

Femtosaniye Lazer Kullanımındaki Gelişmeler

Advances in Applications of Femtosecond Laser

Banu ÖNCEL¹, Eylem YAMAN PINARCI², Yonca AKOVA³

Güncel Konu

Review Article

ÖZ

Femtosaniye (Fs) lazerler ultra kısa lazer atımları yaparlar. Bu ultra kısa atımlar sayesinde kullanılan lazer enerjisi azalır böylece çevre dokularda oluşan termal ve mekanik hasar minimum düzeye iner. İlk önceleri lazer in-situ keratomileusis (LASİK)'te mikrokeratomun yerini alması için sunulan bu teknoloji günümüzde birçok farklı kullanım alanları bulmuş ve bulmaya devam etmektedir. Bu alanlar LASİK cerrahisinde flep oluşturulması, miyopik düzeltme için korneadan lentikül hazırlanması, kornea halkaları için yatak hazırlanması, astigmatik keratotomi, lameller keratoplasti, presbiyopi tedavisi, katarakt cerrahisinde birçok aşama olarak sayılabilir. Bu yazıda femtosaniye lazer ile ilgili son gelişmeler gözden geçirilecektir.

Anahtar Kelimeler: Femtosaniye lazer, katarakt cerrahisi, LASİK, keratoplasti.

ABSTRACT

Femtosecond (Fs) lasers have ultra short laser pulses. Because of these short pulses the pulse energy is decreased and there is a reduction in the amount of thermal and mechanical damage to the surrounding tissues. Once designed to replace microkeratome in laser in-situ keratomileusis (LASIK), the Fs laser is being used and seems to be going to be used in many new areas. These areas are cutting flaps for LASIK, lenticule extraction for myopic correction, cuts for intrastromal ring segments, astigmatic keratotomy, lamellar keratoplasty, presbyopic correction, many steps in cataract surgery. In this review we will discuss recent advances about femtosecond laser.

Key Words: Femtosecond laser, cataract surgery, LASIK, keratoplasty.

Glo-Kat 2011;6:203-206

Geliş Tarihi : 21/06/2011

Kabul Tarihi : 10/09/2011

Received : June 21, 2011

Accepted : September 10, 2011

- 1- Başkent Üniversitesi İstanbul Hastanesi, Göz Hastalıkları, İstanbul, Yrd. Doç. Dr.
- 2- Başkent Üniversitesi, İstanbul Hastanesi, Göz Hastalıkları İstanbul, Uz. Dr.
- 3- Başkent Üniversitesi Hastanesi Göz Hastalıkları Anabilim Dalı Ankara, Prof. Dr.

- 1- M.D. Asistant Professor, Başkent University İstanbul Hospital Eye Clinic, İstanbul/TURKEY
ÖNCEL B., banuoncel@superonline.com
- 2- M.D., Başkent University İstanbul Hospital Eye Clinic, İstanbul/TURKEY
PINARCI E.Y., eyaman@yahoo.com
- 3- M.D. Professor, Başkent University Department of Ophthalmology, Ankara/TURKEY
AKOVA Y., yoncaakova@yahoo.com

Correspondence: M.D. Asistant Professor, Banu ÖNCEL
Başkent University İstanbul Hospital Eye Clinic, İstanbul/TURKEY

GİRİŞ

Nanosaniye ve pikosaniye lazerlerden sonra yeni bir teknoloji olan femtosaniye lazer son yıllarda oftalmolojide sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Femtosaniye lazerin laser ışınını birkaç mikrometre çapında odaklayan ve atım enerjisi $1 \mu J$ 'ü geçmeyen ultra kısa atımları mevcuttur. Bu yazının amacı femtosaniye lazer hakkındaki son çalışmalar ışığında kullanım alanları hakkındaki bilgilerimizi güncellemektir.

Femtosaniye (Fs) lazerler ultra kısa lazer atımları yaparlar. Bu ultra kısa atımlar sayesinde kullanılan lazer enerjisi azalırken çevre dokularda oluşan termal ve mekanik hasar minimum düzeye inmiş olur. Lubatschowski ve ark., yaptığı bir çalışmada Fs lazer atım alanının çevresinde $1 \mu m$ 'ye eşit veya daha küçük bir alanda minimal mekanik ve termal hasar tespit edilmiştir.¹

Piyasaya ilk sunulan Fs lazer 2001 de tanıtılan IntraLase Fs lazer (Abbott Medical Optics, Inc, Santa Ana, CA, USA) dir. Bu lazer teknolojisinin ilk sunulum amacı mekanik keratomun yerini alarak, lazer in-situ keratomileusis (LASİK)'te yaşanan flep komplikasyonlarını minimuma indirmektir.² Daha sonraki yıllarda diğer Fs lazerler Femtec (Technolas Perfect Vision, Heilderberg, Germany) Femto LDC (Ziemer Ophthalmic Systems, Port, Switzerland) ve VisuMax (Carl Zeiss, Meditec AG, Jena, Germany) piyasaya sunulmuştur.³

Bu lazerlerin hepsinin kendilerine özgü özellikleri ve yapıları olsada hepsi doğrusal olmayan emilim ve doku bozulmasına dayanan bir süreç izlerler.⁴ Üç boyutlu doku işlemi ve kornea yüzeyi altına emilime izin verirler.⁵⁻⁷ Sistemler yüksek atım enerjisi ve düşük atım frekansı ile düşük atım enerjisi ve yüksek atım frekansı uygulayabilmektedirler. Düşük atım enerjisi ile kesi yapılırken fotokimyasal olarak doku dekompanasyonu ve termoelastik bozulmaya sebep olunur oysa yüksek atım enerjisiyle plazma aracılı ablyasyon yanında mekanik parçalanma ve geçici kaviteasyon kabarcıkları oluşur.⁴

İlk önceleri LASİK'te mikrokeratomun yerini alması için sunulan bu teknoloji günümüzde birçok kullanım alanları bulmuş ve bulmaya devam etmektedir. Bu alanlar LASİK cerrahisinde flep oluşturulması, miyopik düzeltme için korneadan lentikül hazırlanması, kornea halkaları için yatak hazırlanması, astigmatik keratotomi, lameller keratoplasti, presbiyopi tedavisi, katarakt cerrahisinde kesi, kapsülörektisi gibi birçok aşama olarak sayılabilir. Glokom cerrahisinde kullanılabilirliği içinse deneysel çalışmalar devam etmektedir.

LASİK'te ve Miyopi Tedavisinde Fs Lazer Kullanımı

Lazer in-situ keratomileusis'te Fs lazerin kullanım amacı hem hedeflenen flep kalınlığına daha yakın kalınlıkta flep oluşturmak, hemde uygulanan dokuda daha az mekanik ve termal hasara neden olmaktır. Yeni mikrokeratomlar sayesinde flep kalınlığı daha hedefe yakın olmakla birlikte halen $15-35 \mu m$ aralığında değişkenlik göstermektedir.⁸

Ayrıca mekanik keratomlarla serbest flep, tam olmayan flep, santralize olmayan flep, epitel defektleri, düğme delikleri, hedef kalınlıktan uzak flep kalınlığı, yüksek sıralı aberasyonların artırılması gibi birçok komplikasyonla karşılaşılabilir.^{9,10}

Fs lazer ile daha standart flepler oluşturmak mümkündür. $90-100 \mu m$ 'ye kadar ince flepler oluşturulabilmekte ve tekniğe sub-Bowman's keratomileusis denmektedir.¹¹ Fotorefraktif keratotomi (PRK) LASİK 'e göre korneada daha iyi bir biyomekanik stabilite sağladığı için ince flep oluşturmak kornea biyomekanik stabilitesi açısından daha avantajlı görülmektedir.¹¹ Hamilton ve ark., yaptığı bir çalışmada PRK ve LASİK (mikrokeratom veya Fs lazer) sonrası histerezis ve kornea direnç faktöründe benzer şekilde azalma tespit edilmiştir. Ancak Fs lazer ile flep oluşturulan olgularda ablyasyon derinliği ile güçlü korelasyon gösteren daha öngörülebilir biyomekanik değişiklikler olduğu gözlenmiştir.¹² Küçümen ve ark., Fs lazer ile flep oluşturarak LASİK uyguladıkları olgularda kornea histerezis ve kornea direnç faktörünün erken dönemde anlamlı olarak azaldığını göstermişlerdir.¹³

Haft ve ark., 4772 gözde Fs lazer ile flep oluşturarak LASİK uyguladıkları olgularda operasyon sonrası ve sonrası komplikasyonları araştırmışlardır. Total komplikasyon oranını %0.92 olarak tespit etmişlerdir. Cerrahi sonrası (flebe bağlı) komplikasyon oranı %0.25, gazın epitelden flep sınırlarına kaçıışı %0.17, emiş kaybına bağlı tam olmayan flep %0.06 oranında görülmüş ve bir gözde daha evvel skara bağlı düzensiz flep oluşmuştur. Cerrahi sonrası geçici ışık duyarlılık sendromu (TLSS) %0.25 ve diffüz lameller keratit (DLK) (evre 1-2) %0.42 oranında görülmüş ve DLK yoğun topikal steroidlerle çok iyi cevap vermiştir. Bu komplikasyonların hiçbiri en iyi düzeltilmiş görme keskinliğini etkilememiştir.¹⁴

Shah ve ark., korneadan Fs lazer ile oluşturulan kornea lentikülünü küçük bir kesiden çıkarıp miyopiye düzeltmeye çalışmışlar ve işlemin güvenli, etkili ve öngörülebilir olduğunu bildirmişlerdir.¹⁵ Blum ve ark., ise miyopiye düzeltmek için 62 gözde Fs lazer ile aynı anda hem flep hem lentikül oluşturup lentikülün manüel çıkarımından sonra flebi yerine yerleştirmişlerdir. Olguları 12 ay izleyerek ve bu işlemin miyopik astigmatizma düzeltilmesinde faydalı olabileceğine karar vermişlerdir. Ancak bir olguda ektazi gelişimi refraktif cerrahi problemlerinin Fs lazer ile de gelişebileceğini göstermiştir.¹⁶

Presbiyopi'de Fs Lazer Kullanımı

Fs lazer kullanımı ile ilgili bir diğer gelişme de presbiyopi tedavisidir. Daha önceki yıllarda presbiyopi düzeltmesi için lens implantları veya monovizyon denenmiştir. Hemholtz 'un akomodasyon teorisine göre yaşla birlikte gelişen akomodasyon amplitüd kaybı kristalin lensin sklerozuna bağlıdır. Ripken ve ark., lensin yaşla artan deformasyon kabiliyetindeki azalmayı domuz lenslerinde Fs lazer ile oluşturdukları kayan düzlemlerle azaltmaya çalışmışlar ve sonuçta lensin lazer öncesine göre %26 oranında daha esnek olduğunu göstermişlerdir.¹⁷

Schumacher ve ark., Fs lazer kullanarak kristalin lenslerde kayan düzlemler oluşturmuşlar ve lens deformasyonunda %16, lens kalınlığında ise ortalama 97 mikrometre artış tespit etmişlerdir.¹⁸ Kayan düzlemleri oluşturmak için lensin içine Fs lazer odaklanarak annular, sagittal, ve silindir modelleri içeren geometrik kesiler (lentotomi) yapılır.¹⁸ Holzer ve ark., 25 presbiyop olgunun dominant olmayan 25 gözüne lentotomi uygulamışlar ve işlem sonrası 3. ayda düzeltilmemiş yakın görme keskinliğinin 0.7 ± 0.16 logMAR dan 0.26 ± 0.21 logMAR'a çıktığını tespit etmişlerdir. İşlem sırasında ve sonrasında herhangi bir problemle karşılaşmamışlardır.¹⁹

Keratoplasti Cerrahisinde Fs Lazer Kullanımı

Penetran keratoplasti (PKP) kornea cerrahları tarafından artık sınırlı kullanılsada Fs lazer için yeni ve ilgi çekici bir alandır. Manüel PKP uzun öğrenme eğrisi içerir ve işlem süresi uzundur.²⁰ Femtosaniye lazer şapka şeklinde PKP'de kornea kesilerini bir basamakta yapmayı sağlar. Steinert ve ark., ayrıca belirli bir prototip yazılımı intrastromal lazer atımları ve plazma kabarcıkları oluşturmakta kullanılıp korneaya simetrik radyal mimler koymuş ve böylece bu mimler üzerinden sütün atmayı kolaylaştırmışlardır.²⁰ Şapka PKP konfigürasyonunu daha az yara kaçağına neden olmakta, daha gevşek sütün platformu sağlamakta, sütün bağı astigmat daha az neden olmakta ve daha hızlı görsel düzleme sağlamaktadır. Ek olarak PKP de Fs lazer kullanımı verici ve alıcı kornea birleşim yerinde daha iyi bir eşleşme sağlamıştır.²¹

Shousha ve ark., anterior kornea patolojileri olan 13 olguda fs lazer ile sütünsüz anterior lameller keratoplasti (FALK) uygulamışlar ve olguları ortalama 31 ay izlemişlerdir. On iki ayın sonunda olguların %54 ünde en iyi düzeltilmiş görme keskinliğini 20/30 dan iyi bulmuşlardır.²² Buzzonetti ve ark., derin anterior lameller keratoplastide (DALK) big-bubble tekniğine Fs lazer ilave etmişler ve yeni tekniğe IntraBubble demişler ve Fs lazerin DALK için standart bir hale gelebileceğini bildirmişlerdir.²³ Chamberlain ve ark., 16 radyal keratotomi insizyonu olan ve astigmatı çok düzensiz olan bir olguda big-bubble tekniğini kullanarak femtosaniye derin lameller keratoplasti (DLK) uygulamışlar ve zor olgularda femtosaniye lazerin DLK başarısını artırabileceğini öne sürmüşlerdir.²⁴

Astigmatik Keratotomide Fs Lazer Kullanımı

Kook ve ark., penetran keratoplastili olgularda yüksek astigmatı düzeltmek için Fs lazeri kullanmışlar ve yüksek astigmatlı olgularda Fs lazerin etkili ve güvenilir bir seçenek olabileceğini ancak daha fazla sayıda uygulama sonuçlarını görmek gerektiğini vurgulamışlardır.²⁵

Hoffart ve ark., keratoplasti sonrası astigmatın düzeltilmesinde fs lazer ve mekanik astigmatik keratotomiye kıyaslamış ve Fs lazerin konvansiyonel tekniklere birçok avantajı olduğunu bildirmişlerdir.²⁶ Abbey ve ark., ise yüksek astigmatı olan bir olgunun heriki gözüne Fs lazer astigmatik keratotomi uygulamışlar ve astigmat değerlerinde yaklaşık %50 oranında azalma tespit etmişlerdir.²⁷

Katarakt Cerrahisinde Fs Lazer Kullanımı:

Femtosaniye lazer sadece katarakt cerrahisinde kataraktın çıkartılmasında değil kusursuz kapsüloleksis ve kornea kesilerin yapılmasında ve yine arkuat gevşetici insizyonlar ile astigmatın düzeltilmesinde kullanım alanı bulmuştur. LenSx lazer (Aliso Viejo, CA, USA), LensAR (Winter Park, FL, USA) ve Optimedica (Santa Clara, CA, USA) bu konuda geliştirilen Fs lazerlerdir.

Temel prensip olarak benzemekle beraber lazerin odaklanacağı alanı üç boyutlu görüntüleyebilme sistemleri farklıdır. Görüntüleme sistemi olarak LenSx optik koherens tomografi, LensAR ise daha avantajlı olan Scheimpflug görüntüleme sistemini kullanır. Optimedica ise cerrahi sırasında gerçek zamanlı görüntüleme sistemi kullanarak ön kamara derinliğini yanında kornea ve lensin kalınlığını da belirler.

Bu üç sistemin önemli avantajı kusursuz kapsüloleksis yapılması ve fakoemülsifikasyon cerrahisinin prec-hop aşamasında daha az enerji kullanılmasıdır. Fs lazer nükleusun yumuşatılmasını sağlar. Lazer kataraktlı lense cerrahi başlamadan uygulandığı için gözün cerrahi sırasında açıkta kalma süresi kısılır, böylece cerrahinin güvenliği ve etkinliği artırılabilir.²⁸

Nagy ve ark., domuz gözlerinde fs lazeri kapsüloleksis ve fakoemülsifikasyon cerrahisi için kullanmışlardır. Hedeflenen 5mm' lik kapsüloleksis çapı manüel olanda ortalama 5.88 ± 0.73 mm iken fs ile yapılanda ortalama 5.02 ± 0.04 mm olarak bulunmuştur. Scanning lazer mikroskop ile hem manüel hemde Fs lazer ile oluşturulan kapsüloleksis kenarları düzgün bulunmuştur. Femtosaniye fakofragmentasyonda fakoemülsifikasyon enerjisinde %43 ve fakoemülsifikasyon süresinde %51 oranında azalma tespit etmişlerdir.²⁹

Katarakt kesilerinde en iyi kesi şeklinin kare kesiler olduğu bilinmektedir, çünkü kare kesiler dikdörtgen kesilere göre daha güçlü ve stabildir. FS lazerler ile kusursuzca yakın kare kesiler yapılabilmektedir.³⁰

Kornea Halkaları İçin Tünel Hazırlamada Fs Lazer Kullanımı

Pinero ve ark., keratokonuslu olgulara mekanik ve fs lazer destekli tünel oluşturularak kornea halkaları yerleştirmişler ve sonuçları karşılaştırmışlardır. Tünellerin mekanik veya Fs lazer ile oluşturulmasının görme ve refraksiyon üzerine etkisi olmadığını görmüşlerdir. Mekanik tünel oluşturulan gözlerde daha sınırlı aberrometrik düzeltme gözlemlenmişlerdir.³¹

Carrasquillo ve ark., keratokonus ve LASIK sonrası ektazi olgularında kornea halkaları için mekanik veya Fs lazer ile tünel oluşturularak olguları kıyasladıkları çalışmalarında Fs ile oluşturulan tünellerin mekanik olanlar kadar etkili olduğunu bildirmişlerdir.³²

Sipahier ve ark., da keratokonuslu olgularda Fs lazer ile tünel açılarak kornea içi halka uygulamışlar ve yöntemin etkili ve güvenli olduğunu göstermişlerdir.³³

Glokom Cerrahisinde Fs Lazer Kullanımı

Liu ve ark., enükle edilmiş domuz gözlerinde fs lazer ile ön kamara açısına ablasyon uygulamışlar ve glokomun lazer ile tedavisinde fs lazerinde kullanım alanı bulabileceğini göstermişlerdir.³⁴ Yang ve ark., tavşanlarda fs lazer ile sklerostomi yapmışlar ve fs lazer ile sklerostominin glokom cerrahisinde etkili, güvenli ve uygulanabilir olabileceğini bildirmişlerdir.³⁵

Sonuç olarak femtosaniye lazer oftalmolojide gittikçe artan oranda kullanım alanı bulmaktadır. Amaç daha güvenli ve etkin girişimler yapmak ve hasta konforunu mümkün olduğunca artırmaktır. Fs lazer LASİK cerrahisinde mekanik keratomla flep oluşturulması, katarakt cerrahisinde kesilerden başlamak üzere özellikle kapsüloleksis yapılması ve kornea halkaları için tünel hazırlanması aşamasında yaşadığımız riskleri azaltmaktadır. Bununla beraber diğer katarakt ve keratoplasti gibi ön segment cerrahilerinde işlem süresini kısaltmakta ve daha hızlı ve iyi sonuçlar almamızı sağlamaktadır. Presbiyopi ve glokom tedavisi için ise umut vericidir.

KAYNAKLAR/REFERENCES

- Lubatschowski H, Maatz G, Heisterkamp A, et al.: Application of ultra short laser pulses for intrastromal refractive surgery. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2000;238:33-39.
- Soong HK, Malta JB.: Femtosecond lasers in ophthalmology. *Am J Ophthalmol.* 2009;147:189-197.
- Sugar A.: Ultrafast (femtosecond) laser refractive surgery. *Curr Opin Ophthalmol.* 2002;13:246-249.
- Lubatschowski H.: Overview of commercially available femtosecond lasers in refractive surgery. *J Refract Surg.* 2008;24:102-107.
- Heisterkamp A, Ripken T, Mamom T, et al.: Nonlinear side effects of fs-pulses inside corneal tissue during photodisruption. *Appl Phys B.* 2002;74:419-425.
- Noack J, Vogel A.: Laser-induced plasma formation in water at nanosecond to femtosecond time scales: calculation of thresholds, absorption coefficients, and energy density. *IEEE J Quantum Electron.* 1999;35:1156-1167.
- Vogel A, Noack J, Hüttman G, et al.: Mechanisms of femtosecond laser nanosurgery of cells and tissues. *Appl Phys B.* 2005;81:1015-1047.
- Solomom KD, Donnenfeld E, Sandoval HP.: Flap thickness accuracy: comparison of 6 microkeratome models. *J Cataract Refract Surg.* 2004;30:964-977.
- Holzer MP, Vargas LG, Sandoval HP, et al.: Corneal flap complications in refractive surgery. Part 1: development of an experimental animal model. *J Cataract Refract Surg.* 2003;29:795-802.
- Ambrósio R, Jr, Wilson SE.: Complications of laser in situ keratomileusis: etiology, prevention, and treatment. *J Refract Surg.* 2001;17:350-379.
- Stahl JE, Durrie DS, Schwendeman FJ, et al.: Anterior segment OCT analysis of thin IntraLase femtosecond flaps. *J Refract Surg.* 2007;23:555-558.
- Hamilton DR, Johnson RD, Lee N, et al.: Differences in the corneal biomechanical effects of surface ablation compared with laser in situ keratomileusis using a microkeratome or femtosecond laser. *J Cataract Refract Surg.* 2008;34:2049-2056.
- Küçümen RB, Yenerel NM, Görgün E, ve ark.: Femtosaniye lazer yardımıyla LASİK ameliyatından sonra korneanın biyomekanik özelliklerinde oluşan değişimlerin oküler cevap analizörü ile değerlendirilmesi. *Turk J. Ophthalmol.* 2009;39:250-255.
- Haft P, Yoo SH, Kymionis GD, et al: Complications of LASIK flaps made by the intraLase 15- and 30 kHz femtosecond lasers. *J Refract Surg.* 2009;25:979-984.
- Shah R, Shah S, Sengupta S.: Results of small incision lenticule extraction: All-in-one femtosecond laser refractive surgery. *J Cataract Refract Surg.* 2011;37:127-137.
- Blum M, Kunert KS, Engelbrecht C, et al.: Femtosecond lenticule extraction (FLEx)-Results after 12 months in myopic astigmatism. *Klin Monbl Augenheilkd.* 2010;227:961-965.
- Ripken T, Oberheide U, Fromm M, et al.: fs-Laser induced elasticity changes to improve presbyopic lens accommodation. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2008;246:897-906.
- Schumacher S, Oberheide U, Fromm M, et al.: Femtosecond laser induced flexibility change of human donor lenses. *Vision Res.* 2009;49:1853-1859.
- Holzer MP, Mannsfeld A, Ehmer A, et al.: Early outcomes of INTRACOR femtosecond laser treatment for presbyopia. *J Refract Surg.* 2009;25:855-861.
- Steinert RF, Ignacio TS, Sarayba MA.: "Top hat"-shaped penetrating keratoplasty using the femtosecond laser. *Am J Ophthalmol.* 2007;143:689-691.
- Busin M.: A new lamellar wound configuration for penetrating keratoplasty surgery. *Arch Ophthalmol.* 2003;121:260-265.
- Shousha MA, Yoo SH, Kymionis GD, et al.: Long-term results of femtosecond laser-assisted sutureless anterior lamellar keratoplasty. *Ophthalmology.* 2011;118:315-323.
- Buzzoneff L, Laborante A, Petrocelli G.: Standardized big-bubble technique in deep anterior lamellar keratoplasty assisted by the femtosecond laser. *J Cataract Refract Surg.* 2010;36:1631-1636.
- Chamberlain W, Cabezas M.: Femtosecond-assisted deep anterior lamellar keratoplasty using big-bubble technique in a cornea with 16 radial keratotomy incisions. *Cornea.* 2011;30:233-236.
- Kook D, Bühren J, Klaproth OK, et al.: Astigmatic keratotomy with the femtosecond laser: correction of high astigmatism after keratoplasty. *Ophthalmologie.* 2011;108:143-150.
- Hoffart L, Proust H, Matonti F, et al.: Correction of postkeratoplasty astigmatism by femtosecond laser compared with mechanized astigmatic keratotomy. *Am J Ophthalmol.* 2009;147:779-787.
- Abbey A, Ide T, Kymionis GD, et al.: Femtosecond laser-assisted astigmatic keratotomy in naturally occurring high astigmatism. *Br J Ophthalmol.* 2009;93:1566-1569.
- Dick HB, Elling M, Willert A.: Femtosecond laser in ophthalmology. *Medical laser application* 2010;25:258-261.
- Nagy Z, Takacs A, Filkorin T, et al.: Initial clinical evaluation of an intraocular femtosecond laser in cataract surgery. *J Refract Surg.* 2009;25:1053-1060.
- Masket S, Sarayba M, Ignacio T, et al.: Femtosecond laser-assisted cataract incisions: architectural stability and reproducibility. *J Cataract Refract Surg.* 2010;36:1048-1049.
- Piñero DP, Alio JL, El Kady B, et al.: Refractive and aberrometric outcomes of intracorneal ring segments for keratoconus: mechanical versus femtosecond-assisted procedures. *Ophthalmology.* 2009;116:1675-1687.
- Carrasquillo KG, Rand J, Talamo JH.: Intacs for keratoconus and post-LASIK ectasia: mechanical versus femtosecond laser-assisted channel creation. *Cornea.* 2007;26:956-962.
- Sipahier A, Eroğlu F, Yeniad B, ve ark.: Keratokonusta kerating implantasyonu sonuçlarımız. *Turk J Ophthalmol.* 2009;39:361-365.
- Liu Y, Nakamura H, Witt TE, et al.: Femtosecond laser photodisruption of porcine anterior chamber angle: an ex vivo study. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging.* 2008;39:485-490.
- Yang XB, Dai NL, Long H, et al.: Preliminary study of femtosecond laser sclerostomy ab externo in a rabbit model of chronic ocular hypertension. *Zhonghua Yan Ke Za Zhi.* 2010;46:635-640.