

DERLEME

REVIEW

Vitrektomi Sistemlerindeki Güncel Gelişmeler: Bausch & Lomb Stellaris PC Sistemi ve Bausch & Lomb Vitesse Hipersonik Vitrektomi

Current Developments in Vitrectomy Systems: Bausch & Lomb Stellaris PC System and Bausch & Lomb Vitesse Hypersonic Vitrectomy

¹ Duygu GÜLER / ORCID No: 0000-0002-6442-254X

² Harun ÇAKMAK / ORCID No: 0000-0003-3728-6009

¹ Doktor Öğretim Üyesi, Adnan Menderes Üniversite Hastanesi /Aydın /Türkiye

² Profesör Doktor, Adnan Menderes Üniversite Hastanesi /Aydın /Türkiye

Geliş Tarihi/Received: 01/06/2023 **Kabul Tarihi/Accepted:** 31/08/2023 **DOI:** 10.37783/CRJ-0422

Yazışma Adresi/Address for Correspondence: Adnan Menderes Üniversite Hastanesi /Aydın /Türkiye

Tel./Phone: +90 (546) 926 1815, **E-posta/E-mail:** drduyguguler@gmail.com

ÖZ

Modern vitrektominin başlangıcının 1970 lere dayandığı düşünülürse, bu kadar kısa sürede cerrahların özverileri ve gelişen teknoloji ile birlikte vitreoretinal cerrahide geline nokta oldukça yüz güldürücüdür. Gidererek daha geniş endikasyonlarda, daha pratik, güvenli ve etkili cerrahiye izin veren gelişmeler yaşanmıştır. Gelişmeler yalnızca daha küçük, daha hızlı ve daha güvenli olma eğiliminde olan vitrektomi problemlerinde değil, diğer tüm enstrümantasyonlarda gerçekleşmiştir. Bausch & Lomb Stellaris PC sistemi 2010 yılında vitreoretinal cerrahi ailesine katılmış, 2017 yılında güncellenen Stellaris Elite cihazı ve bununla birlikte pratiğimize kazandırılan Vitesse Hipersonik vitrektomi sistemi uzun yıllardır kullanılan pnömotik giyotin vitrektomiden sonra devrim niteliğinde olmuştur. Bu yazı, vitrektomi sistemlerindeki güncel gelişmeler ile ilgili bilgilendirme sunmayı amaçlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Pnömotik giyotin vitrektomi, Vitrektomi problemleri, Ultrasonik Vitrektomi

Abstract

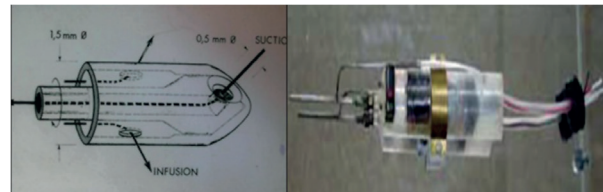
Considering that the beginning of modern vitrectomy is thought to date back to the 1970s, the progress made in vitreoretinal surgery in such a short period of time is remarkable, thanks to the dedication of surgeons and advancements in technology. There have been developments that have allowed for more practical, safer, and more effective surgeries with wider indications. These advancements have not only been seen in vitrectomy probes that tend to be smaller, faster, and safer, but also in all other instrumentation. In 2010, the Bausch & Lomb Stellaris PC system joined the vitreoretinal surgery family. The updated Stellaris Elite device in 2017, along with the Vitesse Hypersonic vitrectomy system introduced to our practice, has been revolutionary after years of using pneumatic guillotine vitrectomy. The aim was to explain the recent developments that have been incorporated into our practice through this system.

Key words: Pneumatic guillotine vitrectomy, Vitrectomy probes, Ultrasonic Vitrectomy

Vitrektomi Sistemlerine Genel Bakış

Bir asr öncesine kadar retina dekolmanı tedavi edilemez bir hastalık olarak görülmekteyken; pek çok ilkel adımla başlayan retina cerrahisi serüveni günümüzde 27 Gauge (G) vitrektomi cihazları ve üç boyutlu görüntüleme yöntemleri ile farklı bir boyut kazanmıştır. Modern vitrektominin öncülüğünü “kapalı vitrektomi” cerrahisini geliştirerek ve gerekli enstrümanları tasarlayıp kullanıma sunarak Robert Machemer

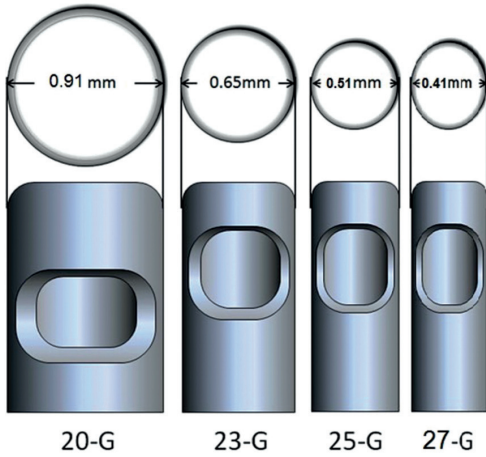
yapmıştır. Machemer’in 1970’te geliştirdiği VISC(vitreus-infusion-suction-cutter,) adlı cihaz aspirasyon, kesme ve infüzyon fonksiyonlarını bir arada gerçekleştiriyordu (Şekil 1).¹



Şekil 1: Machemer’in VISC (vitreus-infusion-suction-cutter) cihazı ve şematik resmi izlenmektedir.

Bu dönemde geliştirilen vitreus kesicisi dış kalınlığı 17 G yani 1.50 mm çapında olan ucunda açıklık bulunan sabit bir tüp ve içinde kenarları keskin ikinci bir tüp kendi ekseninde etrafında aynı yönde dönerek (rotatuar) çalışmaktaydı. Bu sistemde manuel olarak tüp içerisine çekilen vitreus dönen kesici sistem tarafından parçalanmaktaydı. Tüpün kesici kısımları küntleştikçe vitreus kesilememekte, iç ve dış silindirlere arasında vitreus sarılmakta ve bu da vitreus traksiyonuna ve iyatrojenik retina yırtıklarına neden olmaktaydı.² O'Malley 1977'de bağımsız üç ayrı yerden global giren giyotin kesicili 20 G (0.91 mm) çaplı vitrektomi probu, ışık kaynağı ve infüzyon kanülüden oluşan bugünkü anlamdaki pars plana vitrektomi sistemini tarif etmiştir. Giyotin kesicisi olarak belirtilen vitrektomi probu iç içe geçmiş iki metal tüpten oluşmaktadır. Dış tüpün ucundaki açıklıktan içeri alınan vitreus iç metal tüpün ileri geri hareketleriyle kesilmektedir. Bu sistemde infüzyon kanülü skleraya sütüre edilmektedir.³

Machemer'in ilk geliştirdiği VISC kanülü 17 G iken, 1990 sonrası küçük enstrümantasyon gündeme gelmiş ve önce 20 G daha sonra 23 G, 25 G ve 27 G sistemler daha sıklıkla kullanılır olmuştur (Şekil 2).⁴⁻⁷ Küçülen çaplar ile transkonjonktival sütürsüz cerrahi mümkün hale gelmiştir. Valfli trokar sistemleri, cerrahi sırasında daha dengeli bir göz içi basıncı (GİB) ve daha az sıvı kaçağı ile daha güvenli bir cerrahi sağlamıştır.⁸



Şekil 2: Farklı kalınlardaki vitrektomi problemleri ve dış çapları şematize edilmiştir.

Dünya genelinde her yıl binlerce vitrektomi operasyonu gerçekleştiriliyor olsa da, bu cerrahi hala daha komplikasyonlara neden olabilen özellikli bir ameliyat olarak kabul edilmektedir. Geliştirilen sistemlerden cerrahın beklentisi; iyi aydınlatma ve görüntüleme sistemleri eşliğinde GİB kontrollü valfli kanüllere sahip kapalı sistemli cihazlar, hızlı ve etkin kesiler ile retinaya daha az traksiyon yaparak vitreyi alan perifer retinayı koruyan problemler, minimum travma hızlı iyileşmeye ve de gerekli enstrümantasyona olanak tanıyan küçük kesili girişler olarak özetlenebilir.⁹

Vitrektomi sistemleri ve Bausch & Lomb Stellaris PC Sistemi

Teknolojideki ilerlemelerle ameliyat esnasında komplikasyon oranını azaltan, güvenliliği artıran ve daha hızlı vitrektomi gerçekleştirilmesine imkân veren yeni modern vitrektomi cihazları geliştirilmeye çalışılmaktadır. 2010 yılında piyasaya sürülen Bausch & Lomb Stellaris PC (Procedure Choice) sistemi, üzerinde yapılan geliştirmelerle piyasadaki çok özellikli ve entegre cihazlardan biridir. 2017 yılında ise Stellaris Elite adı ile karşımıza çıkmıştır (Şekil 3).

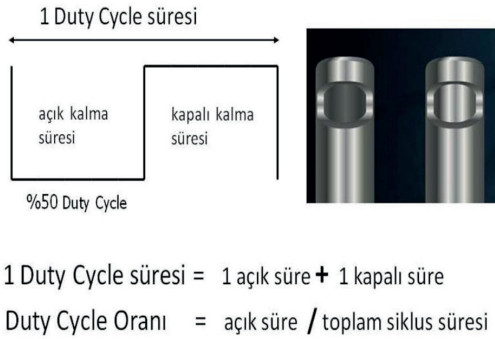


Şekil 3: Bausch & Lomb Stellaris Elite cihazının görünümü izlenmektedir.

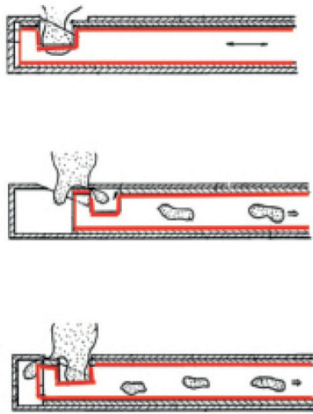
On yıl öncesine kadar kullanılan vitrektomi cihazları ve enstrümanları 20 G (0.91 mm) vitrektomi sistemi için tasarlanmış olup günümüzde yaygın olarak 23 G sistemi kullanılsa da zaman ilerledikçe vitrektomi problemlerinin çaplarının küçültülmesine yönelim bulunmaktadır.¹⁰ Çaptaki azalmaya bağlı gerçekleşen esneme problemleri, vitrektomi probundan aspire edilen vitreus miktarının az olması ve vitrektomi süresinin uzayabilmesi dezavantajlardan sayılabilir. Ancak küçük insizyonlu kesiler; sütür kullanımına bağlı komplikasyonları önemli oranda azaltmış, vitre içi tamponadın sızıntısına bağlı komplikasyonları düşürmüştür.^{11,12} Stellaris PC tek portlu vitrektomi kesicisi ile 20 G, 23 G ve 25 G imkanı sunabiliyor. Stellaris Elite PC'de cihaza yeni eklenen Bi-blade özelliği ile 25 G ve 27 G vitrektomi cerrahi işlemleri yapılabilmektedir.¹³

Vitrektomi sürücü hızı, dakikadaki kesim hızı veya "cuts per minute" (cpm) ile ifade edilmektedir. İlk vitrektomi sistemlerinde dakikadaki üst sınır 400 cpm iken, günümüzde 10.000 cpm sınırına ulaşılmıştır. Yeni teknolojiye sahip vitrektomi problemlerindeki çift taraflı kesen bıçak teknolojisi ile kesme hızı ikiye katlanmış ve 20.000 cpm'ye dayanmıştır. Böylelikle dekolle retina üzerinde daha az traksiyon ve hasar riski oluşmaktadır. Vitrektomi probunun çalışırken bir kapalı kalma süresi ve bir açık kalma süresinin toplamına 1 döngü

yani 1 duty cycle süresi denmektedir (Şekil 4). Çift bıçaklı vitrektomi problemleri; daha büyük bir silindirik açıklık içinde iki keskin kesici kenara sahip, 1 periyod içinde itme ve çekme şeklinde 2 kesim yapan bir iç kesici tüp ile vitreusu keserek vitrektomi zamanını kısaltır, ayrıca kesi portunun açıklık kalma zamanı %90 lara ulaşmaktadır (Şekil 5).¹⁴



Şekil 4: Duty Cycle Oranının şematizasyonu izlenmektedir.

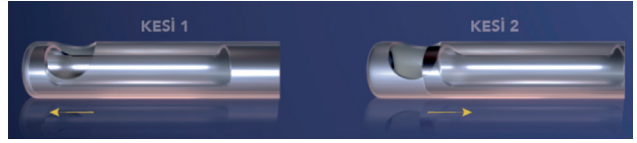


Şekil 5: Çift bıçaklı vitrektomi probu çalışma prensibi şematizasyonu izlenmektedir.

Çeşitli kesici seçenekleriyle Stellaris Elite, farklı cerrahi prosedür ihtiyaçlarına uyum sağlar. Stellaris'in tek portlu vitrektomi kesicisinin efektif vitrektomi için yeni kesi hızı 7.500 cpm olup bu pnömatik giyotin kesicinin hızı sabit veya lineer ayarlanabilmektedir. (Şekil 6). Bi-Blade adlı bir diğer kesici- si etkin kesme hızını 7.500 cpm den 15.000 cpm ye çıkaran iç iğne tasarımı (dual port) sayesinde her görev döngüsü için ikili kesme işlemine sahiptir (Şekil 7). Kesici bağlantı noktası neredeyse her zaman açık olduğundan, bu kesici ile elde edilen akış hızları önemli ölçüde artar.¹³



Şekil 6: Stellaris Tek portlu kesicisinin açık ve kapalı hali görüntülenmektedir.



Şekil 7: Stellaris Bi blade (dual port) ikili kesicinin çalışma prensibi görüntülenmektedir.

Bir diğer yeni prob ise "hipersonik vitrektomi" elciğidir. Sadece Stellaris Elite, Vitesse (Bausch & Lomb Retina, St. Louis, MO) hipersonik vitrektomi (HV) sistemi sayesinde yeni nesil vitreus sıvılaştırma ve aspirasyon imkanı sunar. Bu vitrektomi probu saniyede 28.500 yani dakikada 1.700.000 cpm kesim yapılabilen, pratik olarak dokuları adeta likefiye etmektedir. Kesi portunun açıklık kalma zamanı ise % 100 ler civarındadır.¹³

Yüksek kesi hızları daha küçük parçalar şeklinde aspire edilen vitreusun retina üzerindeki oluşturabileceği traksiyon kuvvetini azaltarak akım hızında ve GİB'de belirgin değişiklik oluşturmadan cerrahinin gerçekleştirilmesine izin vermektedir.¹⁵ Yüksek kesi hızlarına sahip problemler özellikle vakum bazlı venturi sistemi kullanımında güvenliği artırmış; perifer vitreus temizliği, retina dekolmanı ve membran soyulması gibi retinaya yakın çalışılan durumlarda iyatrojenik yırtık riskini azaltmıştır.^{16,17}

Modern vitrektomi cihazlarıyla çözülebilen bir diğer önemli sorun da eski vitrektomi cihazlarında vitrektomi sırasında göz içerisindeki enstrümanların değiştirilmesi sırasında ortaya çıkabilen göz içi dalgalanmaları ve hipotonidir. Valfli kanüllerle göz içi enstrümanların değiştirilmesi sırasında ortaya çıkan sızıntılar önlenmiş, GİB dalgalanmalarının önüne geçilmiş ve göz içi tamponatın verildiği miktarda göz içerisinde kalabilmesini sağlayan kapalı bir sistem oluşturulabilmiştir.¹⁸

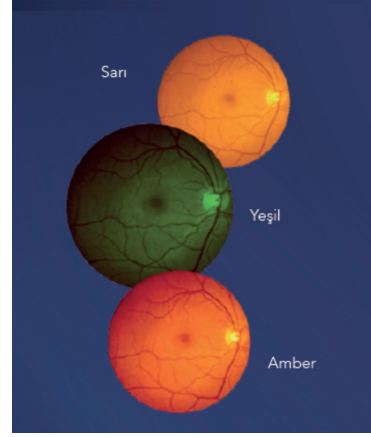
Bilindiği gibi, vitrektomi cihazlarında venturi veya peristaltik pompa kullanılmaktadır. Venturi pompa vakum tabanlı bir pompadır, peristaltik pompa ise akış tabanlıdır. Venturi pompa kor vitrektomi gibi retinadan uzak çalışılan hızlı vitreus temizliği istediğimiz durumlarda tercih edilirken; vitreus periferinde, dekol retinalarda ve membran temizliği gibi retinaya yaklaşıldığı durumlarda akış kontrollü peristaltik pompa tercih edilir.¹⁹ Her ne kadar peristaltik pompa venturi pompaya oranla güvenilir görünse de 2010 yılından beri venturi pompa kullanan cihazlardaki gelişmeler ve kesici hızı ileri düzeyde olan vitrektomi problemlerinin bu cihazlarda kullanılmasıyla venturi pompaların kullanımı daha güvenli olarak yaygınlaşmıştır.¹⁶ Stellaris cihazında da venturi pompa mevcut olup artan kesi hızı burada da avantaj sağlamaktadır.¹³

Peristaltik pompada akış hızı her zaman aynı kalırken, venturi pompada kesicinin ucunda doğrusal bir vakum meydana gelir. Kesicinin ucundaki vitreus bittiği zaman, daha fazla

irrigasyon çözeltisi aspire edilir.²⁰ Klasik vakum aralığı 100-150 mmHg arasındayken yeni cihazlarda bu değer 650 mmHg 'ya kadar çıkmaktadır.²¹ Stellaris Elite cihazı venturi pompaya sahiptir ve maksimum vakum gücü 600 mmHg 'dır.¹³ Yeni cihazlarda vakumdaki bu aralıklar cerrah tarafından değiştirilebilmekte ve bu da istenilen düzeyde emme kuvveti uygulayarak traksiyonsuz güvenli bir cerrahiye olanak sağlamaktadır.²² Yeni cihazlardaki reflü teknolojisi olarak bilinen bir özellik ise ameliyat esnasında iyatrojenik yaralanma riskine karşı geliştirilmiş yanlışlıkla tutulan bir dokunun aniden geri bırakılabilme özelliğidir. Bu fonksiyonu devreye geçirmek için pedalın ani bırakılması yeterlidir.²¹ Böylelikle vakum aniden durduğu gibi bir miktar da otomatik reflü olmaktadır, bu özellik vitrektominin güvenliğini artırmaktadır.

Geçmişte kullanılan vitrektomi cihazlarında kesim hızları ve vakum artırıldığında aspire edilen sıvı miktarı arttığı için GİB düşmekte ve infüzyon şişe seviyesinin yükseltilerek basıncın dengelenmesi gerekmekeydi.^{23,24} Şişe seviyesinin dengelenmesi problemi, hem cerrahın sürekli dikkatli olmasını gerektirmekte hem de cerrahi sırasında GİB dalgalanmalarına neden olmaktaydı.²⁵ Basıncı hava vasıtasıyla yapılan GİB kontrolü ile serum şişesine verilen hava sayesinde sıvı infüzyon basıncı şişe yüksekliğinden bağımsız şekilde cerrahi işlem esnasında sabit basınçta tutulabilmektedir.^{26,27} Bu sistemde serum askısı sistemine oranla daha enerjik değişimler yapılabildiğinden globdaki basınç dalgalanmaları ve peroperatif hipotoni riski daha azdır. Güncel cihazların pek çoğunda yer alan bu özellik sistemlerde değişik adlarla ifade edilmektedir (AFI- Stellaris). Stellaris sisteminde diğer cihazlardaki sisteme benzer olarak basınç kontrollü (0 – 120 mmHg arasında) hava salınımı gerçekleştirilmektedir.¹⁴

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. Stellaris PC sistemi ayrıcalıklı bir aydınlatma özelliğine sahiptir. Orta alan 90° ve geniş açılı 135° aydınlatma seçenekleri vardır. 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 435 nm eşik değerinde filtrelenerek beyaz ışık yaymaktadır. Stellaris PC sisteminde kullanılan çeşitli renkli filtrelerle, yayılan ışık beyazdan sarı, yeşil ve amber gibi farklı renklere çevrilebilmektedir (Şekil 8). Aydınlatma renginin değiştirilmesi ile göz içerisindeki farklı yapılar daha iyi görüntülenerek daha güvenli bir cerrahiye olanak sağlanmıştır.^{13,28}



Şekil 8: Renk filtreleri ile retina görüntüsü izlenmektedir.

Xenon ışık kaynağındaki amber filtre ile kontrast ve derinlik hissi artırılmış; yeşil filtre ile doku, vitreus ve damarlar daha etkin izlenir hale gelmiştir.²⁹ Makula cerrahisinde yeşil filtrenin kullanılması membranların görünürlüğünü artırmaktadır, amber filtre de özellikle uzamış operasyonlarda retinal fototoksiste için eşik süreyi belirgin biçimde uzatarak cerrahinin güvenliğini artırmaktadır.³⁰ Chandelier (avize) ek ışık kaynakları, 25 G, 27 G ve 29 G çapında, uygulanabilir olması ve sütür gerektirmemesi sebebiyle geniş kullanım alanı bulmuştur.³¹

Güncel 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.³² Yüksek kaliteli ve kapsamlı endolazer prob portföyü düz, eğri, aydınlatmalı ve aspirasyonlu 20, 23, 25 ve 27 G seçenekleri sunmaktadır. Patentli Directional lazer problemleri, gözün içinde, 90 derecelik bir açı ile hareket ettirilebilmeleri sayesinde periferin en uzak noktasına erişim sağlar. Aydınlatmalı Directional lazer problemleri, orta alanda aydınlatma sağlar ve yardım gerektirmeden skleral depresör kullanımına olanak tanır.¹³

Sistemdeki kablosuz özel dual lineer ayak pedalı sayesinde vitrektomi ile beraber entegre endolazeri de kullanma imkânı mevcuttur, böylece lazer için harici ikinci bir ayak pedalına gerek kalmamaktadır (Şekil 9). Ayak pedalı entegre hareketlerle irrigasyon, ultrason ve aspirasyonun eş zamanlı kontrolünü sağlar.³³



Şekil 9: Dual lineer ayak pedalı ve çalışma prensibinin şematizasyonu izlenmektedir.

Özetle Stellaris Elite PC kolay ve hızlı kurulum, az yer kaplayan tasarım, kablosuz ayak pedalı ile pratik bir cihazdır. Tüm prosedürel ihtiyaçlar için kombine ekran ve öğretici animasyonlara sahiptir. Cerrahlar için netlik, ameliyathane personeli için kolaylık sağlayan ve vitreoretinal prosedürlere uygun, geliştirilebilir bir platformdur. Modern vitrektomi cihazlarının sağladığı bu avantajlar ve getirdiği yenilikler bu cihazlara ilgiyi artırmıştır.

Bausch & Lomb Vitesse Hipersonik Vitrektomi

Modern vitrektominin başlangıcından beri kullanılan kesici sistemi; kesi yönü, çift bıçak kullanımı, prob boyutlarında küçülme, kesi hızında artış şeklinde güncellenmektedir. Tüm bu gelişmeler pnömatik giyotin vitrektör (GV) teknolojisi ile aynı düşünce doğrultusunda olmuştur (Şekil 10). Tamamen farklı ve benzersiz bir vitröz çıkarma yöntemi olan hipersonik vitrektomi, yakın zamanda hem FDA (Food and Drug Administration) hem de CE (Conformité Européene) onayını almıştır.³⁴



Şekil 10: Pnömatik giyotin vitrektör sisteminin çalışma dizaynı gösterilmektedir.

Mevcut vitrektörler giyotin tabanlı kesiciler mekanik olarak, elektrikle veya havayla çalıştırılır. Önce vitreus liflerini aspire ederek ve daha sonra vitrektör iğnesine girdikten sonra keserek çalışırlar. Bu nedenle, vitreus lifleri ancak arka boşluktan iğne portunun içine çekildikten ve retina üzerinde çekiş uygulandıktan sonra kesilir. Daha küçük çaplı iğne kullanımı akış hacimlerinde azalma anlamına gelir. Bazı sistemler, akış hacminin daha da düşmesine neden olan kesme oranlarını artırarak telafi eder.³⁴

Kesicilerin yüksek hız ve ince yapısına göre dizayn edilmesi ile belirli sorunlar aşılmaya çalışılmaktadır. Yapılan çalışmalarda, 7.500 cpm giyotin kesiciler ve 16.000 cpm çift bıçaklı kesicilerin geleneksel kesicilere göre vitrektomi zamanı %50'ye varan oranlarda azalttığı gösterilmiştir.^{35,36}

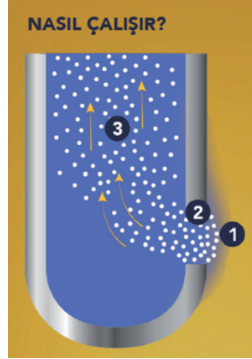
Pnömatik GV'lerin portun açılıp kapanma süresi, bıçağın mekanik sınırlamaları ve kendi hareketinin yarattığı türbülans nedeniyle oluşan mikro traksiyonlar, retinaya yaklaşımda kısıtlamalar gibi bazı dezavantajları olduğu izlenmiştir.^{37,38} Peki ya görev döngüsü kavramını sözlüğümüzden silebilsek ve mekanik sınırlamaları ortadan kaldırmak için tek tüp tasarımıyla her zaman açık olan bir bağlantı noktası kullanabilirsek? Bu, HV teknolojisinin geliştirilmesindeki mantığın temeli olmuştur. İlk ve tek hipersonik, %100 açık portlu vitrektomi sistemi 40 yıldaki en ciddi gelişmelerden biridir diyebiliriz.³⁴

İçi boş bir tüp aracılığıyla ultrasonik vibrasyon ilk olarak 1967'de Kelman tarafından kataraktların ekstraksiyonunda tanımlanmış ve uygulanmış olup, o zamandan beri günümüzün fakoemülsifikasyon tekniğine dönüşmüştür.^{39,40} Girard daha sonra pars plana boyunca ultrasonik güç kullanan daha küçük çaplı bir tüp tarif etmiştir.⁴¹ Kesici sistemde hareketli parça olmaması ve pars plana kesisinin daha küçük olması avantaj olarak kabul edilse de yine de ultrasonik güç sistemi ile ilgili doğal sorunlar öngörülmekteydi. Riskleri en aza indirmek ve faydaları en üst düzeye çıkarmak için düşük güçlü bir hipersonik vitrektomi probu tasarlandı.³⁴

Medikal ve cerrahi uygulamalarda kullanılan titreşim-vibrasyon enerjisinin iki temel prensibi bulunur. Bunlar düşük güçlü yüksek frekanslı ve yüksek güçlü düşük frekanslı ultrasondur. Ultrasonik tanısal görüntüleme cihazları, düşük güçlü yüksek frekanslı titreşimli enerji (1 ± 20 MHz) kullanırken, cerrahi sistemde nispeten yüksek güçlü düşük frekanslı (20 ± 60 kHz) titreşimli enerji kullanmaktadır.^{42,43}

Vitesse Hipersonik Vitrektomi sistemi (Bausch + Lomb Retina, St. Louis, MO) Stellaris Elite çift fonksiyonlu katarakt ve vitrektomi platformuna özeldir ve 33 mm uzunluğunda paslanmaz çelik üzerine titanyum nitrür kaplama 23-G vitrektomi probundan oluşur. Dış çap 0.64 mm'dir ve ucunda 175 ila 255 mikrometre (μ m) ölçülerinde bir port bulunan çeşitli kesiciler vardır. Bu probun ucu 0-60 μ m darbe uzunluğu ile ileri geri hareket eder. Hipersonik vitrektomi (HV) sisteminde iki iğne yerine tek bir iğne bulunur, bu nedenle port kenarı ve iğne arasında vitreus dokusunun sıkışma olasılığı yoktur. Hipersonik vitrektomi mekanizması portun kenarında vitrözü sıvılaştıran ve daha sonra aspire eden, piezoelektrik ultrason transdüserine dayanır.³⁸ Diğer ultrasonik cerrahi cihazlarının aksine, 28.5 kHz civarında sabit bir ultrason frekansında ve 10-50 μ m arasında bir tepe-tepe genliğinde, düşük güç ultrason harmonikleri ile çalışır. Hipersonik vitrektör ucu dakikada 1.7 milyon kez titreşir; yüksek ve sabit akış hızlarına izin veren, görev döngüsü sınırlaması bulunmadan % 100 açık port vitrektomi sistemine sahiptir. Tek iğneyle çalışan açık port sistemi sayesinde aynı boyuttaki bir GV'den daha büyük bir iç çapa sahiptir. Bu durum HV'leri kullanırken akış direnci-

ni ve infüzyon basınçlarını önemli ölçüde düşürür, turbülansı ortadan kaldırır. (Şekil 11).^{44,45} Bütün bu özellikler, özellikle retina yakın çalışırken vitreusun çıkarılmasını daha güvenli hale getirebilir. Cerrah için HV kullanılan bir vaka, GV kullanılan bir vaka gibi başlar, ancak sistem ayarları farklıdır. Kesme hızı yerine bir darbe genliği seçilir ve aspirasyon vakum ayarı çok daha düşük olabilir.

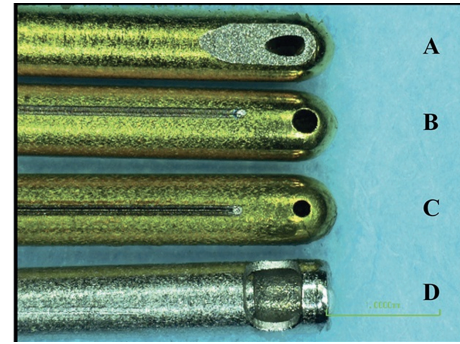


Şekil 11: Vitesse hipersonik vitrektomi probunun çalışma prensibinin şematik gösterimi izlenmektedir.

Ultrason enerjisi, doku kesme, çıkarma ve ablasyon gibi cerrahi ve medikal cihazlarda birçok geniş bir uygulama alanına sahipse de göz hastalıkları düşünüldüğünde oluşabilecek doku hasarı ihtimali hakkında net bir görüş bulunmamaktadır.⁴² İletim veya yansıma ve absorpsiyon, doku ara yüzlerinde meydana gelen başlıca olaylardır.⁴⁶ Buna göre, enerji Emilimi ısıya dönüştürülebilir. Ayrıca, sıvılardaki yüksek enerjili ultrason, mekanik yıkıma neden olabilen mikro patlamalar üreten bir süreç olan “kavitasyona” yol açar.⁴⁷ Retinadaki problemler retinal lezyonlar üretebilir.⁴⁸ Bu amaçla Pastor-Idoate ve arkadaşları tarafından yapılan, histopatolojik değişiklikleri karşılaştıran çalışmada, GV veya HV ile vitrektomi olan domuz ve insan kadavra gözleri incelenmiştir. Cerrahi sonrası retina, vitreus ve kristalin lenste benzer morfolojik değişiklikler görüldüğü; esas olarak iç retina tabakalarında histopatolojik bazı bulgular saptanmıştır. Aynı çalışmada elektron mikroskop incelemeleri, HV grubunda vitreus kollajenlerinin daha kısa olduğunu ve sonuç olarak GV grubuna göre vitreusu daha iyi uzaklaştırdığı düşünülmüştür.⁴⁹

Ch’ng, Soon Wai ve arkadaşlarının yaptığı devam niteliğindeki çalışmada ise domuz gözlerindeki 30 günlük gecikmiş iyileşme sonuçları incelenmiştir. Hipersonik vitrektomi ile ameliyat edilen gözler ile GV ile ameliyat edilenler arasında histolojik bulgularda anlamlı bir fark olmadığını, hipersonik enerjiye atfedilebilen akut veya gecikmiş yan etkiler olmadığını ortaya koyulmuştur.⁵⁰ Mevcut çalışmalar HV’de kullanılan ultrason enerjisinin göz cerrahisinde güvenli olabileceğinin ipuçlarını taşımakta; ancak daha geniş deneysel ve klinik çalışmalar bu alanda devam edecektir.

Stocchino ve diğerleri farklı boyutlardaki (23, 25 ve 27 G) GV’lerin akışkanlığını, gözyaşı damlası (TD) ve büyük (L) olmak üzere iki farklı port konfigürasyonuna sahip 23G HV’lerle karşılaştırmış (Şekil 12). BSS ve yapay vitreusta sıvı akışkanlıkları deneysel olarak değerlendirilmiştir. İvmelenme GV’lerde 4.000 ila 5.000 cpm kesme hızında zirve yapmıştır. Akış hızı, HV’ler için hem dengeli tuz solüsyonunda hem de suni vitrozde GV’lerden önemli ölçüde daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca HV-TD(255 µm), HV-L (225 µm) ‘den daha iyi performans göstererek daha düşük ivmede daha yüksek akış hızı üretmiştir. Aynı çalışmada HV’lerde 60 µm ultrason gücünde 5 dk devamlı kullanımdan sonra 2.5°C ısı artışı tespit edilmiştir. Prob başında maksimum 40°C’ye varan sıcaklık elde edilmiş, infüzyon hattının kapalı olması ve vakum ayarlarının sıfır olmasının bu değerleri etkileyebileceği ve intraoperatif irrigasyon sıvısının sıcaklığının düşük olması ile gerek cerrahide sorun oluşturmayaacağı düşünülmüştür.⁵¹



Şekil 12: 23 Gauge hipersonik vitrektomi problemlerinin temsili görüntüleri yer almaktadır. (A) 255 mm gözyaşı damlası portu; (B) 225 mm yuvarlak port; (C) 175 mm yuvarlak port; ve (D) ticari olarak temin edilebilen 23 Gauge giyotin vitrektomi probu (Bausch & Lomb Inc, St. Louis, MO).

İlk insan vakaları Hindistan’da gerçekleştirilmiştir. Stanga ve arkadaşlarının 20 hastanın 20 gözünü opere edildiği çalışmada, cihaz optimal ayarları, cerrahin cihaz performansı ile ilgili subjektif görüşleri, vitrektomi sırasında HV’nin yeterliliği ve GV’ye gereksinim yüzdesi değerlendirilmiştir. Vakalar tek cerrah tarafından 23G sistemiyle, 255 µm, 225 µm ve 175 µm port açıklığına sahip problemlerle gerçekleştirilmiştir. Vakalar maküler delik, vitreus kanaması veya posterior vitreus dekolmanı (PVD) tanısı almış hastalardan oluşuyormuş. Port açıklığı 175 µm olan HV’nin likefaksiyon ve aspirasyon arasında yeterli denge sağlamadığı düşünülmüştür. Cerrahlar, önceki çalışmaya benzer olarak ameliyat için 255 µm portunu tercih etmişler ve TD konfigürasyonunun aynı vakum ayarında daha fazla akışa izin verdiğini ve böylece daha iyi aspirasyon ve vitreus alımı sağladığını bildirmişler. Üç aylık takipteki ciddi yan etkiler, cihazla ilişkili 2 retina yırtılması ve ayrılması (biri intraoperatif)

ve bir adet ameliyat sonrası maküla deliğinin subretinal sıvı ile ilişkisiz genişlemesi olarak belirtilmiştir. Kaydedilen diğer sorunlar, aksiyal miyopisi olan hastalarda mevcut HV probunun optik diske erişemeyeceği, vitreus lifefaksiyonun bazen yavaş ve aralıklı olduğu ve bunun sonucunda port ağzının vitreus lifleriyle tıkanmaya neden olduğudur. Vakaların çoğunda düşük aspirasyon hızlarında sistem lifefaksiyon için yeterli zaman tanıyarak bu fenomeni azaltmış. Cerrahlar ayrıca boyama boyalarının aletleri değiştirmeye gerek kalmadan vitrektör iğnesinden kolayca enjekte edilebileceğini gözlemlemişler. Vitreus kanaması için yapılan HV ameliyatlarında, cerrahlar, retina üzerinde sınırlı vitreus traksiyonu ile periferik vitreusun etkili bir şekilde çıkarılmasından memnun olduğunu kaydetmiştir. Çalışma sonrasında cerrahlar HV ile vakaların %85 oranında önceki GV deneyimine benzer veya daha iyi sonuçlandığını belirtmiştir.⁵²

Blinder ve arkadaşları tarafından Amerika'da gerçekleştirilen ilk HV vaka serisinde ise, 64 hasta alınmış ve 20 hastaya da karşılaştırma için konvansiyonel 23-G cerrahi uygulanmıştır. Preoperatif tanılar vitreus opasitelerinden regmatojen retina dekolmanlarına kadar uzanmaktaymış. Cerrahlar HV konusunda daha fazla deneyim geliştirene kadar kendilerini rahat hissettikleri vakayı almışlar. Cerrahlar belirlenmiş eğitim programını geçtikten sonra, pnömatik giyotin tarzı bir kesiciye kıyasla kullanılabilirlik, kullanım sorunları, komplikasyonlar ve avantaj / dezavantajlar konusunda ankete tabi tutulmuştur. İki hastada (%3) intraoperatif-postoperatif komplikasyon (iyatrojenik retinal yırtık ve arka kapsülotomi sırasında göz içi lenste çentiklenme) gözlemlenmiştir. Dokuz hastada (%13) vitreusta inkarserasyon ya da vitreoretinal traksiyon gözlemlenmiş ancak vakum değerleri düşürüldükten sonra bu sorunun ortadan kalktığı kaydedilmiştir. Dokuz hastada vaka HV ile tamamlanamamıştır. Cerrahlar 37 hastada (%52) HV'yi, periferik vitrektomi, silikon uzaklaştırması ve yoğun nükleus uzaklaştırması bakımından GV'ye göre üstün bulmuşlar. Vakum/darbe ayarlarının ayak pedalıyla ayarlanmasının öğrenme esnasında en zorlu süreçlerden biri olduğu; daha az traksiyon görülmesi ve pürüzsüz periferik vitre çıkarımının, yoğun nükleus ve silikon yağının aynı proba uzaklaştırılabilmesinin HV'nin büyük avantajları olduğu bildirilmiştir.³⁴

Romano ve arkadaşları 4'ü retina dekolmanı olmak üzere çeşitli vitreoretinal hastalıklar nedeniyle HV uygulanan 50 göz üzerinde güvenlik, etkinlik ve en iyi cihaz parametrelerini değerlendirmek için TD probu kullanarak bir çalışma yapmışlar. Ameliyat sırasında 5 gözde (%10) komplikasyon gelişirken, 23 gözde (%46) teknik sorun saptanarak 15 olguda GV'ye geçilmiştir. Teknik problemlerle ilgili en yaygın bulgu, vitreus şeritlerinin oluşumu ile yetersiz vitreus sıvılaşması ve bunun sonucunda bazen vitrektomi probunda vitreus hapsi ile komplike hale gelen yetersiz vitreus çıkışı olarak belirtilmiştir. Bu sorunlar daha önceki çalışmalarda vakum ve darbe ayarlarını düzenleye-

rek kolayca çözüldü denilmiştir. Geleneksel vitrektomiye kıyasla (0-600 mmHg) daha düşük vakum gerektiren HV için, en iyi ayarlar 60 μm 'lik bir darbe ve 40 mmHg'lik bir vakum olarak kabul edilmiştir. Daha önceki hem in vitro hem de in vivo çalışmalarda da gösterildiği gibi 28,5 kHz'lik sabit ultrason frekansı, 60 μm 'lik maksimum darbeye bile hiç bir zaman kavitasyon olayıyla ilişkilendirilmemiştir. Üç aylık takipte, 49 gözde (%98) primer anatomik başarı elde edilmiş ve ortalama en iyi düzeltilmiş görme keskinliğinin genel olarak iyileştiği bildirilmiştir. Regmatojen dekolmanlı gözler gibi daha dejenere bir vitrözde HV nin performansının daha iyi olduğu fark edilmiştir.⁵³

Deuchler ve arkadaşları; HV'nin proliferatif vitreoretinopati (PVR) veya proliferatif diyabetik vitreoretinopati (PDVR) vakalarındaki güvenliliğini ve etkinliğini araştırmıştır. On altı vakanın hepsi HV ile tamamlanabilmiştir. Vitreus, iyatrojenik doku hasarı olmadan tamamen ayrılan retinadan temizlenebilmiştir. Vitreus traksiyonu bir vakada belgelenmiştir. 6 olguda HV ile erken sıvı-hava değişiminden sonra herhangi bir komplikasyon olmaksızın vitreus temizlenebilmiş. Takip ziyaretlerinde HV ile ilişkili olduğundan şüphelenilen hiçbir yan etki belgelenmemiştir. Vitesse HV, sınırlı miktarda türbülans ile azaltılmış vakum hacimleri ve vitreoretinal traksiyondan kaçınma gibi potansiyel avantajlara sahip olduğu belirtilmiştir. Prob girişinin hemen önündeki sıvılaşma, sürekli ve sınırsız sıvı akışına izin vermiştir.⁵⁴

Bu çalışmada HV ile ilgili avantaj ve dezavantajlar özetlenmiştir. Avantajları sıralarsak; vitreusun sıvılaştırılması ve sürekli açık port tasarımı sayesinde daha az türbülans ve vitreus traksiyonu izlenmesi, daha düşük vakum hacimleri gerektirmedi. Hava altında vitrektomiye devam edebildiği izlenmiştir. Retina yırtığının kenarındaki nekrotik dokunun güvenli ve hassas şekilde çıkarılabildiği ve kontrollü retinektomi yapabildiği izlenmiştir. Kısıtlılık olarak ise; probun önündeki sıvılaşma zar zor görülebildiğinden, ilerlemenin değerlendirilmesi zor ve potansiyel olarak daha fazla zaman alan bir cerrahi olduğu söylenmiştir. Hipersonik teknik nedeniyle, metalin (el aleti) metale (trokar) sürtünmesini önlemek için plastik kanüller gerekli olduğu için plastik kanüllerin stabilite eksikliği olumsuz değerlendirilmiştir. Optimize edilmemiş aspirasyon ve darbe kombinasyonunun bir sonucu olarak hedefin önünde istenmeyen vitröz şeritler oluşturabildiği izlenmiştir. Genel değerlendirmede; hipersonik teknolojinin PVR veya PDVR vakalarında cerrahi başarıyla gerçekleştirmeye izin vereceği öngörülmüştür.⁵⁴

Devam eden çalışmalardan da anlaşılacağı gibi vitrektomi cerrahisindeki yeni HV teknolojisini alanda daha çok göreceğimizi düşünmekteyiz. Bu yeni teknolojinin optimal kullanımı için ayarlarının şekil alması ve cihaz güvenilirliğinin ortaya konması açısından daha fazla klinik ve deneysel çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Değerlendirme ve Sonuç

Kısa süre içerisinde çok önemli gelişmelerin yaşandığı vitreoretinal cerrahi sayesinde bir dönem tedavi edilemeyeceği düşünülen hastalıkların ve komplikasyonların tedavisini mümkün olmuştur ve dünyanın her bir noktasında yaygınlaşmaktadır. Yüzyıl önce bir oftalmoskop, bıçak ve diatermi ile uygulanan vitreoretinal cerrahi günümüzde çok gelişmiş cihazlar ve enstrümanlarla gerçekleştirilmektedir. Böylece modern vitreoretinal cerrahi ile pek çok hastalık için tedavi mümkün olmuştur. Gelecekte ise ileri görüntüleme sistemleri, üç boyutlu kameralar, farmakolojik ajanlar, kök hücre tedavisi ve robotik cerrahinin de gelişimiyle vitreoretinal cerrahinin de diğer tüm alanlarda olduğu gelişmesi kaçınılmazdır. Günümüzde tedavisi mümkün görülmeyen hastalıkların da belki de tahminimizden çok daha kısa sürede tedavi edilebileceğini hep birlikte göreceğiz.

Teşekkür

Bu inceleme makalesinin yazılmasında ve yayınlanmasında emeği geçen herkese teşekkürlerimizi sunarız.

Açıklama

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederiz.

Kaynaklar

1. Machemer R, Buettner H, Norton EW, Parel JM. Vitrectomy: a pars plana approach. *Trans Am Acad Ophthalmol Otolaryngol.* 1971;75(4):813-820.
2. Machemer R. The development of pars plana vitrectomy: a personal account. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 1995;233(8):453-468.
3. O'Malley C, Tripp RM. Plugs and stiletto: entry incisions for a 20-gauge instrument system. *Ophthalmic Surg.* 1977;8(1):76-81.
4. O'Malley C, Heintz RM, Sr. Vitrectomy with an alternative instrument system. *Annals of ophthalmology.* 1975;7(4):585-8, 91-4.
5. Peyman GA. A miniaturized vitrectomy system for vitreous and retinal biopsy. *Canadian journal of ophthalmology Journal canadien d'ophtalmologie.* 1990;25(6):285-6.
6. Fujii GY, De Juan E, Jr., Humayun MS et al. A new 25-gauge instrument system for transconjunctival sutureless vitrectomy surgery. *Ophthalmology.* 2002;109(10):1807-12; discussion 13.
7. Oshima Y, Wakabayashi T, Sato T, Ohji M, Tano Y. A 27-gauge instrument system for transconjunctival sutureless microincision vitrectomy surgery. *Ophthalmology.* 2010;117(1):93-102.e2.
8. Abulon DJ, Charles M, Charles DE. Globe stability during simulated vitrectomy with valved and non-valved trocar cannulas. *Clin Ophthalmol.* 2015;9:1745-1752.
9. Parel JM, Machemer R, Aumayr W. A new concept for vitreous surgery. 4. Improvements in instrumentation and illumination. *Am J Ophthalmol.* 1974;77(1):6-12.
10. Augustin AJ. Historical overview of microincision surgery. In: Rizzo S, Patelli F, Chow DR: Vitreoretinal surgery progress III. Springer, Germany. 2009;1-8.
11. Çıtırık M, Batman C, Biçer T ve ark. 23-Gauge transkonjonktival sutureless pars plana vitrektomi. *Ret-Vit.* 2008;16:51-4.
12. Sato T, Emi K, Bando H, Ikeda T. Faster recovery after 25-gauge microincision vitrectomy surgery than after 20-gauge vitrectomy in patients with proliferative diabetic retinopathy. *Clin Ophthalmol.* 2012;6:1925-1930.
13. https://www.bauschsurgical.eu/fileadmin/media/documents/BL1801_Brochure_ELITE_An_A4.pdf
14. Elçioğlu M. Vitreoretinal Cerrahide Cihazlar: Yılmaz G, Durukan AH. Güncel Vitreoretinal Cerrahi. Türk Oftalmoloji Derneği Eğitim Yayınları, Ankara. 2021;43-55.
15. Teixeira A, Chong L, Matsuoka N, et al. An experimental protocol of the model to quantify traction applied to the retina by vitreous cutters. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2010;51(8):4181-4186.
16. Rossi T, Querzoli G, Angelini G, et al. Introducing new vitreous cutter blade shapes: a fluid dynamics study. *Retina.* 2014;34(9):1896-1904.
17. Steel DH, Charles S. Vitrectomy fluidics. *Ophthalmologica.* 2011;226 Suppl 1:27-35.
18. 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(3):461-468.
19. Michalewska Z, Ducournau D, Adelman RA; EVRS RD Study Group. How do vitrectomy parameters influence the results of rhegmatogenous retinal detachments repair? EVRS RD Study No. 3. *Acta Ophthalmol.* 2014;92(5):e416-e417.
20. Rossi T, Querzoli G, Angelini G, et al. Fluid dynamics of vitrectomy probes. *Retina.* 2014;34(3):558-567.
21. Teixeira A, Chong LP, Matsuoka N, et al. Vitreoretinal traction created by conventional cutters during vitrectomy. *Ophthalmology.* 2010;117(7):1387-92.e2.
22. Charles S. An engineering approach to vitreoretinal surgery. *Retina.* 2004;24(3):435-444.
23. 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.
24. Danis RP, Thompson JT. Flow dynamics of extrusion needle vacuuming in a closed vitrectomy system. *Arch Ophthalmol.* 1990;108(2):267-270.
25. Moorhead LC, Armeniades CD. Variations in intraocular pressure during closed-system surgical procedures. *Arch Ophthalmol.* 1986;104(2):269-272.
26. 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.
27. 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.
28. Enaida H, Hachisuka Y, Yoshinaga Y, et al. Development and preclinical evaluation of a new viewing filter system to control reflection and enhance dye staining during vitrectomy. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2013;251(2):441-451.

29. 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(10):1685-1691.
30. 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.
31. Erakgun T. Aydınlatma sistemleri. *Ret-Vit*. 2007;Özel Sayı:5-7.
32. 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.
33. Awh CC, Stellaris PC: next generation vitrectomy technology. *Innov Ophthalmol*, 2011, 44-45.
34. Blinder KJ, Awh CC, Tewari A, Garg SJ, Srivastava SK, Kolesnichenko V. Introduction to hypersonic vitrectomy. *Current opinion in ophthalmology*. 2019;30(3):133-7.
35. Mariotti C, Nicolai M, Saitta A et al. Standard Cut Rate 25-Gauge Vitrectomy Versus Ultrahigh-Speed 25-Gauge System In Core Vitrectomy. *Retina*. 2016;36(7):1271-4.
36. Pavlidis M. Two-Dimensional Cutting (TDC) Vitrectome: In Vitro Flow Assessment and Prospective Clinical Study Evaluating Core Vitrectomy Efficiency versus Standard Vitrectome. *J Ophthalmol*. 2016;2016:3849316.
37. De Oliveira PRC, Berger AR, Chow DR. Vitreoretinal instruments: vitrectomy cutters, endoillumination and wide-angle viewing systems. *International journal of retina and vitreous*. 2016;2(1):28.
38. Stanga PE, Pastor-Idoate S, Zambrano I, Carlin P, McLeod D. Performance analysis of a new hypersonic vitrector system. *PLoS One*. 2017;12(6):e0178462.
39. Kelman CD. Phaco-emulsification and aspiration. A new technique of cataract removal. A preliminary report. *Am J Ophthalmol*. 1967;64(1):23-35.
40. Banko A, Kelman CD. Material removal apparatus and method employing high frequency vibrations. In: US patent 3589363; 1971.
41. Girard LJ, Hawkins RS. Cataract extraction by ultrasonic fragmentation: vitrectomy by ultrasonic aspiration. *Trans Am Acad Ophthalmol Otolaryngol*. 1974; 78(1):OP50-9.
42. O'Daly BJ, Morris E, Gavin GP, O'Byrne JM, McGuinness GB. High-power low-frequency ultrasound: A review of tissue dissection and ablation in medicine and surgery. *Journal of materials processing technology*. 2008;200(1-3):38-58.
43. Cimino WW. The physics of soft tissue fragmentation using ultrasonic frequency vibration of metal probes. *Clinics in plastic surgery*. 1999;26(3):447-61.
44. Thompson JT. Advantages and limitations of small gauge vitrectomy. *Survey of ophthalmology*. 2011;56(2):162-72.
45. Abulon DJ. Vitreous flow rates through dual pneumatic cutters: effects of duty cycle and cut rate. *Clin Ophthalmol*. 2015;9:253-261.
46. Baum G, Greenwood I. The application of ultrasonics locating techniques to ophthalmology; theoretic considerations and acoustic properties of ocular media. I. Reflective properties. *Am J Ophthalmol*. 1958;46(5 Pt 2):319-329.
47. Radek U. Kavitationserzeugte Druckimpulse und Materialzerstörung. *Acustica* 1972; 26:270±283.
48. Bopp S, el-Hifnawi ES, Bornfeld N, Laqua H. Retinal lesions experimentally produced by intravitreal ultrasound. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 1993;231(5):295-302.
49. Pastor-Idoate S, Bonshek R, Irion L, et al. Ultrastructural and histopathologic findings after pars plana vitrectomy with a new hypersonic vitrector system. Qualitative preliminary assessment. *PLoS One*. 2017;12(4):e0173883.
50. Ch'ng SW, Irion LD, Bonshek R, et al. Live porcine thirty days delayed recovery surgery: Qualitative findings with the hypersonic vitrectomy. *PLoS One*. 2018;13(6):e0197038.
51. Stocchino A, Nepita I, Repetto R, et al. Fluid Dynamic Assessment of Hypersonic and Guillotine Vitrectomy Probes in Viscoelastic Vitreous Substitutes. *Transl Vis Sci Technol*. 2020;9(6):9.
52. Stanga PE, Williams JI, Shaarawy SA et al. First-in-human clinical study to investigate the effectiveness and safety of pars plana vitrectomy surgery using a new hypersonic technology. *Retina*. 2020;40(1):16-23.
53. Romano, MR, Caretti L, Ferrara M et al. Twenty-Three-Gauge Hypersonic Vitrectomy: Real-World Surgical Evidence. *Retina*. 2021; 41(12), 2523-2530.
54. Deuchler S, Scholtz J, Knoch T, Seitz B, Koch FH. Safety and Efficacy of Hypersonic Vitrectomy for Retinal Reattachment Surgery in Proliferative Vitreoretinopathies. *Clin Ophthalmol*. 2022;16:3711-3720.



Dr. Öğr. Üyesi Duygu GÜLER

1990 Eskişehir doğumluyum. 2014 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Tıp Fakültesi bölümünden mezuniyet ardından 2020 yılında Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Göz Hastalıkları Anabilim Dalında uzmanlığımı aldım. 2020-2022 yılları arasında Osmaniye Kadirli Devlet Hastanesi'nde Devlet Hizmet Yüklümlülüğümü tamamladım. 2022'den beri Adnan Menderes Üniversitesi Göz Hastalıkları Anabilim Dalında Dr. Öğr. Üyesi olarak çalışmaya devam etmekteyim.