

각막에 의한 수정체전낭절개의 확대효과

성윤미¹ · 주천기¹ · 황호식²

가톨릭대학교 의과대학 서울성모병원 안과 및 시과학교실¹, 한림대학교 의과대학 춘천성심병원 안과학교실²

목적: 백내장 수술 중 수정체전낭절개를 위해 전방에 삽입한 ORGC (open ring guided capsulorhexis)를 이용하여 각막에 의한 수정체 전낭절개의 확대율을 측정하고 전방깊이와 각막굴절력에 따라 어떻게 변하는지 밝히고자 한다.

대상과 방법: 2011년 12월부터 2012년 4월까지 ORGC를 이용하여 수정체전낭절개술을 시행한 환자 중 각막난시가 0.25 D 이하인 37명 40안을 대상으로 하였다. ORGC를 수정체 전낭 위에 올려놓고, 각막의 윤부에 자를 놓은 후 수술용 현미경에 연결된 카메라로 영상을 얻었다. ImageJ로 자 5 mm와 ORGC 내경의 pixel 수를 측정하였다. 실제 ORGC의 내경이 5.30 mm인 정보를 이용하여 비례식으로 확대율을 구하였다. 전방 깊이 및 각막굴절력을 조사하여 그에 따른 확대율의 변화를 알아보았다.

결과: 연구에 포함된 37명은 남자 19명, 여자 21명이었으며 평균 나이는 64.8세였다. 전방깊이는 평균 3.28 mm였으며 각막굴절력은 평균 43,534 diopters였다. 이 환자들에서 측정된 ORGC 내경은 평균 6.14 mm (표준편차 0.16 mm)였으며 확대율은 평균 115.9% (표준편차 3.1%)였다. 전방깊이가 깊고 각막굴절력이 큰 경우가 전방깊이가 얇고 각막굴절력이 작은 경우보다 확대율이 크게 나타났다.

결론: 백내장 수술에서 수정체전낭절개의 크기는 각막에 의해 평균 115.9%로 확대되었다. 특히 전방이 깊고 각막굴절력이 클 때에는 확대율이 더욱 크므로 수정체전낭절개 시 고려해야 한다.

〈대한안과학회지 2014;55(3):374-378〉

현대적인 백내장 초음파 유화술에서 연속원형전낭절개 (continuous curvilinear capsulorhexis)는 가장 중요한 단계 중 하나이다. 특히 연속원형전낭절개의 크기는 수정체낭 내에 삽입된 인공수정체의 안정성(stability)과 밀접한 관계를 가지므로 매우 중요하다. 직경이 너무 작다면 수정체 초음파 유화술 및 인공수정체 삽입에 어려움이 있고 술 후 심한 수정체 전낭수축으로 시력의 저하를 가져올 수 있다.¹ 직경이 너무 크다면 초음파 유화술 중 핵을 다루기는 편리하지만 삽입한 인공수정체의 광학부 일부가 술 후에 탈출하는 합병증이 생길 수 있다. 그래서 일반적으로는 수정체 전낭의 가장자리가 인공수정체의 광학부를 조금 덮는 정도의 크기(약 5.5 mm)가 이상적이라고 한다. 하지만 원하는 크기의 전낭절개를 만드는 것은 어려운 과정이다. 일반적으로 산동된 동공이나 각막윤부를 기준으로 어림잡아 크기를 결정하기 때문이다.

이를 보완하기 위해서 직경이 알려진 각막 마커(corneal marker)로 각막 표면에 원을 표시한 후 그 원을 따라 수정

체전낭절개술을 하는 경우가 있다.² 그러나 이는 각막에 의한 상의 확대효과를 반영하지 못한다는 단점을 가진다. 각막은 곡률반경이 7.0-8.5 mm로 전방수에 의하여 볼록렌즈의 역할을 하고 있다. 만일 각막 마커를 따라서 수정체전낭절개를 한다면 계획한 것보다 작은 크기의 수정체전낭절개가 만들어질 것이다(Fig. 1). 또한 각막에 의한 확대율은 각막굴절력과 관련되어 있을 것이며 각막이라는 볼록렌즈와 수정체전낭절개의 거리인 전방깊이와 관계를 가질 것이다.

최근에 주천기등은 정확한 원형전낭절개를 위해서 ORGC

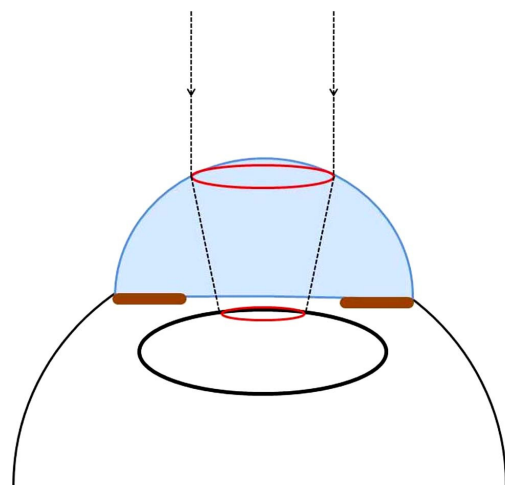


Figure 1. Diagram of magnification effect of cornea.

■ Received: 2013. 8. 16. ■ Revised: 2013. 9. 17.
■ Accepted: 2014. 1. 29.
■ Address reprint requests to Ho Sik Hwang, MD
Department of Ophthalmology, Chuncheon Sacred Heart's
Hospital, #77 Sakju-ro, Chuncheon 200-704, Korea
Tel: 82-33-240-5479, Fax: 82-33-240-8063
E-mail: huanghs@daum.net

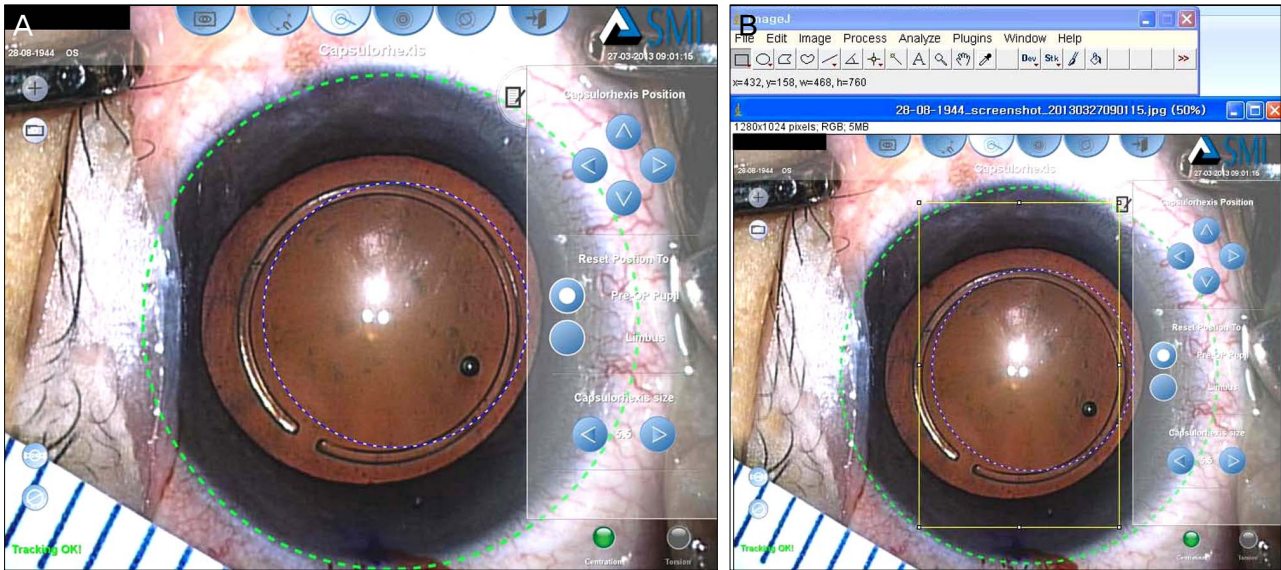


Figure 2. Measurement of magnification effect. (A) An ORGC (open ring guide caliper) in an anterior chamber, (B) Measurement of inner diameter of an ORGC by ImageJ.

(open ring guided capsulorhexis)라는 것을 개발하여 사용하고 있다. 이 ORGC의 내경은 5.30 mm로 이미 정해져 있기 때문에 이를 이용하면 각막에 의하여 수정체전낭절개의 직경이 어느 정도 확대되어 보이는지를 알 수 있다.

본 연구에서는 수정체전낭위에 삽입된 ORGC의 영상을 이용하여 수정체전낭절개의 예상 확대율을 계산하고 이러한 확대율이 각막굴절력과 전방깊이와 어떤 관계가 있는지를 알아보려고 한다.

대상과 방법

본 연구는 2011년 12월부터 2012년 4월까지 서울성모 병원에서 백내장 수술 중 ORGC를 이용하여 수정체전낭절개를 시행한 37명 40안을 대상으로 하였다. 서울성모 병원 IRB (Institutional Review Board, KC12DISE0320)를 통과하였으며 헬싱키 선언을 준수하였다. 각막난시가 0.25 diopters 이하인 환자만 연구에 포함시켜 각막난시에 의한 효과를 최소화하였다.

ORGC의 확대율은 다음과 같은 방법으로 측정하였다. 수정체전낭절개를 위해 ORGC를 전방에 삽입한 후 수술용 자를 각막윤부에 위치시킨 다음 수술영상을 사진으로 저장하였다(Fig. 2). ImageJ (Wayne Rasband National Institutes of Health, USA)를 이용하여 사진에 나온 자의 5 mm의 픽셀 수를 측정하고(A), ORGC 내경의 픽셀 수를 측정하였다(B). 이때 ORGC의 내경은 수술영상에서 가로축에 평행한 지름의 내경을 측정하였으며 ImageJ의 사각형 도구를 이용하여 정확히 측정하였다. 그러면 확대된 ORGC 내경 r

Table 1. Demographics and magnification effect by cornea

Sex (Male:Female)	21:19	
	Mean	Standard deviation
Age (years)	64.8	8.0
Anterior chamber depth (mm)	3.28	0.46
Mean corneal power (diopters)	43.53	1.57
Measured inner diameter (mm)	6.14	0.16
Magnification (%)	115.9	3.1

은 $5 \text{ mm} : A = r : B$, $r = 5 \text{ mm} \times B/A$ 이며 내경의 확대율은 $r/5.3 \text{ mm} = 5 \text{ mm} \times B/A / 5.3 \text{ mm} = 5 \times B/(5.3 \times A)$ 가 된다. 37명에 40안에 대해서 확대된 ORGC 내경의 크기, 확대율의 평균 및 표준편차를 구하였다.

각막굴절력 및 전방깊이에 따른 확대율을 표시하기 위해서 Origin 6.0 (Microcal Inc., Northhampton, MA) 프로그램을 이용하여 2차원 contour를 그렸다. 가로축은 전방깊이, 세로축은 각막굴절력으로 하였으며 확대율은 색깔로 표시하였다. 각막굴절력은 자동 굴절 검사기 CT-80 (Topcon, Tokyo, Japan)로 측정한 평균각막굴절력을 이용하였으며 전방깊이는 IOL master (Carl Zeiss Meditec, Jena, Germany) 값을 이용하였다.

결 과

Table 1은 연구에 포함된 37명의 demographics이다. 남자 19명, 여자 21명이었으며 평균 나이는 64.8세였다. 전방깊이는 평균 3.28 mm였으며 각막굴절력은 평균 43.53 diopters였다. 이 환자들에서 측정된 ORGC 내경은 평균 6.14 mm

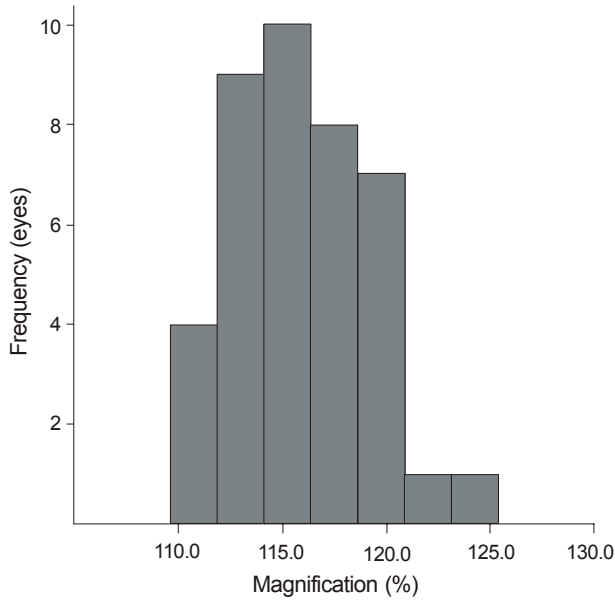


Figure 3. Histogram of magnification by cornea.

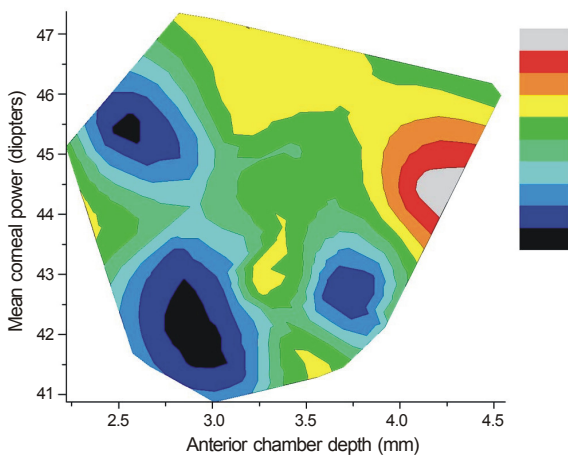


Figure 4. 2 dimensional (anterior chamber depth and corneal power) contour graph of magnification.

(표준편차 0.16 mm)였으며 확대율은 평균 115.9% (표준편차 3.1%)였다(Fig. 3).

피험자들에 대해서 전방깊이와 각막굴절력에 따른 확대율을 구하였다(Fig. 4). 전방깊이가 얇고 각막굴절력이 작은 경우는 확대율이 110% 정도로 적었다. 전방깊이가 깊고 각막굴절력이 큰 경우는 확대율이 120% 정도로 컸다. 전방깊이가 얇고 각막굴절력이 작은 경우를 기준으로 전방이 깊어짐에 따라 확대율이 증가했다가 다시 감소하고 다시 증가하는 모습을 보였다. 또한 전방깊이가 얇고 각막굴절력이 작은 경우를 기준으로 각막굴절력이 증가할수록 확대율이 증가했다가 다시 감소하고 다시 증가하는 양상을 보였다.

Fig. 5는 실제로 ORGC로 수정체전낭절개를 한 환자이다. 72세 여자환자로 전방깊이는 2.86 mm, 평균각막굴절

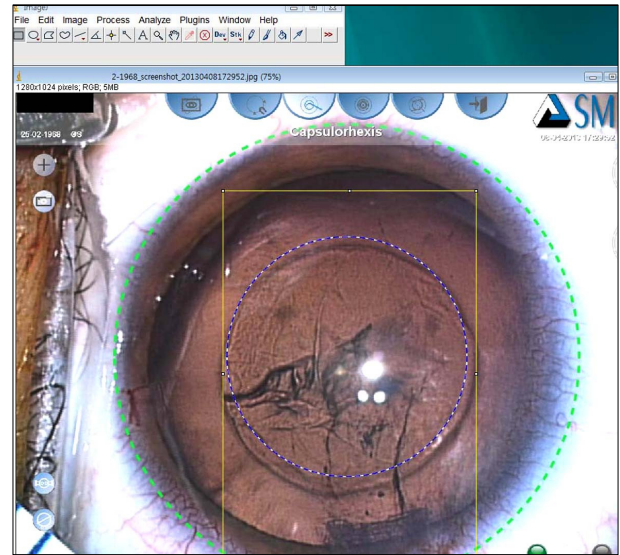


Figure 5. Measurement of capsulorhexis diameter.

력은 43.875 diopters였다. 각막에 의한 ORGC 내경의 확대율은 115.3%였다. 현미경의 배율 조절없이 ORGC를 이용하여 수정체전낭절개를 하였다. ORGC를 제거 후 촬영한 수정체전낭절개의 직경은 6.47 mm로 측정되었다. 115.3%의 확대율을 거꾸로 적용하면 수정체전낭절개의 실제크기는 5.61 mm로 계산되었다.

고 찰

본 연구에서는 백내장 수술 환자에서 전방에 삽입된 ORGC를 이용하여 각막에 의한 수정체전낭절개의 확대율을 측정하였다. Waltz and Rubin³은 각막이 수정체전낭의 크기를 약 1.15배 확대시킨다고 편집자에게 보내는 편지에서 밝힌 바 있으나 근거를 제시하지는 않았다. 본 연구에서의 평균 확대율은 1.159배로 유사한 결과를 보여주었다. 그러나 전방깊이와 각막굴절력에 따른 확대율을 조사한 연구는 본 연구가 유일하다.

본 연구에서는 각막난시가 0.25 diopter 이하인 경우만 연구에 포함시켰다. 각막난시가 있는 경우에는 측정하는 경선(meridian)에 따라 ORGC 내경의 확대율이 다를 것이므로 이러한 효과를 제거하고 확대율을 측정할 수 있었다.

ORGC에서의 내경을 정확하게 측정하는 것은 생각보다 어려운 과정이다. 원의 중심이 표시되어 있지 않기 때문에 실제 내경보다 더 작은 길이를 측정할 수 있다. 본 연구에서는 ImageJ의 '사각형 도구'를 이용하여 ORGC의 내경에 접하는 사각형을 만들고 사각형의 폭을 측정하였다. 이러한 방법으로 일관되고 정확하게 ORGC의 내경을 측정할 수 있었다.

2차원 contour graph에서 단순하게 전방깊이가 깊고 각막굴절력이 큰 경우 확대율이 크고 전방깊이가 얇고 각막굴절력이 작은 경우 확대율이 작은 것이 아니라 좀더 복잡하고 특이한 형태를 보였다. 전방깊이가 얇고 각막굴절력이 작은 경우를 기준으로 전방이 깊어짐에 따라 확대율이 증가했다가 다시 감소하고 다시 증가하는 모습을 보였다. 또한 전방깊이가 얇고 각막굴절력이 작은 경우를 기준으로 각막굴절력이 증가할수록 확대율이 증가했다가 다시 감소하고 다시 증가하는 양상을 보였다. 그러나 그 원인은 본 연구에서는 알 수 없었다. 확대율은 렌즈의 공식($1/a+1/b=1/f$)을 이용하여 이론적으로 만들어 볼 수 있다. 그러나 전방깊이는 중심부의 깊이이고 수정체전낭절개는 주변부에 위치하므로 단순한 계산으로는 어려울 것이다.

본 연구에서 수정체전낭절개의 크기를 직접 측정하지는 않았다. 대신에 내경이 알려진 ORGC를 전방에 삽입한 후 ORGC 내경의 확대율을 측정하였다. ORGC의 내경과 수정체전낭절개가 중심의 위치나 직경이 거의 유사하므로 확대율도 유사할 것으로 생각된다.

본 연구의 임상적 의미는 다음과 같다. 첫째, 펌토초 레이저 백내장 수술 시스템에 활용될 수 있다. 최근에 미국을 중심으로 펌토초 레이저를 이용한 백내장 수술이 많은 관심을 받으며 사용되고 있다.⁴⁻⁷ 펌토초 레이저 시스템에서는 수정체전낭절개의 모양과 위치뿐 아니라 직경을 인위적으로 결정할 수 있다.^{8,9} 만일 각막에 의한 확대율을 고려하지 않는다면 15.9%의 커다란 오차를 가져올 것이다. 하지만 펌토초 레이저 시스템에서는 각막에 직접 접촉하는 Patient Interface를 사용하기 때문에 각막에 의한 수정체전낭절개 크기의 변화는 미미할 것이다.

둘째, 수정체전낭절개를 위한 각막 마커 사용에 응용할 수 있다. 각막에 의한 상의 확대 때문에 정확히 마커를 따라 수정체전낭절개를 했다면 실제의 수정체전낭절개는 보다 작게 되었을 것이다. 예를 들어 직경 5.5 mm의 각막 마커를 이용했다면 $5.5 \text{ mm}/1.159 = 4.75 \text{ mm}$ 의 수정체전낭절개를 하게 된다. 마커를 이용하려면 이를 고려하여 원하

는 size의 1.159배의 크기를 이용해야 한다. 만일 5.5 mm로 하고 싶다면 $5.5 \text{ mm} \times 1.159 = 6.37 \text{ mm}$ 의 마커를 이용해야 할 것이다.

셋째, 기존의 수정체전낭절개에 활용할 수 있다. 본 연구에서 전방의 깊이가 크고 각막굴절력이 큰 경우 확대율이 더 큰 것으로 나왔다. 전방이 깊고 각막굴절력이 큰 경우에는 각막에 의한 확대가 클 것이라고 예상하며 수정체전낭절개를 해야 할 것이다. 또는 더 임상자료를 모아서 전방깊이별 그리고 각막굴절력별 확대율의 표(nomogram)를 만든다면 확대율을 예상하고 수술에 임할 수 있다.

백내장 수술 환자에서 전방에 삽입된 ORGC를 이용하여 각막에 의한 수정체전낭절개의 확대율을 측정한 본 연구가 임상이나 이후의 연구에 도움이 되길 기대한다.

REFERENCES

- 1) Kim EC, Hwang HS, Kim MS. Anterior capsular phimosis occluding the capsulorhexis opening after cataract surgery in a diabetic patient with high hemoglobin A1C. *Semin Ophthalmol* 2013; 28:68-71.
- 2) Wallace RB 3rd. Capsulotomy diameter mark. *J Cataract Refract Surg* 2003;29:1866-8.
- 3) Waltz KL, Rubin ML. Capsulorhexis and corneal magnification. *Arch Ophthalmol* 1992;110:170.
- 4) Bali SJ, Hodge C, Lawless M, et al. Early experience with the femtosecond laser for cataract surgery. *Ophthalmology* 2012;119:891-9.
- 5) He L, Sheehy K, Culbertson W. Femtosecond laser-assisted cataract surgery. *Curr Opin Ophthalmol* 2011;22:43-52.
- 6) Nagy Z, Takacs A, Filkorn T, Sarayba M. Initial clinical evaluation of an intraocular femtosecond laser in cataract surgery. *J Refract Surg* 2009;25:1053-60.
- 7) Palanker DV, Blumenkranz MS, Andersen D, et al. Femtosecond laser-assisted cataract surgery with integrated optical coherence tomography. *Sci Transl Med* 2010;2:58ra85.
- 8) Friedman NJ, Palanker DV, Schuele G, et al. Femtosecond laser capsulotomy. *J Cataract Refract Surg* 2011;37:1189-98.
- 9) Nagy ZZ, Kránitz K, Takacs AI, et al. Comparison of intraocular lens decentration parameters after femtosecond and manual capsulotomies. *J Refract Surg* 2011;27:564-9.

=ABSTRACT=

Magnification Effect of the Capsulorhexis by the Cornea

Yoon Mi Sung, MD¹, Choun Ki Joo, MD¹, Ho Sik Hwang, MD²

Department of Ophthalmology and Visual Science, Seoul St. Mary's Hospital, The Catholic University of Korea College of Medicine¹, Seoul, Korea

Department of Ophthalmology, Chuncheon Sacred Heart's Hospital, Hallym University College of Medicine², Chuncheon, Korea

Purpose: The purpose of this study is to measure the magnification of the capsulorhexis by the cornea using open ring guided capsulorhexis (ORGC) during cataract surgery. The study also investigated the magnification changes according to anterior chamber depth and corneal power.

Methods: The subjects comprised 40 eyes from 37 patients whose astigmatism was lower than 0.25 D and who had cataract surgery using ORGC from December 2011 to April 2012. ORGC was set on the anterior capsule and photographs were obtained using a camera connected to a surgical microscope after attaching a ruler around the limbus. The pixel number of 5 mm gradations on a ruler and the inner diameter of ORGC were measured using ImageJ. The inner diameter of ORGC was known to be 5.30 mm and the size of ORGC in the snapshot was therefore calculated by proportional expression. After corneal power and anterior chamber depth were identified, the magnification effect was evaluated.

Results: The 37 subjects were composed of 19 males and 21 females, and their average age was 64.8 years. The average depth of the anterior chamber was 3.28 mm, and the average corneal power was 43.534 D. The measured inner diameter of ORGC was 6.14 mm (SD: ± 0.16 mm) and the average magnification of the capsulorhexis was 115.9% (SD: $\pm 3.1\%$). The results showed that in the case of shallow anterior depth and low corneal power, the magnification was low equivalent to 110%. However, when the anterior chamber was deep and the corneal power was high, the magnification was greatly increased to 120%.

Conclusions: The capsulorhexis was magnified to an average of 115.9% by the cornea during cataract surgery. In particular, it is necessary to consider capsulorhexis size in cases with deep anterior chamber and high corneal power, because the magnification will be greater in those cases.

J Korean Ophthalmol Soc 2014;55(3):374-378

Key Words: Capsulorhexis, Cornea, Magnification

Address reprint requests to **Ho Sik Hwang, MD**

Department of Ophthalmology, Chuncheon Sacred Heart's Hospital

#77 Sakju-ro, Chuncheon 200-704, Korea

Tel: 82-33-240-5479, Fax: 82-33-240-8063, E-mail: huanghs@daum.net