

Güncel Modern Vitrektomi Cihazları ve Yenilikler

Actual Modern Vitrectomy Machines and Innovations

Mehmet ÇITIRIK¹, Kemal TEKİN², Veysel CANKURTARAN², Mert ŞİMŞEK²

ÖZ

Vitrektomi ameliyatındaki teknolojik gelişmeler sayesinde daha önceleri körlükle sonuçlanan vitreoretinal hastalıklarda yaklaşık 4 dekaddır oldukça iyi sonuçlar alınmaktadır. Teknoloji ve tekniklerdeki birçok ilerlemeler vitrektomi yöntemini yerleştirme ve geliştirme için yapılmaktadır. Vitrektomi tekniklerinin gelişimi dokuya en az hasar üzerine odaklanmaktadır. Sütürsüz vitrektomi yapmak için cerrahi ekipman boyutunu en aza indirmek gibi büyük gelişmeler, modern vitrektomi cerrahisinde en dikkat çekici gelişme olmaktadır. Son gelişmeler sayesinde, artık rutin olarak daha az invaziv cerrahi, daha erken iyileşme ve daha güvenli cerrahiler yapılmaktadır. Bu yazıda güncel modern vitrektomi cihazları ve yeniliklerden bahsedilecektir.

Anahtar Kelimeler: Güncel vitrektomi cihazları, vitrektomi, yenilikler.

ABSTRACT

Thanks to technological advances in vitrectomy surgery, good results have been obtained for approximately 4 decades with vitreoretinal diseases previously resulting in blindness. Numerous advances in the technologies and techniques have been made for the establishment and refinement of vitrectomy modality. Development of vitrectomy techniques is the focus in minimal damage to tissues. Of these, enormous advances in minimizing the size of the surgical equipment for carrying out sutureless vitrectomy may be the most remarkable advancement in modern vitrectomy surgery. With the recent advancements, we can now routinely achieve less invasive surgery and consequently have earlier recovery with improved safety. This article mentions about actual modern vitrectomy machines and innovations.

Key Words: Actual vitrectomy machines, innovations, vitrectomy.

- 1- M.D. Associate Professor, Ulucanlar Eye Training and Research Hospital, Ankara/TURKEY
CITIRIK M., mcitirik@hotmail.com
- 2- M.D. Asistant, Ulucanlar Eye Training and Research Hospital, Ankara/TURKEY
TEKİN K.,
CANKURTARAN V.,
SIMSEK M.

Geliş Tarihi - Received: 12.05.2015
Kabul Tarihi - Accepted: 27.05.2015
Ret-Vit 2015;23:106-114

Yazışma Adresi / Correspondence Address: M.D., Associate Professor, Mehmet CITIRIK
Ulucanlar Eye Training and Research Hospital, Ulucanlar Cad. No:59 06230
Altındağ-Ankara/TURKEY

Phone: +90 312 362 32 22
E-mail: mcitirik@hotmail.com

GİRİŞ

Günümüzde teknolojiadaki gelişmelerle birlikte vitreoretinal cerrahinin daha hızlı ve güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesine imkân tanıyan gelişmeler yaşanmaya başlamıştır. Vitrektomi cihazı üreten firmalarda araştırma ve geliştirme uğraşları sürekli olarak devam etmektedir. Bunun sonucunda üstün özellikler taşıyan, oldukça donanımlı ve ergonomik cihazlar geliştirilmiş ve satışa sunulmuştur. Bu gelişmeler ve yenilikler ilk olarak 2009 yılında Alcon Constellation Sistemi ve 2010 yılında Bauch&Lomb Stellaris sistemi ile tanıtılmıştır. 2012 yılında satışa sunulan DORC Eva Sistemi de pazarda ciddi bir alternatif haline gelebilmiştir. Ayrıca ülkemizde pazarda yer tutmaya çalışan VSY R-Evolution CR cihazı ve henüz ülkemizde satışa sunulmamış 2012 yılında FDA onayı alan Synergetics firmasına ait VersaVit cihazı güncel modern vitrektomi cihazları arasında yerini almışlardır. Bu cihazlardan bahsetmeden önce güncel modern vitrektomi cihazlarında geliştirilen önemli değişiklikleri sıralamamız gerekmektedir.

1. Küçük Çaplı Problar, Küçük İnsizyonlu Kesiler ve Valvli Kanüller

On yıl öncesine kadar kullanılagelen vitrektomi cihazları ve enstrümanları 20 Gauge (G) (0.91 mm) vitrektomi sistemi için tasarlanmıştı. Modern vitrektomi cihazları ise 23 G (0.65 mm), 25 G (0.51 mm) ve 27 G (0.41 mm) vitrektomi sistemini kullanabilen özellik ve enstrümanlara sahiptir. Günümüzde yaygın olarak 23 G sistemi kullanılsa da özellikle çocuklarda, traksiyonel retina dekolmanlarında, proliferatif vitreoretinopatide ve epiretinal membranlarda 25 G ve 27 G vitrektomi teknikleri uygulanmaya başlamıştır.^{1,2} Zaman ilerledikçe vitrektomi problemlerinin çaplarının küçültülmesine yönelim bulunmaktadır. Vitrektomi problemlerinde çaptaki azalmaya bağlı gerçekleşen esneme problemleri yeni cihazlarda kullanılan enstrümanlarla çözülebilmektedir. Yine de çap küçüldükçe vitrektomi probundan aspire edilen vitreus miktarının az olacağı ve vitrektomi süresinin uzayabileceği akılda tutulmalıdır.

Küçük insizyonlu kesiler, sütür kullanımına bağlı komplikasyonları önemli oranda azaltmış, ameliyat sonrasında dönemde vitre içi tamponadın sızıntısına bağlı komplikasyonları düşürmüş, yara iyileşmesine bağlı konjontival skarlaşmanın minimum olmasını ve ameliyat sonrasında indüklenmiş astigmatizmanın azaltılmasını sağlamıştır.³⁻⁵

Modern vitrektomi cihazlarıyla çözülebilmiş bir diğer önemli konu daha eski vitrektomi cihazlarında vitrektomi sırasında göz içerisindeki enstrümanların

değiştirilmesi sırasında ortaya çıkabilen göz içi dalgalanmalar ve hipotonidir. Valvli kanüllerle kapalı bir sistem sağlanabilmiş, göz içi enstrümanların değiştirilmesi sırasında ortaya çıkan kaçak ve sızıntılar önlenmiş, göz içi basıncındaki dalgalanmaların önüne geçilmiş ve göz içi tamponadın verildiği miktarda göz içerisinde kalabilmesi sağlanmıştır.⁶

2. Yüksek Kesim Hızları ve İkiz Görev Döngüsü

Eski vitrektomi cihazlarında maksimum 2500/dk kesim hızları mevcutken; günümüz cihazlarında kullanılan pnömatik sistemli yüksek kesi hızına sahip problemlerle dakikada 7500 kesi yapabilmek mümkün olabilmektedir. Güncel vitrektomi cihazlarında çapın azalmasına bağlı oluşan aspirasyondaki azalmanın üstesinden gelebilmek için yüksek kesi hızına sahip olan ve ikiz görev döngüsü kullanan (TDC: Twin Duty Cycle) vitrektomi problemleri geliştirilmiş ve 16000 kesi/dk'ya ulaşılabilmektedir.⁷⁻⁸ Bu problemlerde daha büyük bir silindirik açıklık içinde iki keskin kesici kenara sahip olan ve hem kapanma hem de açılma aşamalarında vitreusu keserek vitrektomi zamanını kısaltan bir iç kesici tüp sistemi kullanılmaktadır.⁹

Yüksek kesi hızları daha küçük parçalar şeklinde aspire edilen vitreusun retina üzerindeki oluşturabileceği traksiyon kuvvetini azaltmış, akım hızında ve göz içi basıncında belirgin değişiklik oluşturmadan cerrahinin gerçekleştirilmesine izin vermiştir.¹⁰ Yüksek kesi hızlarına sahip problemler özellikle vakum bazlı ventüri sistemi kullanımında güvenliği artırmış; perifer vitreus temizliği, retina dekolmanı ve membran soyulması gibi retinaya yakın çalışılan durumlarda iyatrojenik yırtık riskinin azaltılmasını sağlamıştır.^{11,12} Yeni yüksek hızlı problemlerin getirdiği bir diğer yenilik de görev döngüsünün cerrah tarafından ayarlanabilmesi olmuştur.¹³ Açık, kapalı, orantılı ve 3D gibi görev döngüsü sistemleri ile cerrah akım hızını ve kesi hızının başlangıcını, üst limitini ve kademelerini kendi isteği doğrultusunda seçerek vitrektominin farklı aşamalarındaki akım ve kesim hızını kendisi için en uygun aralıklarda gerçekleştirebilme fırsatı yakalamıştır.¹⁴

3. Pompa ve Artırılmış Vakum Düzeyi

Günümüzde kullanılan modern vitrektomi cihazlarında yüksek kesim hızları ve daha küçük çaplı enstrümanların kullanılması ile ventüri pompanın oluşturabileceği komplikasyonlar en aza indirilmiştir.¹¹ Ayrıca bazı cihazlarda ventüri ve perilstatik pompanın sınırlamalarının üstesinden gelebilen kombine bir sistem kullanılmaktadır.¹⁵ Modern cihazlarla ilgili bir diğer yenilik artırılmış maksimal vakum düzeyleridir. Eski cihazlarda 150 mmHg olan maksimal vakum düzeyi yeni cihazlarda 650 mmHg'ya kadar çıkmaktadır.¹⁶

Ayrıca yeni cihazlarda vakumdaki bu aralıklar çok küçük steplerle değiştirilebilmekte ve bu da cerraha istenilen düzeyde vakum kuvveti uygulayarak traksiyonsuz güvenli bir cerrahi gerçekleştirilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca modern cihazlarda yüksek vakum düzeylerinde gelişebilecek yanlışlıkla tutulan dokunun hemen bırakılmasını sağlayan gelişmiş reflü sistemi ameliyat sırasında iyatrojenik yaralanmalara karşı geliştirilmiş bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır.¹⁷ Reflünün devreye girebilmesi için cerrahın ayak pedalından ani olarak ayağını çekmesi yeterlidir. Böylelikle vakum aniden durduğu gibi bir miktar da otomatik reflü olmaktadır.

4. Göz İçi Basınç Kontrol Sistemi

Geçmişte kullanılan vitrektomi cihazlarında kesim hızları ve vakum artırıldığında vitre içinden aspire edilen sıvı miktarı arttığı için göz içi basıncı düşmekte ve bunu dengelemek için infüzyon şişe seviyesinin yükseltilmesi gerekmektedir.^{18,19} Şişe seviyesinin dengelenmesi problemi, hem cerrahın sürekli dikkatli olmasını gerektirmekte hem de cerrahi sırasında göz içi basınç dalgalanmalarına neden olmaktadır.²⁰ Günümüzde kullanılan modern vitrektomi cihazları ile bu problem çözülebilmektedir. Yeni cihazlarla vitrektomi sırasında vakum ve kesme hızı seviyelerine göre sabit bir göz içi basıncı oluşturulmakta ve göz içi basınç dalgalanmaları en aza indirilmektedir.²¹ Göz içi basınç kontrol sistemi olarak bilinen bu sistemle cerrahın şişe yüksekliği ayarlama problemi ortadan kalkmıştır. Göz içi basınç kontrol sisteminde şişe içerisine ayrı bir özel kanül ile girilerek cihazdan kontrol edilebilen basınçta hava verilmektedir. Böylece hava pompasından ayarlanan basınç düzeyleri, şişe seviyesini hiç değiştirmeden şişe içerisinde oluşturulmakta ve bu durum da direkt olarak infüzyona yansımaktadır. Eğer infüzyondan yüksek basınç isteniyorsa, aynı şekilde hava pompasında basınç değerinin yükseltilmesi yeterli olmaktadır.^{21,22}

5. Aydınlatma ve Lazer

Günümüzde kullanılan modern vitrektomi cihazlarındaki en önemli gelişmelerden biri de aydınlatma sisteminde olmuştur. Xenon, Xenon-mercury ve LED (light emitting diod) aydınlatma sistemleri yeterli aydınlatma sağlayarak güvenli bir vitrektomi gerçekleştirilmesine izin vermektedir. Ayrıca bu aydınlatma sistemleri ile retinal fototoksiste riski azaltılmıştır.

Xenon ışıkta kullanılan farklı tipte filtreler hem fototoksisteği azaltmış hem de farklı dokuların görülebilirliğini artırmıştır. Xenon ışık kaynağındaki amber filtre ile kontrast ve derinlik hissi artırılmış iken yeşil filtre ile doku, vitreus ve damarlar daha etkin görülebilir hale getirilmiştir.²³ Haritoglou ve ark.,²⁴ çalışmada

sında donör gözlerde ve domuz gözlerinde postmortem vitrektominin ardından indosiyanın yeşili ile boyama ve 50 W xenon ile 145 W halojen ışık kaynağına 3'er dakika maruziyet sonucunda gelişen retinal histolojik değişiklikler incelenmiştir. İnsanlarda halojen uygulanan gözlerde iç retina katlarında şiddetli organizasyon kaybı ve iç limitan membran kaybı izlenmiş, buna karşın xenon ışık ile iç retinada belli bir miktar vakuolizasyon saptanırken Müller hücreleri intakt bulunmuştur. İç limitan membranda hasar gözlenmemiştir. Domuz gözlerinde ise her iki ışık kaynağında da herhangi bir değişiklik saptanmamıştır. Xenon ışık kaynağı kullanımı ile retinal yüzeydeki fototoksik etkinin azaltılabileceği bildirilmiştir.

LED aydınlatma sistemi filtresiz kullanılabilme avantajı ile günümüzde oldukça önemli bir alternatif haline gelmiştir.²⁵ Ayrıca tavşan gözlerinde yapılmış olan biyomikroskopik çalışmada filtesiz LED ve filtre edilmiş xenon aydınlatma sistemlerinin maksimum güçte kullanılmış olsa bile retinada fototoksik etki oluşturmadığı gösterilmiştir.²⁶ LED ışık kaynaklarının diğer bir önemli avantajı da çok uzun ömürlü olmasıdır; 10.000-20.000 saat arası dayanabilmektedir. Bu durum, bakım ve maliyet açısından önemli bir avantaj sağlamıştır.

Ayrıca ışıklı trokar sistemleri (MIS-multiple illumination system), iyi aydınlatma sağlamakta, bimanuel cerrahiye izin vermektedir. Buna rağmen yerleştirilmesi güçtür ve günün konseptine aykırı olarak geniş bir sklerotomi gerektirmektedir.²⁷ Ayrıca ucu kıvrık aletler bu trokardan geçememektedir. Chandelier (avize) ek ışık kaynakları, 25 G, 27 G ve 29 G çapında, uygulanabilir olması ve sütür gerektirmemesi sebebiyle geniş kullanım alanı bulmuştur.²⁷ Bu ışıkların kullanımı sonrası cerrahın kendisinin indentasyonu ile vitreus taban vitrektomisi yapması mümkün olmaktadır. Birçok firma tarafından chandelier ışık kaynağı ürettiği (25G Tornambe chandelier light-Insight Instruments, 25 G Awh chandelier light-Synergetics, 25 G Neptune lightDORC gibi).²⁷

Günümüzde son teknoloji vitrektomi cihazlarında entegre 532 nm yeşil diod lazer sistemi kullanılmaktadır. Yeşil diod lazer hemoglobin ve melanin tarafından daha iyi absorbe edilmekte ve yeşil ışık yaymasına rağmen kırmızı renkte bir kılavuz ışık içermektedir.¹⁶

Modern vitrektomi cihazlarının sağladığı bu avantajlar ve getirdiği yenilikler bu cihazlara ilgiyi artırmıştır. Bu cihazlar daha güvenli ve daha hızlı vitrektomi gerçekleştirilmesine imkân vermektedir. Tablo 1 şu an retina cerrahları tarafından kullanılan piyasada mevcut olan beş ana vitrektomi cihazının sahip olduğu özellikleri göstermektedir. Bu cihazlardan Versa-Vit 2.0 dışındaki cihazlar ülkemizde kullanılmaktadır.

Tablo: Güncel beş ana vitrektomi cihazı ve sahip olduğu özellikleri.

Cihaz Adı ve Firması	Constellation ALCON	EVADORC	Stellaris PC Bausch&Lomb	R-Evolution CR VSY	VersaVit 2.0 Synergetics
Gauge	20/23/25/27	20/23/25/27	20/23/25	20/23/25	20/23/25/27
Kesi hızı	7500 kesi/dk	8000 kesi/dk (ikiz görev döngüsü-TDC- sistemi le 16000 kesi/dk)	5000 kesi /dk	6000 kesi/dk (ikiz görev döngüsü-Twedge prob- sistem ile 12000 kesi/dk)	6000 kesi/dk
Pompa Mekanizması	Ventüri	Ventüri ve peristatik (VacuFlow Vti)	Ventüri	Ventüri ve peristatik	Ventüri benzeri (Micro-response diaphragm)
Maksimum Vakum	650 mmHg	680 mmHg	600 mmHg	650 mmHg	500 mmHg
Kanüller	Açık ve valvli	Açık ve valvli	Açık ve valvli	Açık ve valvli	Açık ve valvli
Kablosuz ayak pedalı	Mevcut	Mevcut	Mevcut	Mevcut	Mevcut
İnfüzyon	Göz içi basınç kontrol sistemi içeren kontrollü gaz salımlı infüzyon sistemi	Otomatik infüzyon telafisi içeren kontrollü gaz salımlı infüzyon sistemi	Kontrollü hava salımlı infüzyon sistemi	Kontrollü hava salımlı infüzyon sistemi	Kontrollü hava salımlı infüzyon sistemi
Aydınlatma	Xenon (Tek tip filtre)	LED (sarı ışık içeriği ayarlanabilir) (Filtreli veya filtersiz kullanım avantajı)	Xenon/Xenon Mercury (4 ayrı Filtre seçeneği)	Xenon HID (4 ayrı Filtre seçeneği)	LED/Xenon (Filtreli veya filtersiz kullanım)
Lazer	- Entegre 532 nm lazer - Opsiyonel olarak indirek oftalmoskopi ile kullanılabilen puppoint lazer modülü	-Entegre 532 nm lazer	-Entegre 532 nm lazer -Kablosuz özel ayak pedalı sayesinde vitrektomi ile beraber endo-lazeri de kullanabilme imkanı (harici 2. pedala gerek duyulmaksızın)	-Entegre 532 nm lazer	-Entegre değil
Katarakt Cerrahisi	- Mümkün - Ozil sistemi kullanan elciği ile - 20 G fakofragmatom mevcut	-Mümkün, -Aynı elcikle fakolemülsifikasyon fakofragmantasyon -20 G ve 23 G fakofragmatomu mevcut	-Mümkün, -20 G ve 23 G fakofragmatomu mevcut	- Mümkün, - Aynı elcikle fakolemülsifikasyon ve fragmantasyon - 20 G fakofragmatomu mevcut	Mümkün değil, Ön segment için kullanılmıyor, 20 G fakofragmatomu mevcut
Cihaz Ekranı	Dokunmatik	Dokunmatik	Dokunmatik	Dokunmatik	Tuşlarla kontrol
Üstün Özellikleri	- Otomatik gaz dolun sistemi - Dinamik göz içi basınç kontrol sistemi - Fakoda Ozil Sistem	- Yüksek kesim hızı ve ikiz görev döngüsü sistemi - Ventüri ve peristatik pompa kombinasyonlu VacuFlow Vti sistemi - Sarı ışık içeriği ayarlanabilir LED aydınlatma - Aynı elcikle fakolemülsifikasyon ve fragmantasyon	- Valvleri değiştirilebilen ergonomik enstrümanlar (Valv kapaklar isteğe bağlı sökülebilir takılabilir özellikte) - Farklı firmaların bazı enstrümanları ile kullanılabilme avantajı - Farklı tipte filtreler içeren xenon/xenon mercury aydınlatma - 20 G ve 23 G seçenekleri sunan fakofragmatom	- Yüksek kesim hızı ve ikiz görev döngüsü sistemi - Farklı tipte filtreler içeren Xenon HID aydınlatma - Ventüri ve peristatik pompa kombinasyonu - Aynı elcikle fakolemülsifikasyon ve fragmantasyon	- Kolay taşınabilen küçük ve hafif cihaz - Çabuk kurulum (30 saniye içinde) - Uygun fiyat
Dezavantajlar	- Daha yüksek fiyat - Sadece 20G fakofragmatom mevcut - İkiz görev döngü sistemi yok - Sadece ventüri pompa - İnfüzyon hattında hava baloncukları oluşabilmekte - Kontrolsüz reflü görülebilmekte	- Amerika'da henüz patent alabilmiş değil - Otomatik gaz dolun özelliği yok	- 27 G vitrektomi mümkün değil - Daha düşük kesim hızları - İkiz görev döngüsü sistemi yok - Sadece ventüri pompa - Otomatik gaz dolun özelliği yok - Göz içi basınç telafi sistemi yok	- 27 G vitrektomi mümkün değil - Sadece 20 G fakofragmatom mevcut - Otomatik gaz dolun özelliği yok - Göz içi basınç telafi sistemi yok	- Entegre olmayan lazer - Ön segment için uygun değil - Ekran dokunmatik değil - Sadece ventüri pompa - Otomatik gaz dolun özelliği yok - Göz içi basınç telafi sistemi yok - Otomatik reflü özelliği mevcut değil

1. Alcon Constellation Sistemi

Amerikan kökenli firma vitrektomi cihazlarında pazar lideri konumunu devam ettirmektedir. Geliştirdikleri vitrektomi cihazı en çok tercih edilen ve en donanımlı cihazlardan biri olma özelliğini taşımaktadır (Resim 1). Cihaz 20 G, 23 G, 25 G ve 27 G kalınlıklarda trokar kanül sistemleri ile kullanılabilir. Her ne kadar sadece ventüri pompa bazlı bir sistemi olsa da dakikada 7500 kesi yapabilen dual pnömatik sistemle çalışan yüksek hızlı kesicisi ile ventüri pompaya bağlı oluşabilecek komplikasyonların önüne geçilmiştir.²⁸ Dual pnömatik sistem, klasik pnömatik kesicilerdeki sistemden farklı olarak probun açılıp kapanmasında ayrı bir hava yolağı kullandığı için klasik pnömatik problemlerde görülen yüksek kesim hızlarında probun açıklık oranının yani görev döngüsünün kısılması problemlerine çözüm getirebilmiştir.²⁸ Dual pnömatik problemlerde görev döngüsü cerrah tarafından kontrol edilebilmektedir. Görev döngüsünde; açık (port açıklığı maksimumunda), %50 açık-%50 kapalı ve kapalı (port açıklığı minimumunda) gibi seçenekler tercih edilebilmektedir.

Vitreus aspirasyon akım hızı düşük kesim hızlarında, açık sistemlerde en fazlayken, kapalı sistemlerde en az olmaktadır.²⁹ Yapılan çalışmalarda kesi hızı arttıkça kapalı ve %50 açık-%50 kapalı görev döngüsü modlarında vitreus aspirasyon hızı artma eğilimindeyken, açık görev döngüsü modunda kesim hızı artmasına rağmen vitreus aspirasyon hızı oldukça sabit kalma eğilimi sergilemiştir.²⁹ Bu nedenle retinaya yakın çalışılan perifer vitreusun traşlanması gibi durumlarda kapalı görev döngüsü modu güvenliği arttırmaktadır. Yani dual pnömatik kesici sisteminin avantajı vitrektomi sırasında vitreus aspirasyon hızının, görev döngüsü sistemi değiştirilerek manipüle edilebilmesidir.

Constellation sisteminin bir diğer önemli özelliği de dinamik göz içi basınç kontrol sistemidir. Bu sistemle göz içi basınç dalgalanmaları minimuma indirilebilmiş, cerrahi istenilen basınç aralığında gerçekleştirilebilmiş ve hipotoni ve hipertoni oluşturabileceği komplikasyonlar önlenmiştir.²⁸ Ayrıca entegre 532 nm dalga boyunda lazer sistemi ile eksternal bir lazer kaynağı gereksinimine gerek kalmamıştır. Bir de aydınlatmalı lazer problemleri ile endofotokoagülasyon uygulanacak retina bölgesi daha iyi aydınlatılarak istenilen bölgeye lazer yapılabilir. Constellation lazer sisteminin bir özelliği de opsiyonel olarak bulunan indirek oftalmoskopi eşliğinde lazer uygulanmasına izin veren purepoint lazer sistemi bulundurmasıdır.²⁸ Constellation sisteminin eşsiz özelliklerinden biri de otomatik gaz dolmuştur.²⁸ Cihaza entegre edilmiş gaz tankları sayesinde cerrah tarafından istenilen gazın istenilen konsantrasyonu seçildikten sonra cihaz saf gaz ile oda havasını karıştırır ve istenilen konsantrasyonda gazı kullanıma sunar. Cihazın benzersiz özelliklerinden biri de fakomülsifikasyona izin veren Ozil torsiyonel elciğidir.

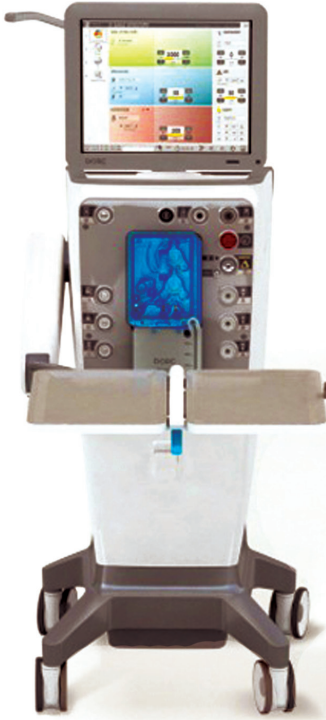
Ozil teknolojisinin eşsiz hareket tarzı ile daha az ultrason gücü kullanılarak güvenli bir termal güçle lens parçaları emülsifiye edilebilmektedir.³⁰ Cihazda ayrıca sadece 20 G ile kullanıma izin veren ayrı bir fakofragmentasyon elciği bulunmaktadır. Constellation sistemi oldukça iyi bir aydınlatma sağlayan xenon ışık kaynağını kullanmaktadır; ancak tek tip ışık filtresi içermektedir. Cihazın bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Özellikle kullanıcılar tarafından belirtilen cerrahi sırasında infüzyon kanülünde oluşan hava baloncukları ve bazen görülebilen nedeni bilinmeyen kontrolsüz reflü problemlerinin çözülmesiyle ilgili araştırmalar devam etmektedir.³¹ Cihazda farklı tipte xenon filtrelerinin bulunmaması, tek tip fakofragmentoma zorunlu olunması ve benzerlerine göre daha yüksek maliyet diğer sınırlamalar olarak sayılabilir.



Resim 1: Alcon Constellation vitrektomi cihazı ve kablosuz ayak pedalı görülmektedir.

2. Dorc EVA Sistemi

Hollandalı firmanın ürettiği EVA (Enhancing Visual Acuity) sistemi pazara girmekte biraz gecikmiş olsa da piyasadaki en donanımlı cihazlardan biri olma özelliği ile önemli bir rakip haline gelmiştir (Resim 2). Amerika'da henüz patent alamamış olsa da ülkemizde aktif olarak kullanılmaktadır. Constellation sisteminde olduğu gibi cihaz 20 G, 23 G, 25 G ve 27 G kalınlıklarda trokar kanül sistemleri ile kullanılabilir. Cihazın trocarnın da valvin çıkıyor olması ve bu sayede silikon alımında trocar üzerinden etkin silikon yağı çıkarılması firma tarafından önemli bir özellik olarak sunulmaktadır.



Resim 2: DORC EVA vitrektomi cihazı görülmektedir.

Cihazın en eşsiz özelliği sahip olduğu Vakuflow VTI (Valve Timing Intelligence) sistemidir.³² Ventüri ve peristatik pompaların sınırlamalarının üstesinden gelebilmek için bu kombine sistem geliştirilmiştir. Bu sistem; oldukça hassas bir bilgisayar programı tarafından kontrol edilen, 6 ml hacminde olan, küçük akım odacıklarıyla entegre çalışan ve çok yüksek duyarlılıktaki basınç sensörleriyle uyum içinde çalışan piston ve valv sistemleri içermektedir. Yüksek duyarlılıktaki basınç sensörleriyle algılanan basınçtaki değişimler senkronize pistonlar tarafından kompanze edilirken; senkronize valvler akımda veya basınçta herhangi bir değişiklik olmadan odacıkların doldurulup boşaltılmasını sağlar.³² Vakuflow VTI sistemi akım modunda çalışırken aspirasyonu 0,1 ml'lik ayarlarla kontrol edebilir ki bu eski cihazlardan yaklaşık %1000 kat daha hassas bir ayardır; vakum modunda çalışırken de istenilen vakuma ulaşma süresinde (vacuum response time) eski cihazlara göre dört kat daha hızlı bulunmuştur.³² Yani bu mükemmel senkronize sistem kullanıcıya vakum bazlı veya akım bazlı modlardan istediğini seçerek istenilen aspirasyon ve vakum düzeylerine çok hassas ve tam olarak ulaşılabilmesini sağlar.

EVA'nın bir diğer eşsiz kabul edilebilir özelliği de ikiz görev döngüsü sitemi (TDC: Twin Duty Cycle) ile çalışabilen yüksek hızlı kesici sistemine sahip olmasıdır. İlk olarak 2010 yılında Lima ve ark.,³³ standart bir 20G tek portlu uç karşısında modifiye edilmiş çift

portlu kesici uçları değerlendirmişler ve çift portlu konfigürasyona sahip modifiye edilmiş bir dış tüp tasarımının domuz gözlerinde vitrektomi sırasında daha hızlı bir aspirasyon sağladığını göstermişlerdir. Daha sonra 2011 yılında Rizzo ve ark.,³⁴ domuz gözlerinde 23 G kesicilerde vitrektomi zamanını %35 kısaltan, aspirasyon akım hızlarını ve toplam etkinliği artıran kesicinin iç giyotin bıçağındaki açıklığın eklendiği bir modifikasyon önermişlerdir. Bu alandaki araştırmaların devam etmesiyle kesicinin iç tüpünde daha büyük bir dikdörtgen açıklık ve iki keskin kesici kenara sahip olan ve böylece hem açılma hem kapanma aşamalarında vitreusu kesen TDC vitrektomi DORC tarafından 23 G, 25 G ve 27 G kullanım alternatifleri ile EVA vitrektomi cihazında kullanıma sunulmuştur. Böylece ikiz görev döngüsü sistemi ile EVA dakikada 16.000 kesi hızına ulaşabilmektedir. EVA'nın otomatik infüzyon telafisi içeren kontrollü gaz salımlı infüzyon sistemi ile vitrektomi sırasında vakum ve aspirasyon hızındaki değişikliklere bağlı olarak infüzyon sıvısı içerisindeki hava basıncı düzenlenmiş, hipotoni ve hipertoniye bağlı komplikasyonlar önlenmiş ve sabit bir göz içi basıncı aralığı elde edilmiştir.

EVA'nın özelliklerinden bir diğeri de LEDStar aydınlatma sistemidir. Filtresiz LEDStar ışığı hassas beyaz ışığa sahip bir LED aydınlatma kullanır ve onun eğrilerinden biri gözün spektral duyarlılığı içerisinde yer alır, gözün fototoksisite eğrisi ile çok az çakışan bir beyaz ışık verir. LEDStar aydınlatma sisteminin eşsiz bir özelliği de sarı ve beyaz oranı ayarlanabilen birbirinden bağımsız üç aydınlatma portu içermesidir. Sarı ve beyaz dengesi değiştirilerek parlak beyazdan sarıya istenilen düzeyde bir aydınlatma sağlanabilir.³² LEDStar ışığı %20 sarı ışık ayarı ile kullanıldığında, herhangi bir fototoksisite içermemekte ve halojen ışık kaynağı ile karşılaştırılabilecek düzeyde belirgin bir sarı ışık yaymaktayken; %10 sarı ışık ayarı seçildiğinde minimal bir sarı ışık içeriği olan parlak beyaz ışık yaymakta ancak bu durumda bir miktar fototoksisite gözlenebilmektedir. LEDStar aydınlatmanın bir diğer önemli avantajı 10000-20000 saate kadar dayanabilen aydınlatma ömrüdür. Yani LEDStar teknolojisi uzun ömürlü olması, sarı ışık içeriğinin ayarlanabilmesi ve güvenilirliği nedeniyle cihazın önemli özellikleri arasındadır.

Cihazın eşsiz bir diğer özelliği de fakoemülsifikasyon ve fakofragmentasyonu aynı elcikle gerçekleştirebilmesidir. Ayrıca cihazda hem 20 G hem de 23 G fakofragmentasyon uçları bulunmaktadır. Birçok eşsiz özelliğe sahip olan 2013 reddot tasarım ödülüne layık görülen DORC EVA vitrektomi sistemi otomatik gaz dolum özelliği içermemektedir ve henüz Amerika'da patent alamamıştır.

3. Bausch&Lomb Stellaris PC Sistemi

2010 yılında piyasaya sürülen Amerika kökenli firmanın ürettiği Bausch&Lomb Stellaris PC (Procedure Choice) sistemi de üzerinde yapılan geliştirmelerle piyasadaki çok özellikli ve entegre cihazlardan biri haline gelmiştir (Resim 3). Cihaz 20 G, 23 G ve 25 G kalınlıklarda trokar kanül sistemleri ile kullanılabilir, 27 G henüz mevcut değildir.³⁵ Burada cihazdaki en önemli avantajlardan biri olarak açık mimari sistemini vurgulamak gerekir. Bu sistem sayesinde Stellaris PC vitrektomi cihazı diğer firmalar tarafından üretilen bazı enstrümanlar ile birlikte kullanılabilir. Stellaris PC sistemi, Bausch&Lomb'un bir önceki vitrektomi cihazı olan Millenium sisteminde olduğu gibi ventüri pompa kaynaklı bir sistem kullanıyor olsa da sahip olduğu özel bir kapakçık sistemi (pinch valve) ile önceki sistemde görülebilen pasif aspirasyon gibi problemler çözülmüştür. Stellaris PC sisteminin bir diğer önemli avantajı da eşsiz kanülleri ve titanyum trokarlarıdır. Gelişmiş yara yönetimi (Advanced Wound Management) sistemi sayesinde trokardaki daha uzun keskin uç ile sklerotomi sırasında tünel insizyon yaparken daha sığ açılı girişi imkânı sunmaktadır. Ayrıca isteğe bağlı sökülebilir takılabilir valvli kanüller cihazın diğer bir ergonomik özelliğidir.³⁵ Cihazda tüm kesi hızlarında port açıklığı %50'nin altına inmeyen, dakikada 5000 kesi yapabilen pnömatik sistemli kesici ile ventüri pompanın güvenliliği artırılmıştır.



Resim 3: Bausch&Lomb Stellaris PC vitrektomi cihazı görülmektedir.

Stellaris sisteminde diğer cihazlardaki sisteme benzer olarak göz içi basınç kontrolü infüzyon sıvısı ile ilişkilendirilmiş ve basınçlı kontrollü hava salınımı ile göz içi basınç kontrolü gerçekleştirilmiştir. Sistemin diğer cihazlardan eşsiz bir yönü kablosuz özel ayak pedalı

sayesinde vitrektomi ile beraber entegre endolazeri de kullanma imkânı sağlamasıdır yani böylece lazer için harici ikinci bir ayak pedalına gerek kalmamaktadır.³⁶ Ayrıca cihazda 20-23-25 G düz, eğri, aydınlatmalı ve aspirasyonlu tüm lazer problemleri mevcuttur. Stellaris PC sisteminin bir diğer eşsiz özelliği de sahip olduğu ayrıcalıklı aydınlatma özelliğidir. Sistem iki ayrı ışık kaynağının kurulumuna izin vermektedir. Işık kaynağı olarak iki xenon lamba veya bir xenon bir civa buharlı (mercury vapor) lamba seçilebilmektedir. Bu farklı ışık kaynakları birbirinden bağımsız veya aynı anda kullanılabilir. Xenon ışık 435nm eşik değerinde filtrelenerek beyaz ışık yaymaktadır. Stellaris PC sisteminde kullanılan çeşitli renkli filtrelerle, yayılan ışık beyazdan sarı, yeşil ve amber gibi farklı renklere çevrilebilmektedir. Aydınlatma renginin değiştirilmesi ile göz içerisindeki farklı yapılar daha iyi görüntülenerek daha güvenli bir cerrahiye olanak sağlanmıştır.³⁷ Örneğin maküla cerrahisinde yeşil filtrenin kullanılması membranların görülebilirliğini artırmaktadır, amber filtre de retinal fototoksiste için eşik süreyi belirgin biçimde uzatarak özellikle uzamış operasyonlarda cerrahinin güvenliliğini artırmaktadır.²⁵ Ayrıca bu sistemde aydınlatmada kullanılan özel modifiye kalkanlı prob ucu sayesinde cerraha doğru yansıma engellenmiş ve daha verimli saha aydınlatması sağlanmıştır. Stellaris PC sistemi 2007'den beri küçük insizyonlu fakoemülsifikasyon için kullanılan Stellaris Vision Enhancement sisteminden ilham alınarak geliştirilmiş bir sistem olduğu için bu cihazla vitrektomi ile kombine veya tek başına, 2 mm'den küçük kesilerle bimanuel fakoemülsifikasyon cerrahisi gerçekleştirilebilmektedir. Cihazın fakoemülsifikasyon özelliği, fakoemülsifikasyon cihazı olan Stellaris ile birebir aynıdır ve bu durumun önemli bir avantaj sağladığı firma tarafından ileri sürülmektedir. Cihazda ayrıca 20 G ve 23 G ile kullanıma izin veren fakofragmentasyon elciği bulunmaktadır.

Eşsiz özellikleri bulunan Bausch&Lomb Stellaris PC sisteminin henüz 27 G kullanıma izin vermemesi, kesi hızının rölatif yavaş olması, ikiz görev döngüsü içermemesi, otomatik gaz dolmuş özelliği bulundurmaması ve rölatif olarak daha basit bir göz içi basınç kontrol sistemi içermesi gibi bazı sınırlılıkları da bulunmaktadır.

4. VSY R-Evolution CR

Türk-İtalyan işbirliği ile geliştirilerek piyasaya sürülen VSY R-Evolution CR sistemi de sahip olduğu özellikler yönünden oldukça entegre ve tatmin edici bir cihazdır (Resim 4). VSY R-Evolution CR sistemi ile literatürde yayınlanmış veri yetersiz olduğu için cihazla ilgili belirtilecek objektif veriler cihaz ve broşür incelenmesi ile elde edilmiştir.³⁸ Stellaris PC sisteminde olduğu gibi R-Evolution CR de 20 G, 23 G ve 25 G kalınlıklarda trokar kanül sistemleri ile kullanılabilir, 27 G henüz mevcut değildir. EVA sisteminde olduğu gibi R-Evolution CR de önemli bir özellik olarak istenilen en iyi performans

erişmek için 2 ayrı pompa sistemine sahiptir. Peristaltik pompa ile özellikle retina yakın çalışma sırasında yüksek verimlilik ve güvenlik, ventüri pompayla da vitrektomi sırasında yüksek vakum kontrolü ile hızlı ve etkin cerrahi gerçekleştirilebilmektedir.

Sahip olduğu pnömatik sistemle çalışan kesicisi dakikada 6000 kesi hızına ulaşabilmektedir. Ayrıca 23 G ve 25 G ile kullanıma izin veren ve ikiz görev döngüsüne benzer bir sistemle çalışarak hem kapanma hem açılma aşamalarında kesim yapabilen twedge probu mevcuttur.³⁹ Ayrıca yüksek myopik gözlerin vitreoretinal cerrahisi için geliştirilen 34 mm uzunluğunda kesiciye sahiptir.³⁸ Cihazda ayrıca yüksek, orta ve alçak seçenekleri mümkün olan görev döngüsü alternatifleri mevcuttur. Düşük kesim hızlarında; yüksek görev döngüsü seçeneğinde vitreus akım hızı maksimumken; kesi hızı arttıkça tüm görev döngüsü seçeneklerinde akım hızında azalma izlenmekte ve kesi hızı 5000-6000/dk aralığında iken tüm görev döngüsü seçenekleri ile sabit ve eşit bir vitreus akım hızı elde edilmektedir.³⁹



Resim 4: VSY R-Evolution CR vitrektomi cihazı ve kablo-suz ayak pedalı görülmektedir.

Diğer cihazlarda olduğu gibi sistem entegre 532 nm lazer içermektedir. Ayrıca benzer olarak göz içi basınç kontrolü infüzyon sıvısı ile ilişkilendirilmiş, basınçlı kontrollü hava salınımı ile gerçekleştirilmektedir. R-Evolution CR sisteminde aydınlatma birbirinden bağımsız olarak çalışan iki farklı xenon HID (high intensity discharge) lamba ve 4 çıkış ile gerçekleştirilmektedir. Aydınlatma sisteminde ışık yoğunluk ayarı, ışık rengi değiştirilmeden 10 farklı seviye ile değiştirilebilmekte ve Stellaris PC sisteminde olduğu gibi güvenliği ve farklı göz içi dokuların görülebilirliğini artıran dört farklı filtre seçeneği içermektedir.

Fakoemülsifikasyona izin veren sistemde, EVA sistemine benzer şekilde eşsiz bir özellik olarak fakoemülsifikasyon ve fakofragmantasyon aynı elcikle gerçekleştirilebilmektedir; ancak cihazda fakofragmantasyon şu an sadece 20 G ile mümkündür.

Birçok üstün özelliğe sahip olan cihazın 27 G kullanıma izin vermemesi, otomatik gaz dolum özelliği bulunmaması, rölatif olarak daha basit bir göz içi basınç kontrol sistemi içermesi ve tek tip fakofragmatoma zorunlu olunması gibi sınırlılıkları da mevcuttur. Ayrıca ileride cihazla ilgili yapılacak bilimsel çalışmalar ve yayınlar cihazın daha iyi tanınmasına, üstünlüklerinin ve sınırlılıklarının daha iyi tanınabilmesine olanak sağlayacaktır.

5. Synergetics VersaVit 2.0 Sistemi

Henüz ülkemizde kullanımı mevcut olmayan Amerika kökenli Synergetics VersaVit 2.0 sistemi piyasadaki mevcut diğer cihazlarla karşılaştırıldığında oldukça küçük boyutları ve hafifliği nedeniyle taşınabilir bir cerrahi alet kategorisine girmektedir (Resim 5). Yaklaşık 11 kg ağırlığı ve boyutları nedeniyle kolay taşınabilir olan cihaz, yurtdışında özellikle muayenehane hekimleri tarafından tercih edilmektedir. Fazla yer kaplamaması, yaklaşık 30 saniye gibi kısa bir süre içerisinde basit kurulabilmesi, 120 V güç kaynağı ile veya 60 dakika güç kaynağına ihtiyaç duymadan çalışabilen şarj edilebilir bir batarya gibi üstün özellikleri mevcut olan cihaz yardımcı personele olan ihtiyacı da azaltmıştır.⁴⁰ Boyutları diğer cihazlara göre oldukça küçük olan VersaVit 2.0 sistemi vitrektomi için oldukça efektif ve donanımlıdır. 20 G, 23 G, 25 G ve 27 G ile kullanımı mümkündür. Ventüri benzeri bir pompa sistemi kullanan sistemde pnömatik kesicisi ile dakikada 6000 kesi hızına ulaşabilmektedir.⁴⁰

Cihazda kesicinin görev döngüsü açık, kapalı veya nötral olarak değiştirilerek farklı kesi hızları ve vakum değerlerinde istenen vitreus aspirasyon akım hızı elde edilebilmektedir. Stellaris PC ve R-Evolution CR'ye benzer şekilde göz içi basınç kontrolü infüzyon sıvısı ile ilişkilendirilmiş, basınçlı kontrollü hava salınımı ile gerçekleştirilmektedir. VersaVit 2.0 da bir çifti LED ışık kaynağına; bir çifti Xenon ışık kaynağına entegre edilmiş dört ışık portu sunulmuştur.⁴⁰ Bu şekilde cerrahın tercihinine göre LED veya xenon aydınlatma tercih edilmektedir. Ön segment cerrahisi mümkün olmayan cihazda fakofragmatom için 20 G seçeneği mevcuttur.

Cihaz boyutları itibariyle oldukça avantajlı olsa da birçok sınırlamaya da sahiptir. Düğmelerle kontrol edilen cihaz ön segment cerrahisine izin vermemektedir, otomatik reflü özelliği taşımamaktadır, entegre olmayan lazer sistemi içeren cihazda koterizasyon için bipolar modül bulunmamaktadır.⁴⁰ VersaVit 2.0 sistemi yurtdışında özellikle muayenehane ve ofis vitrektomisi şartlarında vitre içi hemoraji, vitreus kondansasyonu, epiretinal membran ve maküla deliği gibi komplike olmayan ve uzun sürmeyen vakalar için sıklıkla tercih edilmektedir.⁴¹



Resim 5: Synergetics VersaVit 2.0 vitrektomi cihazı görülmektedir.

KAYNAKLAR/REFERENCES

- Mino A, Mitamura Y, Katome T, et al. Case of adult-onset Coats' disease with epiretinal membrane treated with 25-gauge pars plana vitrectomy. *J Med Invest.* 2015;62:85-8.
- Oshima Y, Awh CC, Tano Y. Self-retaining 27-gauge transconjunctival chandelier endoillumination for panoramic viewing during vitreous surgery. *Am J Ophthalmol.* 2007;143:166-7.
- Çıtırık M, Batman C, Biçer T, ve ark. 23-Gauge transkonjonktival sürtürsüz pars plana vitrektomi. *Ret-Vit* 2008;16:51-4.
- Sato T, Emi K, Bando H, et al. Faster recovery after 25-gauge microincision vitrectomy surgery than after 20-gauge vitrectomy in patients with proliferative diabetic retinopathy. *Clin Ophthalmol.* 2012;6:1925-30.
- Oshima Y, Wakabayashi T, Sato T, et al. A 27-gauge instrument system for transconjunctival sutureless microincision vitrectomy surgery. *Ophthalmology.* 2010;117:93-102.
- Gao Q, Mou S, Ge J, et al. A new strategy to replace the natural vitreous by a novel capsular artificial vitreous body with pressure-control-valve. *Eye (Lond).* 2008;22:461-8.
- Tewari A. The next step in the evolution of vitrectomy surgery technology. *Retinal Physician.* 2015;12:6-15.
- Lima LH, DeBoer C, McCormick M, et al. A new dual port cutter system for vitrectomy surgery. *Retina.* 2010;30:1515-9.
- Riemann CD. Emerging technology in vitreoretinal surgery. *retinal physician.* 2014;11:45-52.
- Teixeira, et al; An experimental protocol of the model to quantify traction applied to the retina by vitreous cutters, *IOVS* 2010;51:4181-6.
- Rossi T, Querzoli G, Angelini G, et al. Introducing new vitreous cutter blade shapes: a fluid dynamics study. *Retina.* 2014;34:1896-904.
- Steel DH, Charles S. Vitrectomy fluidics. *Ophthalmologica.* 2011;226:27-35.
- Hubschman JP, Bourges JL, Tsui I, et al. Effect of cutting phases on flow rate in 20-, 23-, and 25-gauge vitreous cutters. *Retina.* 2009;29:1289-93.
- Diniz B, Ribeiro RM, Fernandes RB, et al. Fluidics in a dual pneumatic ultra-high-speed vitreous cutter system. *Ophthalmologica.* 2013;229:15-20.
- Stalmans P. Enhancing visual acuity. *Dev Ophthalmol.* 2014;54:23-30.
- Moshfeghi AA. What's New for Vitrectomy in 2014? A look at 4 state-of-the-art systems and a comparison of features. *New Retina MD.* 2014;5:15-18.
- Dugel PU. Proportional reflux hydrodissection. *Retina.* 2012;32:629-30.
- Martinez-Toldos JJ, Hoyos JE. Instrumentation. In Martinez-Toldos JJ, Hoyos JE: *Dr Hoyos Step by Step Basic Vitrectomy.* New Delhi, India. Jaypee Brothers Medical Publishers. 2006;43-101.
- Danis RP, Thompson JT. Flow dynamics of extrusion needle vacuuming in a closed vitrectomy system. *Arch Ophthalmol.* 1990;108:267-70.
- Moorhead LC, Armeniades CD. Variations in intraocular pressure during closed-system surgical procedures. *Arch Ophthalmol.* 1986;104:269-72.
- Doctor KJ, Kar D. Newer and Advanced Vitrectomy Systems. In Garg A, Alio JL: *Surgical Techniques in Ophthalmology: Retina and Vitreous Surgery.* New Delhi, India. Jaypee Brothers Medical Publishers 2010;382-5.
- Charles S. Vitreoretinal Surgery Systems. In Narendran V, Kothari RA: *Principles and Practice of Vitreoretinal Surgery.* New Delhi, India. Jaypee Brothers Medical Publishers. 2014;53-6.
- Hillenkamp J, Dydykina S, Klettner A, et al. Safety testing of indocyanine green with different surgical light sources and the protective effect of optical filters. *Retina.* 2010;30:1685-91.
- Haritoglou C, Priglinger S, Gandorfer A, et al. Histology of the vitreoretinal interface after indocyanine green staining of the ILM, with illumination using a halogen and xenon light source. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2005;46:1468-72.
- McCannel CA. Illumination considerations for vitreous surgery. In Saxena S, Meyer CH, Ohji M, Akduman L: *Vitreoretinal Surgery.* London. Jaypee Brothers Medical Publishers. 2012;8-14.
- Aydin B, Dinç E, Yılmaz SN, et al. Retinal endoillumination toxicity of xenon and light-emitting diode (LED) light source: rabbit model. *Cutan Ocul Toxicol* 2014;33:192-6.
- Erakgun T. Aydınlatma sistemleri. *Ret-Vit.* 2007;Özel Sayı:5-7.
- Witmer MT, Dugel PU. Machines and cutters: Constellation. *Dev Ophthalmol.* 2014;54:1-7.
- Abulon DJ, Buboltz DC. Performance comparison of high-speed dual-pneumatic vitrectomy cutters during simulated vitrectomy with balanced salt solution. *Transl Vis Sci Technol.* 2015;4:6.
- Chiang A, Garg SJ, Alshareef RA, et al. Removal of posterior segment retained lens material using the OZil phacoemulsification hand piece versus Fragmatome during pars plana vitrectomy. *Retina.* 2012;32:2119-26.
- Russell SR, Sohn EH, Boldt HC, et al. Elimination of infusion bubbles and uncontrolled reflux in the Alcon constellation vitrectomy vision system. *Retina.* 2013;33:803-6.
- Stalmans P. Enhancing visual acuity. *Dev Ophthalmol.* 2014;54:23-30.
- Lima LH, DeBoer C, McCormick M, et al. A new dual port cutter system for vitrectomy surgery. *Retina* 2010;30:1515-9.
- Rizzo S. Performance of a modified vitrectomy probe in small-gauge vitrectomy. *Retina Today.* 2011;6:40-42.
- Lai TY. Machines and Cutters: Stellaris PC. *Dev Ophthalmol.* 2014;54:8-16.
- Awh CC. Stellaris PC Next-generation Vitrectomy Technology. *Retina Today.* 2011;3:3-15
- Enaida H, Hachisuka Y, Yoshinaga Y, et al. Development and pre-clinical evaluation of a new viewing filter system to control reflection and enhance dye staining during vitrectomy. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2013;251:441-51.
- VSY R-Evolution CR Brochure. Available at: http://www.cristalens.fr/pdf/optikon_revolution_fr.pdf. Accessed May 12, 2015.
- Rossi T, Querzoli G, Angelini G, et al. Introducing new vitreous cutter blade shapes: a fluid dynamics study. *Retina.* 2014;34:1896-904.
- Morales-Canton V, Kawakami-Campos PA. Machines and cutters: VersaVIT - potential and perspectives of office-based vitrectomy. *Dev Ophthalmol.* 2014;54:17-22.
- Doyle BC, Pitcher III JD. Update on portable vitrector technology and applications. *Retina Physician.* 2013;10:30-5.