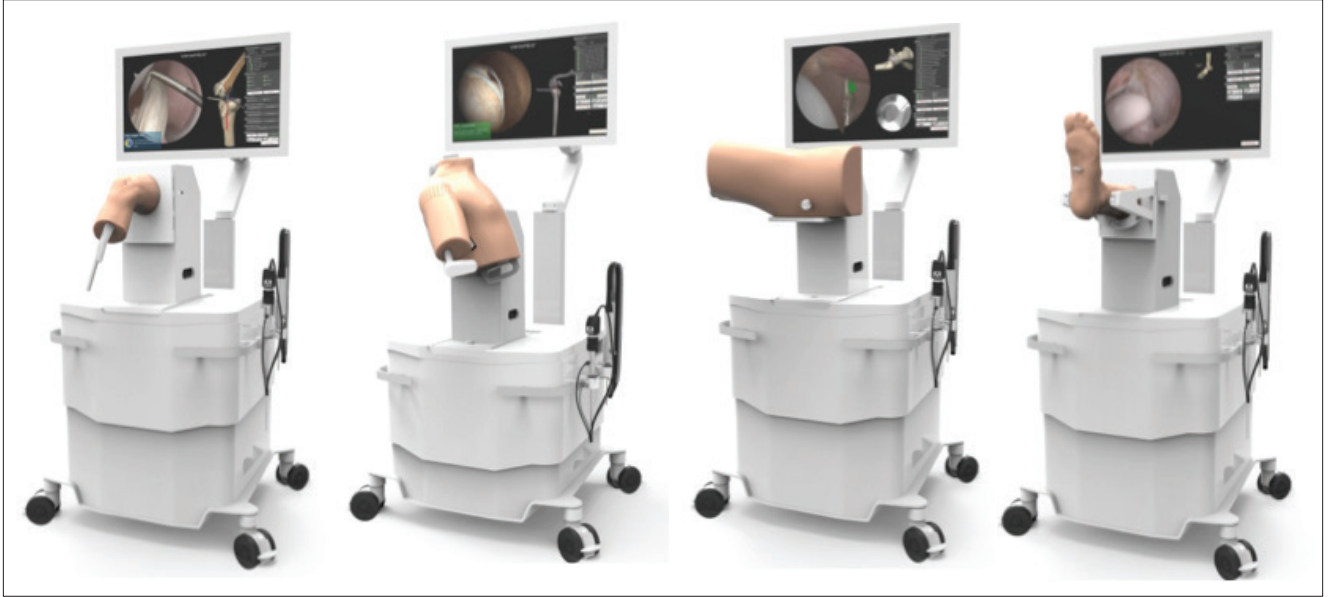
manı kullanan bir kişi, yapay dünyaya bakabilir, içinde hareket edebilir ve sanal özellikler veya öğelerle etkileşime girebilir. Efekt, genellikle gözlerin önünde küçük bir ekrana sahip başa takılan bir ekrandan oluşan SG başlıkları tarafından yaratılır ancak aynı zamanda birden fazla büyük ekrana sahip özel olarak tasarlanmış odalar aracılığıyla da oluşturulabilir. Sanal gerçeklik tipik olarak işitsel ve video geri bildirim içerir ancak dokunsal teknoloji aracılığıyla diğer türde duyuşal geri bildirim ve kuvvet geri bildirimine de izin verebilir.

Son yıllardaki optik ve yazılım konusundaki gelişmeler, bu teknolojilerin kişisel ve profesyonel amaçlar için kullanılmasına izin vermektedir. Sanal gerçeklik endüstrisi, 1970'den 1990'a kadar esas olarak uçuş

İletişim / Contact: Doç. Dr. Halis Atıl Atilla • **E-posta / E-mail:** dratilatilla@hotmail.com

ORCID iD: Halis Atıl Atilla, 0000-0002-5670-1469 • Burak Menderes Akdoğan, 0000-0001-9403-2369

Geliş / Received: 24 Ekim 2021 • **Kabul / Accepted:** 18 Aralık 2021



Şekil 1. Çeşitli artroskopi sanal gerçeklik simülatörleri; soldan sağa sırasıyla diz, omuz, kalça ve ayak bileği simülatörleri (Şekiller VirtaMed© izniyle kullanılmıştır).

simülasyonu, otomobil endüstrisi tasarımı ve askeri eğitim amaçları için kullanılacak ürünler ortaya çıkarıldı. Özellikle 1900'lü yılların sonlarından itibaren birçok tıbbi operasyonda aşamalı olarak kullanılmaya başlandı. SG simülatörlerinin sağlık alanında kullanılmasının ana gayesi, hasta güvenliğini artırmak ve iyileşme süresini kısaltmaktır.

Sağlık alanında SG, bir eğitim aracı olarak yer bulmuş ve her seviyeden kursiyerin hasta için risk oluşturmadan ve hatta gerekli bir denetim ihtiyacı olmadan gerçek yaşam ortamlarını taklit ederek, öğrenilmesi istenen seviyeye gelmesini sağlamaktadır. Simülasyon eğitimi başlangıçta laparoskopik girişimlerde yaygın hale gelmiş, bu eğitimi alan asistanlarda cerrahi becerilerde önemli gelişmelere katkıda bulunmuştur. Ortopedi ve travmatoloji alanında sıklıkla kullanılan artroskopi ve artroplasti eğitimi dışında, omurgada pedikül vidası gönderme eğitimlerinde, intramedüller çivileme ve dinamik kalça vidası uygulamalarında da kullanılmaktadır.^[2] Özellikle artroskopi ve artroplasti ameliyatlarında daha az eğitim saatleri ve hasta güvenliği sorunları, bu becerilerin ameliyathane dışında kazanılmasını zorunlu kılmaktadır.

Bilgisayar bilimcileri için ortopedi ve travmatoloji alanında çalışmanın avantajı, yumuşak dokuların aksine kemiğin katı bir doku olması ve deforme olmayan bir nesne olarak kabul edilmesidir. Diğer yandan, ortopedi ve travmatoloji uzmanları, artroskopik cerrahi sırasında dokusal geri bildirimle alıştıkları ve bu hissi artroskopi simülatörlerinde de talep ettiklerinden dolayı bu durum mühendislik için bir zorluk oluşturmuştur. Bu nedenle

ilk simülasyon çalışmalarında temel beceriler (görev süresi, yol uzunluğu ve benzeri) üzerine yoğunlaşmıştır.^[3] Bu tür simülasyonlarda eklem şekli olmayan “kutu” (SIMENDO Arthroscopy™) egzersizleri ile el-göz koordinasyonlarının geliştirilmesi hedeflenmiştir. İlk olarak gerçekçi grafik ve videolar ile desteklenen simülasyonlara zaman içinde dokusal geri bildirimler de eklenmiştir. Günümüzde anatomik eklem modelleri olan, dokusal geri bildirim veren simülasyon cihazları geliştirilmiştir (Şekil 1). Bunun sonucunda çeşitli patolojilerde anatomik yapıların tanımlanması, navigasyon becerileri, triangülasyon, derinlik algısı ve alet kullanma becerileri dâhil olmak üzere temel becerileri sunar duruma gelmiştir. Öte yandan SG simülasyonunun birçok avantajı olmasına rağmen cerrahi eğitim müfredatında rutin olarak kullanımını azdır.

ARTROSKOPİ EĞİTİMİNDE SANAL GERÇEKLİK KULLANIMI

Artroskopi eğitimi, ortopedi ve travmatoloji asistan eğitimi içerisinde motor beceri ve el-göz koordinasyonun en zor ve eğitim eğrisinin en uzun olduğu alanlardandır. Asistanlık eğitiminde diğer açık cerrahilerden farklı olarak artroskopik tedavinin tek bir hekimin kontrolüyle gerçekleştirilmesi, cerrahi sırasındaki asistan katkısının açık cerrahilere göre sınırlı kalması, ana kontrolün uzmanlık öğrencisine verilmesini zorlaştırmaktadır. Hall ve ark.'nın yaptığı bir çalışmada beşinci yıl asistanlarının sadece %32'si artroskopi eğitimi için yeterli zaman bulabildiklerini bildirmişlerdir.^[4] Cerrahi eğitim sırasında etik ve hasta güvenliği sorunları da eğitim sürecini yavaşlatmaktadır.

Artroskopi eğitimleri hasta üzerindeki usta-çırak ilişkisi haricinde kadavra eğitimi, kutu egzersizleri, tezgâh üstü mekanik simülatörler gibi çeşitli yöntemlerle yapılabilmektedir.^[5] Kutu egzersizlerinde basit bir kutu, kamera, ışık kaynağı, el aletleri ve görüntüyü yansıtan ekran vardır. Bu simülasyonda prob ile muayene, kavrama, doku rezeksiyonu, dikiş geçirme ve düğüm bağlama gibi temel artroskopik işlemler uygulanabilir.^[6] Artroskopik tezgâh üstü mekanik modeller ise sentetik anatomik modelleme olup kamera ile anatomik yer işaretlerini gösterir.

Artroskopik SG ise bilgisayar tarafından verilen görevler ve doküsal geri bildirimlerle gerçeğe en yakın cerrahi deneyimi kazandırır. Süre kısıtlamasının olmaması, hasta güvenliğinin tehlikeye girmemesi ve etik sorunların olmaması nedeniyle asistan eğitiminde önemli yere sahiptir. 2013 yılında yayınlanan bir çalışmada program direktörlerinin %80'i, asistanların ise %86'sı simülasyonların eğitimin bir parçası olması gerektiği konusunda hemfikir olup, en önemli engel olarak finansal nedenleri göstermişlerdir.^[7]

Artroskopik sanal gerçeklikte anatomik modellerde programlanan görevler, görevi tamamlama süresi, kamera ve probun yol mesafesi, kıkırdak ve yumuşak doku hasarı, ASSET (Artroskopik Cerrahi Beceri Değerlendirme Aracı), GRS (Global Değerlendirme Skalası) gibi parametreler ile eğitimin kalitesi ölçülebilir.^[2]

Artroskopik sanal gerçeklik eğitimi verilen asistanların kontrol gruplarına (kadavra eğitimi gibi) göre daha iyi performans gösterdiği ve daha az kıkırdak hasarı verdiği gösterilmiştir.^[8] Andersen ve ark.'nın 21 katılımcı ile yaptığı çalışmada, omuz artroskopisi sanal gerçeklik eğitimi verilen katılımcılarda ilk artroskopi deneyimine göre görevi tamamlama süresi ve kamera yolu mesafesi istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde azalmıştır.^[9] Yine Rebolledo ve ark.'nın yaptığı çalışmada da diz ve omuz artroskopik simülasyon eğitimi alan katılımcıların, didaktik olarak eğitim alan katılımcılara göre görev tamamlama süreleri ve kıkırdak hasarı meydana getirme parametrelerinde istatistiksel olarak daha iyi performans gösterdikleri bildirilmiştir.^[10] Clarke'ın derlemesinde toplam 47 parametre ölçülmüştür ve bunlardan 29'unda SG eğitimi alanlar lehine istatistiksel anlamlılık elde edilmiştir.^[2] Klasik yöntemlerden tezgâh üstü maket simülasyonlarının, artroskopi eğitiminde temel artroskopi becerilerini kazandırmada etkili olduğu gösterilmiştir.^[11] Buna rağmen arttırılmış sanal gerçeklik eğitimlerinin tezgâh üstü artroskopi simülasyonlarına göre hem laboratuvarında hem de *in vivo* ortamda artroskopi becerilerini geliştirmede daha etkili olduğu gösterilmiştir.^[5]

Arttırılmış sanal gerçeklik eğitimindeki diğer merak edilen konu ise alınan eğitimlerin ameliyathanede hasta

üzerindeki etkileridir. Cannon ve ark. ile Waterman ve ark.'nın yaptıkları iki ayrı çalışmada SG ile grup eğitiminin, cerrahi beceri kontrol listesi ile ölçüldüğünde kontrol grubundan daha iyi performans gösterdiği bildirilmiştir.^[12,13]

Eğitimin bir diğer çok önemli yönü, simülasyon veya diğer herhangi bir beceri geliştirme biçimiyle elde edilen becerileri sürdürmektir. Simülasyon eğitimi kursiyerlerin becerilerini artırmasına rağmen, bir yıl sonra bu etkinin kaybolduğu kanıtlanmıştır. Bu nedenle herhangi bir simülasyon türünün ideal olarak tek seferlik değil, sürekli eğitim için basit ve kolay erişilebilir olması çok önemlidir.^[14]

ARTROPLASTİ EĞİTİMİNDE SANAL GERÇEKLIK KULLANIMI

Simülasyon eğitiminin gelişmesi, endoskopik cerrahi girişimler olan laparoskopik ve artroskopik girişimler ile başlasa da teknolojinin gelişmesiyle açık cerrahi girişimlerin birçoğunda da bu eğitim şeklinin geliştirilebileceği görüldü. Bu alanların en önemlilerinden biri de artroplastik eğitimidir.

Osteoartrit, en sık görülen artrit şekli olup dünya üzerinde milyonlarca kişiyi etkilemektedir. Özellikle diz veya kalça osteoartriti, dünya çapında yaklaşık 240 milyon insanı etkileyen yaygın bir engellilik nedenidir.^[15] Bu koşullar, son 10 yılda dünya çapındaki ortopedi ve travmatoloji ameliyatlarında hızlı bir artışa neden olmuştur ve artışın çoğu total diz protezi (TDP) ile total kalça protezinde (TKP) meydana gelmektedir. Artroplastik, yaşam kalitesini artıran elektif bir ameliyattır ve teknoloji geliştikçe daha karmaşık ve ileri teknikler kullanılmaktadır. Bu artan teknoloji nedeniyle öğrenme eğrisi sırasında kan kaybı, büyük insizyonlar (cerrahi kesiler), yumuşak doku hasarı ve uzayan ameliyat süreleri gibi komplikasyonlar oluşmaktadır. Tüm bu komplikasyonları azaltmak amacıyla artroplastik ameliyatları için etkili ve güvenilir bir eğitim zorunludur. Artroplastik eğitiminde; implant kılavuzlarını okuyarak, sentetik kemik modellerinde enstrümantasyonlar uygulayarak, ameliyatı gözlemleyerek veya kadavra üzerinde çalışarak deneyim kazanılır.^[16] Son yıllarda artroplastik alanında da sanal gerçeklik eğitimleri artmaktadır (Şekil 2).

Artroplastik eğitiminde de sanal gerçeklik simülasyon eğitiminin klasik eğitimlere göre daha etkili olduğu birçok yazar tarafından belirtilmiştir. Logishetty ve ark.'nın 2020 yılında yaptığı çalışmada anterior yaklaşımlı total kalça protezi cerrahisinde simülasyon eğitimi alan katılımcıların işlem süresinin, müdahale oranının ve prosedür hatalarının azalmış olduğu tespit edilmiştir.^[17] Lohre ve ark. ise omuz artroplastisinde sanal gerçeklik simülasyon eğitimi alan katılımcıların kontrol grubuna göre gle-



Şekil 2. Sanal gerçeklik gözlüğü ile (VR headset) total diz protezi sanal gerçeklik simülasyon eğitimi (DePuy Synthes VRTKA Eğitimi, 18. EFORT Kongresi, 2017, Viyana, Avusturya, Dr. Cemil Yıldız'ın izni ile).

noid hâkimiyetinin daha iyi olduğunu, işlemin daha hızlı sürede tamamlandığını ve tüm işlemi öğrenme süresinin de daha kısa olduğunu göstermişlerdir.^[18]

Sanal gerçeklik simülasyonunda kazanılan becerilerin gerçek hayata aktarılması diğer önemli bir konudur. Logishetty ve ark., 2019 yılında yaptığı çalışmada total kalça protezi cerrahisinde sanal gerçeklik eğitimi alan katılımcıların kontrol grubunu kadavra üzerinde total kalça protezi uygulanarak karşılaştırmış ve simülasyon eğitimi alan grubun kontrol grubuna göre implant yerleştirmede daha az hata yaptığını ve daha az ek müdahaleye gerek duyduklarını bulmuştur.^[16]

SANAL GERÇEKLIK SİMÜLASYONUNUN ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİDE DİĞER KULLANIM ALANLARI

Teknolojinin gelişmesiyle sanal gerçeklik simülasyon eğitimi sadece artroskopi ve artroplasti üzerinde değil, aynı zamanda travma, omurga cerrahisi ve ameliyat sonrası rehabilitasyon sürecinin de gelişmesini sağladı. Sanal gerçeklik simülasyonu ile insan anatomisinin tanınması, kemik ve yumuşak doku müdahalelerinin taklit edilmesi gibi cerrahi eğitimin temel parçalarının öğrenilmesi hedeflenmiştir.

Travma cerrahisi klasik eğitiminde teknik kılavuzlar, yapay kemik modelleri ve kadvralar kullanılır. Bu klasik

eğitim yöntemlerinin belirli kısıtlayıcı özellikleri vardır. Teknik kılavuzlarla eğitim alan asistanların ekipmana aşına olması gerekir fakat bilgilerini aktif olarak kullanamayabilirler; ayrıca yapay kemik modelleri de yumuşak doku özelliği içermez ve tekrar kullanılamaz. Kadavra eğitimi ise pahalıdır ve aynı cerrahi işlem birden çok aynı kadvrada uygulanamaz.^[19] Sanal gerçeklik simülasyonunda ise ameliyat öncesi ekipmanlara ve aletlere aşına olunur ve katılımcının sanal bir ameliyat odasında hissetmesi sağlanır. Hasta güvenliği endişesi olmaması nedeniyle eğitim alan katılımcı daha esnek hareket edebilir ve cerrahi işlemi daha kıdemli bir cerrah tarafından takip edilebilir. Eğitim sonrası cerrahi performansın iyileştiği görülmüştür. Blumstein ve ark., 2020 yılında yaptıkları bir çalışmada; tibia intramedüller çivi konusunda sanal gerçeklik simülasyonu eğitimi alan cerrahların, kontrol grubuna göre küresel değerlendirme ölçeğini değerlendirmede, aletleri tanımada ve cerrahi yeteneklerini kullanmada daha iyi olduğunu bulmuşlardır.^[19] Yine kalça kırıklarında dinamik kalça vidası konusunda sanal gerçeklik simülasyonu eğitimi alan katılımcıların performanslarının arttığı görülmüştür.^[20] Omurga cerrahisinde, cerrahi risklerin geri dönüşümsüz ve öğrenme eğrisinin daha uzun olmasından dolayı omurga cerrahisi eğitiminde de sanal gerçeklik simülasyonunun önemi artmaktadır. Sanal gerçeklik simülasyonunun artroskopi eğitiminde komplikasyonları azalttığı ve cerrahi performansı geliştirdiği gibi omurga

cerrahisinde de komplikasyonları azalttığı ve pedikül vidaların daha doğru açılarda gönderilmesini sağladığı görülmüştür.^[21]

SONUÇ

Sanal gerçeklik simülasyonunun ortopedi ve travmatoloji eğitimindeki yeri hızla büyümekte ve faydalı olduğuna dair literatür sayısı gün geçtikçe artmaktadır

Tablo 1. Ortopedi ve travmatoloji alanında sanal gerçeklik eğitimi literatür özeti

Çalışma	Yıl	Katılımcı sayısı	Amaç	Sonuç
Andersen ve ark. ^[9]	2011	21	Omuz artroskopisinde tecrübesiz olan cerrahların SG eğitimi sonrası tecrübeli cerrahlarla karşılaştırılması	SG eğitimi omuz artroskopisinde deneyimsiz cerrahlar için temel navigasyon kurallarını geliştirmede başarılı olmuştur.
Rebolledo ve ark. ^[10]	2015	14	Diz ve omuz artroskopi cerrahi simülatörü ile eğitim almış genç ortopedi ve travmatoloji cerrahisi asistanlarının artroskopik performansını didaktik eğitim almış olanlarla karşılaştırmak	Cerrahi simülatörle eğitim alan ortopedik cerrahi asistanları, görevi tamamlanma süresi ve yaralanma derecelendirme indeksi açısından omuz artroskopisinde didaktik eğitilmiş asistanlardan daha iyi performans göstermiştir.
Cychosz ve ark. ^[11]	2018	43	Anatomik olmayan simülatörlerde kazanılan becerilerin anatomik modellerle karşılaştırılması	Deney grubu kompozit skorda kamera yolu uzunluğunda ve bileşik skorda önemli ölçüde daha fazla gelişme gösterdi. Femoral ve tibial kırık hasarı oluşmasında gruplar arasında anlamlı fark görülmedi.
Banaszek ve ark. ^[5]	2017	40	Sanal gerçeklik artroskopik simülatöründe ve tezgâh üstü artroskopik simülatörde eğitim alan grupların eğitimsiz bir kontrol grubu ile değerlendirilmesi	Her iki simülatördeki kursiyerler, hem <i>in vivo</i> hem de <i>ex vivo</i> olarak başlangıç puanları ve eğitimsiz kontrollerle karşılaştırıldığında artroskopik becerilerde önemli bir gelişme gösterdi.
Cannon ve ark. ^[12]	2014	48	Sanal gerçeklik simülasyonu eğitimi alan ve kontrol grubunun gerçek hasta üzerinde artroskopik becerileri aktarma derecesi	Simülatör ile eğitilmiş grup, kontrol grubuyla karşılaştırıldığında önemli ölçüde daha iyi performans gösterdi.
Waterman ve ark. ^[13]	2016	22	Sanal gerçeklik simülasyonu eğitimi alan ve kontrol grubunun omuz artroskopik becerileri aktarma derecesi	Simülasyon grubu kontrol grubuna göre süre, prob mesafesi ve ASSETT güvenlik puanları yönünden daha iyi bulundu.
Logishetty ve ark. ^[17]	2020	24	Anterior yaklaşımlı total kalça protezinde SG eğitimi alan ve kontrol grubunun teknik ve teknik olmayan becerilerinin karşılaştırılması	SG eğitilmiş cerrahlar, kontrollere göre %33 daha fazla anahtar adımı tamamladı, komponent oryantasyonunda 12° daha doğruydı ve %18 daha hızlıydı.
Lohre ve ark. ^[18]	2020	23	SG eğitimi alanlar (kıdemli ortopedi ve travmatoloji asistanları) ve uzman grubunun omuz artroplastisi konusunda karşılaştırılması	SG eğitilmiş grup glenoid maruziyetini öğretmede kontrolden daha üstündü. Uzman grubu, bilgi testinde SG grubundan daha iyi performans gösterdi.
Blumstein ve ark. ^[19]	2020	20	SG eğitimi ve standart kılavuzlardan eğitim alan ortopedi ve travmatoloji asistanlarının tibia intramedüller çivileme ameliyat performanslarının karşılaştırılması	Toplam küresel değerlendirme puanları, tüm bireysel kategorilerdeki puanlar dâhil olmak üzere, SG için standart grubundan önemli ölçüde daha yüksekti. Doğru tamamlanan adımların yüzdesi, standart grubuna kıyasla SG grubunda anlamlı derecede daha yüksekti.
Xin ve ark. ^[21]	2019	16	SG eğitimi alanlar ve kontrol grubunun pedikül vidası yerleştirmedeki başarı ve hatalarını karşılaştırma	SG grubunda pedikül vida yerleştirme doğruluk oranı ve başarı oranı kontrole göre anlamlı oranda daha iyi, ortalama süre SG grubunda kontrole göre yaklaşık iki dakika daha kısadır.

Tablo 2. Ortopedi ve travmatoloji sanal gerçeklik alanında faaliyet gösteren ticari firmalardan bazıları ve elektronik adresleri

Sanal gerçeklik simülasyonları	Kullanım Alanları	Ülke	İnternet sitesi
Osso VR	Artroplastide	Amerika Birleşik Devletleri	https://www.ossovr.com
Fundamental VR	Anterior ve posterior total kalça protezi, total diz protezi, pedikül vidası	Birleşik Krallık	https://fundamentalsurgery.com
VirtaMed ArthroS	Omuz, kalça, diz ve ayak bileği artroskopisi	İsviçre	https://www.virtamed.com/en/medical-training-simulators/arthros
ArthroSim	Diz ve omuz artroskopisi	Amerika Birleşik Devletleri	https://www.toltech.net
ARTHRO Mentor	Omuz, kalça ve diz artroskopisi	İsrail	https://symbionix.com/simulators/arthro-mentor
insightARTHRO	Diz ve omuz artroskopisi	Amerika Birleşik Devletleri	http://insightarthrovrm.com/description/description.htm
TraumaVision	Kalça çevresi kırıkları ve omurga cerrahisi	İsveç	https://swemac.com/simulation
ArthroVision	Temel artroskopi becerilerinin gelişmesi	İsveç	https://swemac.com/simulation

(Tablo 1). Birçok ticari firmanın çeşitli modellerle bu alanda faaliyet göstermesine rağmen (Tablo 2) eğitim alacak asistan ve uzmanların sanal gerçeklik eğitimlerine ulaşımı hala sınırlı kalmaktadır. Teknolojinin yaygınlaşmasıyla birlikte simülasyonların maliyetlerinin azalması ve sanal gerçeklik eğitiminin etkinliği ve öneminin anlaşılmasıyla uygulamada daha fazla yer bulacaktır.

KAYNAKLAR

- Kaplan AD, Cruik J, Endsley M, Beers SM, Sawyer BD, Hancock PA. The effects of virtual reality, augmented reality, and mixed reality as training enhancement methods: a meta-analysis. *Hum Factors* 2021;63(4):706-26. [Crossref](#)
- Clarke E. Virtual reality simulation-the future of orthopaedic training? A systematic review and narrative analysis. *Adv Simul (Lond)* 2021;6(1):2. [Crossref](#)
- Tuijthof G, Horeman T. Simulators in surgical skills training. Karahan M, Akan HK (eds). *Motor Skills Training in Orthopedic Sports Medicine*. Berlin: Springer. 2017; p. 65-73. [Crossref](#)
- Hall MP, Kaplan KM, Gorczyński CT, Zuckerman JD, Rosen JE. Assessment of arthroscopic training in U.S. orthopedic surgery residency programs-a resident self-assessment. *Bull NYU Hosp Jt Dis* 2010;68(1):5-10.
- Banaszek D, You D, Chang J, Pickell M, Hesse D, Hopman WM, et al. Virtual reality compared with bench-top simulation in the acquisition of arthroscopic skill: a randomized controlled trial. *J Bone Joint Surg Am* 2017;99(7):e34. [Crossref](#)
- Coughlin RP, Paayo T, Sutton JC, Coughlin LP, Bergeron SG. A validated orthopaedic surgical simulation model for training and evaluation of basic arthroscopic skills. *J Bone Joint Surg Am* 2015;97(17):1465-71. [Crossref](#)
- Karam MD, Pedowitz RA, Natividad H, Murray J, Marsh JL. Current and future use of surgical skills training laboratories in orthopaedic resident education: a national survey. *J Bone Joint Surg Am* 2013;95(1):e4. [Crossref](#)
- Huri G, Gülşen MR, Karmış EB, Karagüven D. Cadaver versus simulator based arthroscopic training in shoulder surgery. *Turk J Med Sci* 2021;51(3):1179-90. [Crossref](#)
- Andersen C, Winding TN, Vesterby MS. Development of simulated arthroscopic skills. *Acta Orthop* 2011;82(1):90-5. [Crossref](#)
- Rebolledo B J, Hammann-Scala J, Leali A, and Ranawat AS. Arthroscopy skills development with a surgical simulator: a comparative study in orthopaedic surgery residents. *Am J Sports Med* 2015;43(6):1526-29. [Crossref](#)
- Cychoz CC, Tofte J N, Johnson A, Gao Y, Phisitkul P. Fundamentals of arthroscopic surgery training program improves knee arthroscopy simulator performance in arthroscopic trainees. *Arthroscopy* 2018;34(5):1543-49. [Crossref](#)
- Cannon WD, Garrett WE Jr, Hunter RE, Sweeney HJ, Eckhoff DG, Nicandri GT, et al. Improving residency training in arthroscopic knee surgery with use of a virtual-reality simulator. A randomized blinded study. *J Bone Joint Surg Am* 2014;96(21):1798-806. [Crossref](#)
- Waterman BR, Martin KD, Cameron KL, Owens BD, Belmont PJ Jr. Simulation training improves surgical proficiency and safety during diagnostic shoulder arthroscopy performed by residents. *Orthopedics* 2016;39(3):e479-85. [Crossref](#)
- Dunn JC, Belmont PJ, Lanzi J, Martin K, Bader J, Owens B, et al. Arthroscopic shoulder surgical simulation training curriculum: transfer reliability and maintenance of skill over time. *J Surg Educ* 2015;72(6):1118-23. [Crossref](#)
- Nelson AE. Osteoarthritis year in review 2017: Clinical. *Osteoarthritis Cartilage* 2018;26(3):319-25. [Crossref](#)

16. Logishetty K, Rudran B, Cobb JP. Virtual reality training improves trainee performance in total hip arthroplasty: a randomized controlled trial. *Bone Joint J* 2019;101-B(12):1585-92. **Crossref**
17. Logishetty K, Gofton WT, Rudran B, Beaulé PE, Cobb JP. Fully immersive virtual reality for total hip arthroplasty: objective measurement of skills and transfer of visuospatial performance after a competency-based simulation curriculum. *J Bone Joint Surg Am* 2020;102(6):e27. **Crossref**
18. Lohre R, Bois AJ, Athwal GS, Goel DP. Canadian Shoulder and Elbow Society (CSES). Improved complex skill acquisition by immersive virtual reality training: a randomized controlled trial. *J Bone Joint Surg Am* 2020;102(6):e26. **Crossref**
19. Blumstein G, Zukotynski B, Cevallos N, Ishmael C, Zoller S, Burke Z, et al. Randomized trial of a virtual reality tool to teach surgical technique for tibial shaft fracture intramedullary nailing. *J Surg Educ* 2020;77(4):969-77. **Crossref**
20. Akhtar K, Sugand K, Sperrin M, Cobb J, Standfield N, Gupte C. Training safer orthopedic surgeons. Construct validation of a virtual-reality simulator for hip fracture surgery. *Acta Orthop* 2015;86(5):616-21. **Crossref**
21. Xin B, Chen G, Wang Y, Bai G, Gao X, Chu J, et al. The efficacy of immersive virtual reality surgical simulator training for pedicle screw placement: a randomized double-blind controlled trial. *World Neurosurg* 2018;1878-8750:32913-9.