



Katarakt Cerrahi Simülatör Cihazı Pratik Uygulama ile Korele mi?

Does Cataract Surgery Simulation Correlate with Real-life Experience?

© Ayşe Bozkurt Oflaz, © Bengü Ekinci Köktekir, © Süleyman Okudan

Selçuk Üniversitesi Tıp Fakültesi, Göz Hastalıkları Anabilim Dalı, Konya, Türkiye

Öz

Amaç: Katarakt cerrahisi simülasyon cihazının pratik uygulama ile korelasyonunu ve cerrahi eğitime katkısını değerlendirmektir.

Gereç ve Yöntem: Kliniğimizde görev yapan 16 hekim, cerrahi tecrübelerine bakılarak 3 gruba ayrıldı. Cihazın tanıtımı yapıldıktan sonra katılımcılardan navigasyon, forseps, bimanuel uygulama, antitremer ve kapsüloreksis modülünü kapsayan aşamaları yapmaları istendi. Kapsüloreksis aşaması 5 kez tekrar edildi. Katılımcılardan kapsüloreksisi non-dominant el ile tekrar yapmaları istenerek, bu uygulama için de puanları belirlendi. Puanların cerrahi deneyim ve uygulama tekrarından ne kadar etkilendiği değerlendirildi. İstatistiksel değerlendirmede 0,05'in altındaki p değerleri anlamlı kabul edildi.

Bulgular: Katılımcıların kapsüloreksis aşamasındaki puanlarının cerrahi deneyimleri ile korelasyon gösterdiği, dominant el ile yaptıkları kapsüloreksisin non-dominant ele kıyasla daha başarılı olduğu saptandı ($p=0,004$). Tekrarlayan uygulamalar sonrasında kapsüloreksis başarısının arttığı görülmüştür ($p=0,001$).

Sonuç: Katarakt cerrahi simülatör cihazı cerrahi deneyim ile korele sonuçlar vermektedir. Tekrarlayan uygulamalarda katılımcının performans artışı, cerrahi beceriye katkı sağladığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Cerrahi eğitim, fakoemülsifikasyon cerrahisi, sanal gerçeklik simülasyonu

Abstract

Objectives: To evaluate the correlation of cataract surgical simulator and real-life surgical experience and its contribution to surgical training.

Materials and Methods: Sixteen doctors in our department were divided into three groups based on their surgical experience. After being familiarized with the device, the participants were evaluated while performing the navigation, forceps, bimanual practice, anti-tremor and capsulorhexis stages. The capsulorhexis stage was repeated five times. Participants were also assessed while performing capsulorhexis again with their non-dominant hand. The influence of repetition and surgical experience on the recorded points was evaluated. P values below 0.05 were considered statistically significant.

Results: There was correlation between the participants' surgical experience and their scores in the capsulorhexis module. Their dominant hand was more successful than the non-dominant hand in capsulorhexis ($p=0.004$). Capsulorhexis scores increased with repetition ($p=0.001$).

Conclusion: Results achieved with the cataract surgery simulation device correlate with surgical experience. The increase in performance upon repeated practice indicates that the simulator supports surgical training.

Keywords: Surgical training, phacoemulsification surgery, virtual reality simulation

Yazışma Adresi/Address for Correspondence: Dr. Ayşe Bozkurt Oflaz, Selçuk Üniversitesi Tıp Fakültesi, Göz Hastalıkları Anabilim Dalı, Konya, Türkiye

Tel.: +90 505 714 60 95 E-posta: draysebozkurtoflaz@yahoo.com **ORCID-ID:** orcid.org/0000-0001-5894-0220

Geliş Tarihi/Received: 21.05.2017 **Kabul Tarihi/Accepted:** 13.12.2017

©Telif Hakkı 2018 Türk Oftalmoloji Derneği
Türk Oftalmoloji Dergisi, Galenos Yayınevi tarafından basılmıştır.

Giriş

Simülator vasıtasıyla cerrahi eğitim, kontrollü bir ortamda eğitim yapılabilmesi ve ilerlemeyi objektif olarak değerlendirmeye olanak sağladığı için pek çok branşta kullanılmaktadır. Cerrahi simülator, oftalmolojide de asistan cerrahi eğitim sürecinin önemli bir parçası olmaya adaydır. Hasta üzerinde yapılan pratik cerrahi uygulamaların sayısı önemli ise de bilgisayar bazlı cerrahi simülasyon cihazlarında yapılacak eğitimin, gerçek hayattaki cerrahi başarıyı artıracığı ve komplikasyon oranlarını azaltacağı öne sürülmüştür.¹

Katarakt cerrahisi oftalmolojide en sık yapılan cerrahi uygulamalardan biridir.² Bu uygulamada iyi bir el-göz koordinasyonu olmalıdır ve yeni başlayanlar için uzun bir öğrenme süreci gerektirir.³ Çok sayıda çalışmada simülator ile eğitim ve wet-lab eğitiminin cerrahi performansı artırdığı, asistanların öğrenme sürecini hızlandığı ve hekime bağlı komplikasyonları azalttığı bildirilmiştir.¹

Katarakt cerrahisi için geliştirilen üç adet simülator cihazı mevcuttur: Eyesi® (VRmagic, Mannheim, Almanya), PhacoVision® (Melerit Medikal, Linköping, İsveç) ve Micro VisTouch® (Chicago, ABD). Literatürde en çok çalışma Eyesi® simülasyon cihazı ile yapılmıştır.¹ Bu cihazın cerrahi için sistematiği, efektif ve güvenilir bir eğitimi, daha düşük harcamayla gerçekleştirildiği bildirilmiştir.⁴ Hem Micro VisTouch® hem de PhacoVision® simülatorleri için de oldukça sınırlı sayıda çalışma vardır.¹ Micro VisTouch® cihazında diğerlerinden farklı olarak ayarlanabilir sanal baş özelliği ile dokunsal geribildirim avantajı mevcuttur. Ancak alette sadece kapsülöresis aşaması bulunmakta olup, Eyesi® simülasyon cihazındaki diğer modüller mevcut değildir.¹

Kliniğimizde bulunan katarakt cerrahisi simülasyon cihazı (Eyesi®, VRmagic, Mannheim, Almanya) cerrahi eğitim ve pratik uygulamaya geçiş sürecini hızlandırmak amacıyla düzenli olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmayı, simülasyon cihazı uygulamalarının katarakt cerrahisi eğitimine katkısı ve gerçek hayat ile korelasyonu değerlendirmek için tasarladık.

Gereç ve Yöntem

Fakültemizin etik kurulundan onay alınarak, kliniğimizde araştırma görevlisi olarak görev yapan hekimlere çalışmanın içeriğinden bahsedildi, alınan puanların çalışmada kullanılacağı söylenerek bilgilendirilmiş onam alındı. On altı hekimden cerrahi deneyimlerine dayanarak üç grup oluşturuldu. Grup 1 hiç katarakt cerrahisi yapmamış ve göreve başlama süresi 2 ile 10 ay arası değişen 7 araştırma görevlisinden oluşturuldu. Grup 2'de olgu sayısı 20 ile 80 arasında değişen ve görev süresi 12 ile 24 ay arası olan 6 araştırma görevlisi, grup 3'te ise olgu sayısı 1000-1500 arasında değişen 3 öğretim üyesi bulunmaktaydı. Her bir hekimin oftalmolojik muayenesi yapıldı, düzeltilmiş en iyi görme keskinliği her iki gözde 20/20, stereopsisi yeterli ve biyomikroskopik muayenesi doğal olanlar gruba dahil edildi.

Bu çalışma, kliniğimizde bulunan cerrahi simülator cihazı (Eyesi®) kullanılarak yapıldı. Bizim kullandığımız cihazda

sadece katarakt cerrahisi simülasyon yazılımı mevcuttu.

Çalışmadaki tüm simülator oturumları tek araştırmacı (A.B.O.) tarafından denetlendi. Katılımcılara öncelikle cerrahi simülator cihazı tanıtıldı. Eğitim sonrasında katılımcılardan ilk aşama olan navigasyon uygulaması, daha sonra sırası ile forseps uygulaması, bimanuel uygulama, antitremor modülü ve kapsülöresis aşamalarının birinci basamaklarını yapmaları istendi.

Kapsülöresis modülünde, katılımcılardan dominant el ile uygulama sonrası aynı işlemi dominant olmayan el ile tekrarlamaları istendi. Dominant el ile kapsülöresis işlemi dört kere daha tekrarlatıldı. Son olarak kapsülöresis modülünün üçüncü aşaması olan "matür katarakta kapsülöresisin" yapılması istendi ve alınan puanlar not edildi.

İstatistiksel Analiz

Çalışmada elde edilen veriler değerlendirilirken, istatistiksel analizler için SPSS 15.0 programı kullanıldı. Cerrahi deneyim ile cihazdan alınan skorlar arasında non-parametrik korelasyon değeri belirlendi (Spearman korelasyon katsayısı). Diğer veriler non-parametrik olarak Kruskal Wallis Test ile analiz yapıldı, 0,05'in altındaki p değerleri anlamlı kabul edildi.

Bulgular

Çalışmaya dahil edilen 16 hekimden 7'si kadın, 9'u erkek olup yaş ortalamaları 30,18 yıl idi. Katılımcıların kapsülöresis aşamasında dominant ve dominant olmayan el ile yaptıkları uygulama sonrası aldıkları puanların pratik hayattaki olgu sayıları ile doğru orantılı olarak arttığı görüldü (Grafik 1).

Dominant el ile yapılan kapsülöresisin, dominant olmayan ele kıyasla daha başarılı olduğu saptandı (p=0,004). Tekrarlayan uygulamalar sonrasında kapsülöresis başarısının arttığı görüldü (p=0,001) (Grafik 1).

Tekrar sırasındaki başarı artışının olgu sayısı daha düşük olan gruplarda daha fazla olduğu görüldü. "Matür katarakta kapsülöresis" aşamasını olgu sayısı fazla olan grup 3 daha başarılı olarak tamamladı (Grafik 1).

Kruskal Wallis testi ile grupların deneyimine göre puanları analiz edildiğinde daha tecrübeli olan grupta, daha az tecrübe sahibi gruba göre puan açısından anlamlı bir fark olduğu görüldü (p=0,009).

Kapsülöresis aşamasında alınan puan ortalamaları



Grafik 1. Grupların kapsülöresis aşamasından aldıkları puanların grafiği

Spearman korelasyon analizine göre cerrahi deneyimle kapsüloreksis puanlarının korelasyonu değerlendirildi, tüm aşamalarda cerrahi deneyimle alınan puanların doğru orantılı olarak arttığı görüldü (Tablo 1).

Tartışma

Son yıllarda cerrahi simülasyon cihazına artan ilgi, bu cihazların cerrahi anlamda pratik hayata katkısını ve gerçekle uyumunu araştıran birçok çalışmayı beraberinde getirmiştir. Oftalmoloji pratiğinde bu cihazların kullanıldığı kurslar yapılmaktadır. Bu şekilde hekimlere katarakt cerrahisi ya da vitreoretinal cerrahi konusunda eğitim alma ve pratik yapma fırsatı sunulmaktadır.

Eyesi® simülatör cihazı, binoküler görme sisteminin olduğu, pedal yardımı ile görüntüde derinlik ve büyütme ayarının yapılabileceği şekilde tasarlanmıştır. Kullanıcıların cerrahi enstrümanları taklit eden problemleri kullanabilmeleri için, çeşitli akslarda (saat 8, 6, 5, 3 hizasında) giriş yeri bulunan sağ gözün yerleştirildiği bir baş bulunmaktadır (Resim 1).

Tablo 1. Alınan puanların cerrahi deneyim ile karşılaştırılması

Cerrahi deneyim	Cerrahi simülasyon aşamaları	Spearman korelasyon katsayısı	p değeri
	İlk kapsülöreksis	0,794	0,000
	Beşinci kapsülöreksis	0,606	0,013
	Dominant olmayan elle kapsülöreksis	0,760	0,001
	Matür kataraktta kapsülöreksis	0,837	0,000



Resim 1. Kliniğimizde bulunan katarakt cerrahisi simülatör cihazı

Kullanıcılar çeşitli modüllerde, değişen zorluklardaki aşamaları uygularken geçen süre, gözün deviasyonu, kornea, lens, iris gibi dokulardaki incinme ve aşamanın başarılı şekilde tamamlanıp tamamlanmamasına göre, sistem tarafından 0 ile 100 arasında puanlanmaktadır.

Navigasyon aşamasında ön kamarada bulunan kürelerin kullanıcı tarafından prob kullanılarak yeşile boyanması beklenmektedir. Forseps uygulamasında kullanıcının kenarlarda bulunan üçgen şeklindeki hedefleri ön kamarada bulunan alana getirmesi beklenmektedir. Bimanuel uygulamada her iki el ile problemlerin aynı anda kürelere dokundurulması istenmektedir. Antitremor modülünde kullanıcının küreyi prob yardımı ile belli bir doğrultuda ilerletmesi beklenmektedir. Kapsüloreksis aşamasında kullanıcının öncelikle ön kamaraya viskoelastik madde verip, kistotom uygulaması ile flep oluşturup, forseps kullanarak dairesel bir kapsüloreksis yapması gerekir. Bu modüldeki “matür kataraktta kapsüloreksis” aşamasında da kullanıcılar ek olarak doku boyası kullanabilmektedir (Resim 2). Sonraki basamaklarda prob ile lensin yenilmesi, lensi kırma ve parçalama aşaması, irrigasyon ve aspirasyon ve göz içi lens konulması gibi basamakları mevcuttur.

Mahr ve Hodge⁵ tarafından yürütülen bir çalışma, simülör Eyesi'nin® ön segment antitremor ve forseps eğitim aşamalarının geçerliliğini göstermiştir. Toplam 15 katılımcı; 12'si deneyimsiz, 3'ü deneyimli cerrah olarak iki gruba ayrılmıştır. Deneyimli cerrahlar daha yüksek puan alırken, aşamaları daha kısa sürede tamamlamıştır.

Banerjee ve ark.,⁶ MicroVisTouch® simülatörü ile kapsüloreksis performans metriklerinin (süre, kapsüloreksis tamamlanmış kapsül sayısı ve kapsüloreksisin dairesellik derecesi) eşzamanlı geçerliliğini araştırmışlar ve cihazın günlük hayattaki sonuçlar ile korole sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Selvander ve Åsman,⁷ Eyesi® simülatörünün kapsülöreksis, hidrodiseksiyon, fakoemulsifikasyon, navigasyon, forseps eğitim aşamalarının geçerliliğini değerlendirdiler. Yirmi dört katılımcı, 17 tıp öğrencisi ve 7 deneyimli cerrah olarak iki gruba ayrıldı. Tecrübeli cerrahlar kapsülöreksis, navigasyon ve forseps modülleri için simülatör üzerinde istatistiksel olarak daha iyi bir skor gösterdi; fakoemulsifikasyon, kırma ve parçalama aşamalarında daha az belirgin fark görüldü. Aynı araştırmacılar tekrarlayan uygulamaların ve önceki aşamaların öğrenme eğrisini etkileyip etkilemediğini değerlendirmek için 35 tıp öğrencisinde aynı aşamaları tekrar etmiş ve ilk on denemede hızlı bir öğrenme eğrisinin olduğu ve sonrasında bir plato çizdiğinden bahsetmiştir. Çalışmada kapsülöreksis aşaması için eşzamanlı gerçeklik bulunduğu belirtilmiştir.⁸

Privett ve ark.,⁹ Eyesi® ile kapsülörekis eğitim aşamasının geçerliliğini değerlendirmiş, 23 katılımcıyı 16 tıp öğrencisi ve 7 deneyimli cerrah olarak iki gruba ayırmıştır. Sonuçta alınan puanlar ve kapsülörekisin tamamlanma süresi gerçek hayat ile korele bulunmuştur.

Thomsen ve ark.¹⁰ hiç katarakt ameliyatı yapmamış 26 hekim ve 11 deneyimli katarakt cerrahı ve 5 vitreoretinal cerrah ile beraber Eyesi® katarakt cerrahi simülâtör cihazını test etmiş, güvenilirliği ve geçerliliği konusunda yaptıkları

bu çalışmada deneyimli katarakt cerrahları ve vitreoretinal cerrahların yeterli ve daha yüksek puan aldıklarını göstermiştir. Bizim verilerimizde de cerrahi tecrübenin artması ile birlikte modüllerde alınan puanların arttığı gözlemlendi.

Yapılan başka bir araştırmada 31 tıp öğrencisi ve 32 göz hekiminden oluşan 63 kişilik grup rastgele iki gruba ayrılmıştır. Grubun birine Eyesi® simülâtör cihazı ile kapsülöreksis aşamasında çalıştırılmıştır. Tüm katılımcılara eğitim öncesinde ve sonrasında domuz gözünde kapsülöreksis yaptırılmış ve videoya alınmıştır. Video bağımsız bir ekip tarafından incelenip, performanslara puan verilmiştir. Simülâtör ile egzersiz yapan ekip, hem kendi ilk performanslarına hem de diğer grubun tüm performanslarına kıyasla anlamlı olarak daha yüksek puanlar almıştır. Bunun cerrahi eğitime olan katkısı vurgulanmıştır.¹¹

Bergqvist ve ark.¹² da simülasyon cihazındaki tekrarlayan uygulamalarda alınan puanların arttığını göstermiş ve uygulamanın eğitim için katkısını vurgulamıştır. Bizim uygulamamızda da katılımcılar beşinci kere kapsülöreksis uygulaması yaparken daha yüksek performans göstermektedir. Bu sonuç, yapılan tekrarların cerrahi pratiğe katkısının olabileceğini düşündürdü.

Dooley ve O'Brien¹³ kullanıcılara sorularak subjektif olarak yapılan değerlendirmede, cihazdaki en zor aşamanın kapsülöreksis aşaması olduğunu bildirmiş ve cihaz ile pratik yapılırken bu aşamaya daha uzun süre ayırmanın eğitim açısından faydalı olabileceğini belirtmişlerdir.

Belyea ve ark.¹⁴ simülâtör cihazının asistan eğitimine olan katkısını araştırmak üzere 17'si simülasyon cihazı ile eğitim alan, 25'i almamış olan 42 hekimin 592 ameliyatını toplam cerrahi süresi, komplikasyon oranı ve yüzdesi olarak geriye dönük olarak değerlendirmiş ve simülasyon eğitimi alan ekibin öğrenme eğrisi açısından daha başarılı olduğunu göstermişlerdir. Cerrahi olarak komplikasyon ciddiyeti ve sayısının bu grupta

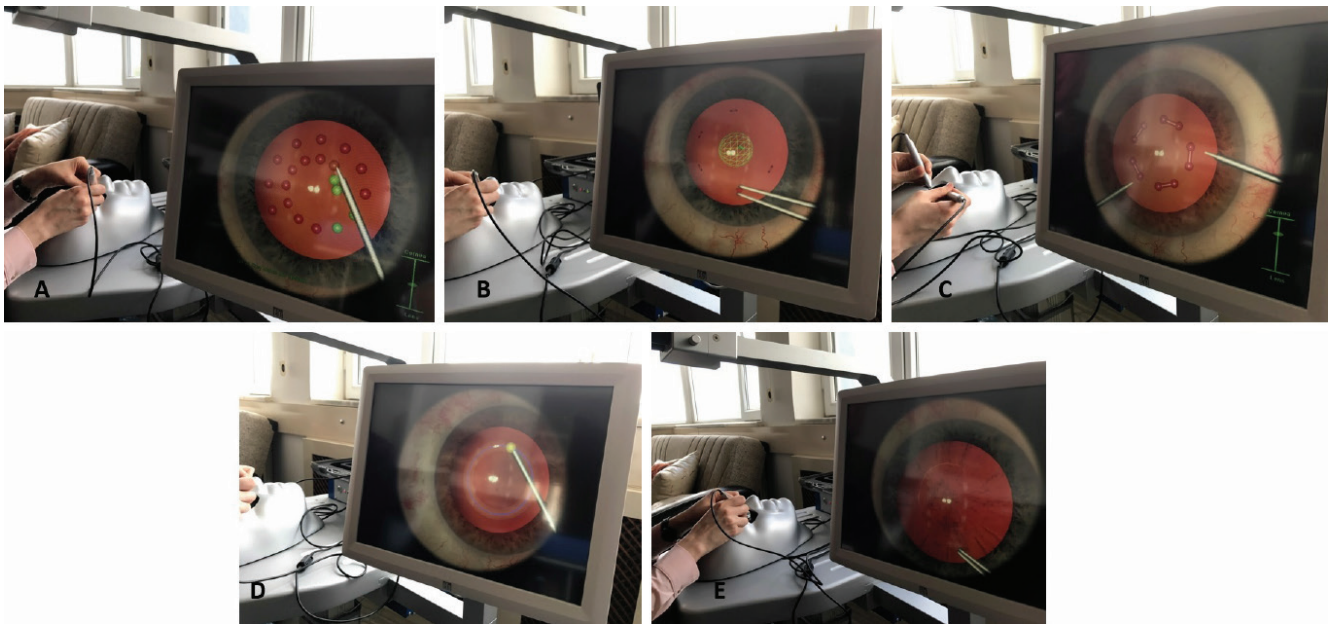
daha kontrollü olduğu ve cerrahi süresinin daha kısa olduğu da görülmüştür.

Pokroy ve ark.¹⁵ simülâtör cihazının cerrahiye öğrenmede faydalı olduğunu ve yapılan uygulamaların olgu süresini kısalttığını göstermiştir. Saleh ve ark.,¹⁶ Uluslararası Oftalmik Simülasyon Forumu tarafından Eyesi® simülâtörü kullanılarak kurulmuş bir eğitim programı uygulanmasının verimliliğini araştırmayı amaçlayan bir araştırmada, 16 deneyimsiz cerrahın simülasyon cihazındaki ilk ve eğitim sonrası son puanlarını karşılaştırmıştır. Tüm aşamalarda alınan puanlarda anlamlı artış olduğu gösterilmiş ve özellikle cerrahinin ilk yılındaki öğrenme eğrisine önemli katkısına vurgu yapılmıştır. Kliniğimizde özellikle katarakt cerrahisi aşamalarının öğreniminde ve ilk uygulamalarda Eyesi® ile hazırlık yapılması rutin uygulamaya girmiş olup, cerrahi güvenliği artırdığı deneyimlenmiştir.

Sachdeva ve Traboulsi¹⁷ stereopsisi yetersiz katılımcıları kontrol grubu ile karşılaştırarak yaptıkları çalışmada performans açısından anlamlı fark bulmuşlardır. Çalışmamızda oftalmoloji ihtisası yapan katılımcıların stereopsis muayeneleri normal olduğu için bu konuda bir değerlendirme yapılamamıştır. Yine de çalışmada stereopsis yetersizliğinin performansı etkiliyor olması, cihazın gerçekliği ve güvenilirliği hakkında kanıt niteliğindedir.

Eğitim ve öğretimde yer almalarına ek olarak, simülâtörler, cerrahi ortamın cerrahın performansı üzerindeki etkisini değerlendirmek için de idealdir. Hastanın güvenliği ile ilgili etik nedenlerle, bu çalışmaların çoğu gerçek hasta cerrahi ortamında uygulanamaz. Simülâtörler yorgunluğun, görme keskinliğinin, dominant olmayan el kullanımının, cerrahın dikkatinin dağılmasının ve β -bloker kullanımının cerrahi performans üzerindeki rolünü değerlendirmek için kullanılmıştır.^{18,19,20,21,22}

İlk cerrahi deneyimler esnasında hasta affedici olmayan bir eğitmen olabilmektedir. Araştırma görevlilerin ilk



Resim 2. Simülâtör cihazındaki navigasyon (A), forseps (B), bimanuel uygulama (C), antitremormodülü (D) ve kapsülöreksis aşaması (E) sırasındaki ekran görüntüleri

yıllarında öğrenme eğrilerine destek olmak açısından simülasyon cihazlarının günlük pratikte daha fazla yer alacağı öngörülmektedir. Simülatörlerin sanal gerçeklik çalışmaları ve eğitime olan katkıları üzerine yabancı literatürde yayınlar bulunsa da, ülkemizde bu konu ile ilgili henüz yayınlanmış çalışma yoktur. Bu nedenle klinik deneyimimizi bu konuya dikkat çekmek amacıyla paylaşmak istedik.

Sonuç

Kapsülörektis aşamasında alınan puan skalası incelendiğinde katarakt cerrahi simülatör cihazı gerçek hayat ile korele sonuçlar vermektedir. Tekrarlayan uygulamaların performansı artırması da eğitime katkıda bulunduğunu düşündürmektedir.

Hiç cerrahi deneyimi olmayan ekipte uygulama sırasında bazı cerrahi tekniklerin zaman kısıtlaması olmadan anlatılabildiği ve eğitim alan kişinin anlatılan tekniği rahatça gözlemleyebildiği bir uygulama olduğu için, simülasyon cihazlarının pratik uygulamada yer bulabileceği düşünülmüştür. Gerçek hastada yapılan bir uygulama olmadığı için cerrahi uygulamayı yapan öğrenciye ve eğitime, daha sakin ve rahat bir ortam oluşturduğu gözlenmiştir.

İlk uygulamaların simülasyon cihazında yapılması sonrasında gerçek olguda deneyimlenmesi, etik açıdan daha uygun olabilmektedir. Öğrenen kişi için olgu öncesi özgüven oluşturabileceği ve olası medikolegal sıkıntıların bir kısmının engellenebileceği düşünülmektedir. Sonuç olarak cerrahi uygulama öncesi hekimin kendini yeterli hissetmesi ve olası komplike durumların önlenmesi için ideal bir uygulamadır.

Etik

Etik Kurul Onayı: Selçuk Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu (karar no: 2017/101).

Hasta Onayı: Alınmıştır.

Hakem Değerlendirmesi: Editörler kurulu dışında olan kişiler tarafından değerlendirilmiştir.

Yazarlık Katkıları

Konsept: Bengü Ekinci Köktekir, Süleyman Okudan, Dizayn: Bengü Ekinci Köktekir, Süleyman Okudan, Veri Toplama veya İşleme: Ayşe Bozkurt Oflaz, Analiz veya Yorumlama: Bengü Ekinci Köktekir, Süleyman Okudan, Literatür Arama: Ayşe Bozkurt Oflaz, Bengü Ekinci Köktekir, Yazan: Ayşe Bozkurt Oflaz.

Çıkar Çatışması: Yazarlar tarafından çıkar çatışması bildirilmemiştir.

Finansal Destek: Yazarlar tarafından finansal destek almadıkları bildirilmiştir.

Kaynaklar

1. Sikder S, Tuwairqi K, Al-Kahtani E, Myers WG, Banerjee P. Surgical simulators in cataract surgery training. *Br J Ophthalmol*. 2014;98:154-158.
2. Solborg Bjerrum S, Mikkelsen KL, la Cour M. Epidemiology of 411 140 cataract operations performed in public hospitals and private hospitals/clinics in Denmark between 2004 and 2012. *Acta ophthalmol*. 2015;93:16-23.
3. Randleman JB, Wolfe JD, Woodward M, Lynn MJ, Cherwek DH, Srivastava SK. The resident surgeon phacoemulsification learning curve. *Arch Ophthalmol*. 2007;125:1215-1219.
4. Khalifa YM, Bogorad D, Gibson V, Peifer J, Nussbaum J. Virtual reality in ophthalmology training. *Surv Ophthalmol*. 2006;51:259-273.
5. Mahr MA, Hodge DO. Construct validity of anterior segment anti-tremor and forceps surgical simulator training modules: attending versus resident surgeon performance. *J Cataract Refract Surg*. 2008;34:980-985.
6. Banerjee PP, Edward DP, Liang S, Bouchard CS, Bryar PJ, Ahuja R, Dray P, Bailey DP. Concurrent and face validity of a capsulorhexis simulation with respect to human patients. *Stud Health Technol Inform*. 2011;173:35-41.
7. Selvander M, Åsman P. Cataract surgeons outperform medical students in Eyesi virtual reality cataract surgery: evidence for construct validity. *Acta Ophthalmol*. 2013;91:469-474.
8. Selvander M, Åsman P. Virtual reality cataract surgery training: learning curves and concurrent validity. *Acta Ophthalmol*. 2012;90:412-417.
9. Privett B, Greenlee E, Rogers G, Oetting TA. Construct validity of a surgical simulator as a valid model for capsulorhexis training. *J Cataract Refract Surg*. 2010;36:1835-1838.
10. Thomsen AS, Kiilgaard JE, Kjaerbo H, la Cour M, Konge L. Simulation-based certification for cataract surgery. *Acta ophthalmol*. 2015;93:416-421.
11. Feudner EM, Engel C, Neuhann IM, Petermeier K, Bartz-Schmidt KU, Szurman P. Virtual reality training improves wet-lab performance of capsulorhexis: results of a randomized, controlled study. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2009;247:955-963.
12. Bergqvist J, Person A, Vestergaard A, Grauslund J. Establishment of a validated training programme on the Eyesi cataract simulator. A prospective randomized study. *Acta Ophthalmol*. 2014;92:629-634.
13. Dooley JJ, O'Brien PD. Subjective difficulty of each stage of phacoemulsification cataract surgery performed by basic surgical trainees. *J Cataract Refract Surg*. 2006;32:604-608.
14. Belyea DA, Brown SE, Rajjoub LZ. Influence of surgery simulator training on ophthalmology resident phacoemulsification performance. *J Cataract Refract Surg*. 2011;1756-1761.
15. Pokroy R, Du E, Alzaga A, Khodadadeh S, Steen D, Bachynski B, Edwards P. Impact of simulator training on resident cataract surgery. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2013;251:777-781.
16. Saleh GM, Lamparter J, Sullivan PM, O'Sullivan E, Hussain B, Athanasiadis I, Litwin AS, Gillan SN. The international forum of ophthalmic simulation: developing a virtual reality training curriculum for ophthalmology. *Br J Ophthalmol*. 2013;97:789-792.
17. Sachdeva R, Traboulsi EI. Performance of patients with deficient stereoacuity on the EYESi microsurgical simulator. *Am J Ophthalmol*. 2011;151:427-433.
18. Waqar S, Park J, Kersey TL, Modi N, Ong C, Sleep TJ. Assessment of fatigue in intraocular surgery: analysis using a virtual reality simulator. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2010;249:77-81.
19. Waqar S, Williams O, Park J, Modi N, Kersey T, Sleep T. Can virtual reality simulation help to determine the importance of stereopsis in intraocular surgery? *Br J Ophthalmol*. 2012;96:742-746.
20. Park J, Waqar S, Kersey T, Modi N, Ong C, Sleep T. Effect of distraction on simulated anterior segment surgical performance. *J Cataract Refract Surg*. 2011;37:1517-1522.
21. Park J, Williams O, Waqar S, Modi N, Kersey T, Sleep T. Safety of nondominant-hand ophthalmic surgery. *J Cataract Refract Surg*. 2012;38:2112-2116.
22. Pointdujour R, Ahmad H, Liu M, Smith E, Lazzaro D. B-blockade affects simulator scores. *Ophthalmology*. 2011;118:1893.