

# 角膜屈光术后人工晶体度数的计算

角膜屈光手术如放射状角膜切开术 (RK)、准分子角膜切削术 (PRK)、激光角膜原位磨镶术 (LASIK)、激光角膜热成形术 (LTK) 在矫正屈光不正方面取得良好效果。但是随着时间的推移, 该类患者中发生白内障的数量将愈来愈多, 从我们的临床实践和相关文献报道, 常规人工晶体计算方法造成 IOL 度数不足, 白内障术后有不同程度的远视, 影响病人的生活质量。本文主要从角膜生物物理行为的改变, 角膜屈光度的计算, 眼轴的测量, 计算公式的选择几方面讨论它们对该类手术的影响。

## 一、角膜生物物理行为的改变

放射状角膜切开术 (RK) 是通过角膜放射状切口使角膜中央区变得扁平, 从而矫正屈光不正, 其切口较深, 中央光学区在 3 至 4 毫米左右。<sup>1</sup> Koch 报告四例 RK 术后的白内障患者行白内障摘除术并人工晶体植入术后, 发生短期远视漂移, 高达+6D, 可能是因为放射状切口的机械不稳定性和角膜水肿所致, 这些变化是可逆的, 几周内随角膜水肿的减退, 视力逐渐提高; 同时视力也有昼夜波动。<sup>12</sup> 但是对于 PRK/LASIK 术后白内障的病人来说, 植入按常规方法计算得出的人工晶体, 术后角膜保持稳定的状态, 将造成持续的远视状态。<sup>22</sup>

## 二、角膜屈光度的计算

### 1. 正常角膜屈光度的测量

角膜曲率计及角膜地形图是通过测量光线投射到角膜表面的反射像的大小, 计算出该点角膜曲率, 再转换为屈光度, 可表达为:

$$P=N-1/R \quad (1)$$

其中, P 为角膜屈光度, N 为屈光指数, R 为该点所在曲面的半径。

100 年前, Javal 光学系统假想中央区角膜为近视球面, 或者为一球柱面, 通过测量值近似地将角膜前表面曲率半径定为 7.5 毫米, 并且相当于 45D 屈光度。<sup>2</sup> 由公式 (1) 计算出:

$$45= N-1/0.0075$$

$$N=1.3375$$

对于每一个所测定的角膜曲率 R 相对应的屈光度为:

$$P=0.3375/R \quad (2)$$

公式 (2) 的缺陷在于未能够充分考虑空气—泪膜界面, 泪膜—角膜界面, 角膜—房水界面, 角膜厚度的作用 (如图 1-B)。根据 Gobbi, 泪膜角膜界面屈光度+5.20D, 可被角膜房水界面的屈光度-5.88D 所大致抵消。<sup>5</sup> 因此光学上, 角膜屈光度计算应该以下公式为基础 (如图 1-A):

$$P= (N_2-N_1)/R_1+ (N_3-N_2)/R_2 \quad (3)$$

即 Gullstrand 简化眼模型,  $R_1=7.7$  毫米,  $R_2=6.8$  毫米, 角膜厚度当量为  $0.1D$ ,  $P=43.05D$ , 得出

$$N=1.331485$$

由公式 (3) 知道角膜屈光度由角膜前表面曲率、后表面曲率、界面等共同决定。目前仅能测量角膜前表面的曲率半径, 将相应的校正值  $N$  带入公式 (1) 来计算角膜屈光度<sup>2,3</sup>。由于采用不同的理论模型和校正方法, 目前有多个不同的校正值  $N$ , 如 Helmholtz (1962) 1.336, Binkhorst (1979) 1.333, Oalen(1986)1.3375, Holladay (1988)  $4/3$ 。IOL Master (Zeiss) 仪器采用多个  $N$  值, 可以根据被检查者的不同挑选其中之一。

目前测量角膜屈光度的方法很多。手动角膜曲率计假定角膜为球柱面, 测量距角膜中央 3-4 毫米垂直相交的四点曲率度数。它只能测量小范围角膜, 角膜越陡测量范围越小; 无法测量每一点的屈光水平; 极平或者极陡时失去其准确性。即使测量者看到不规则情况, 仅能认为结果不可靠。<sup>3</sup> 自动角膜曲率计选择中央 2.6 毫米为目标, 它比手动角膜曲率计更稳定<sup>7</sup>。而且其对 RK 患者更为实用, 因为其测量范围在放射线切开口以内, 不受术后“膝盖”作用影响。角膜地形图测量角膜超过 5000 点, 中央区 3 毫米超过 1000 点, 能够全面反映角膜情况; 对角膜不规则散光更准确, 屈光角膜手术后角膜在各点的屈光力均发生变化, 角膜地形图更能够全面反映角膜的情况。<sup>8</sup>Maeda 和 Klyce 主张用平均中央去屈光度 (ACP) 来计算, 但是也仅对 RK 患者有优势<sup>9</sup>。

最新 Obscan 全角膜裂隙扫描地形图能够通过双光束扫描几千点, 中央区 5 毫米相互叠加, 三维重建角膜前表面, 能够全面反映角膜的实际情况, 同时它有可能测量角膜后曲率半径的潜能<sup>10</sup>, 其应用价值还需进一步证实。

## 2. 角膜屈光手术后角膜屈光度的计算

目前所有仪器对人眼角膜曲率的测量值均建立在模型眼上, 其前后面曲率比值与模型眼一致 (图 1-A)。IOL 的计算也是建立在眼球各部分比例与模型眼相似上。

屈光手术中, RK 和 LTK 没有去除角膜组织, 手术前后角膜前后表面变化相似, 传统的计算方法对其仍适用 (如图 1-C),  $N$  值用 1.3375 为优。<sup>11,12</sup> 当角膜光学区小于 3 毫米时, 由于术后角膜的“膝盖”作用, 投射环部分位于角膜中央光学区外, 将旁中央区计算在内, 存在系统误差。RK 放射状切口愈多, 切口愈长愈深, 中央区越小, 误差的可能性和幅度愈大。此时采用角膜地形图的测量值可能更能够全面反映角膜情况。当角膜光学区大于 4 毫米时, 投射环位于该范围内, 不同的方法得出的值的误差相对较小。

对于 PRK 和 LASIK 术后患者来说, 由于手术中去除部分角膜组织, 使前表面变平, 而后表面基本没有变化, 前后面曲率比例已不同与模型眼 (如图 1-D)。<sup>13</sup> 前表面不再是球柱面, 各条纬线不再是向心性, 传统计算方法, 无论是角膜曲率计还是角膜地形图, 已不再适用。也有报告指出激光术后角膜曲率测量值的变化与主观显然验光变化不一致。<sup>14</sup> 其中角膜

曲率计测量值又小于角膜地形图测量值。低估角膜曲率值在 10%—30%之间。最大绝对值 3.3D (83%)。<sup>14</sup>

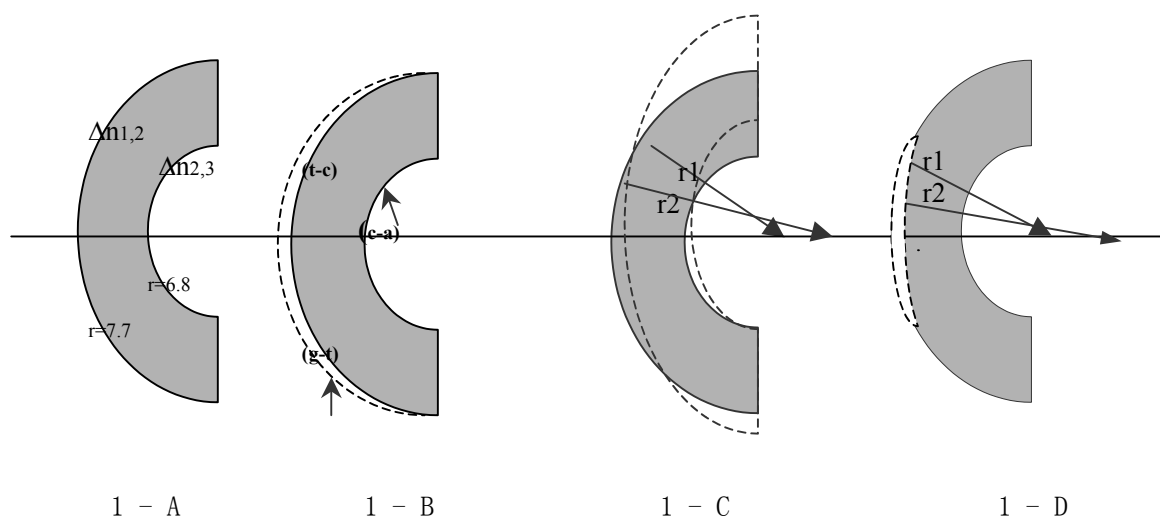
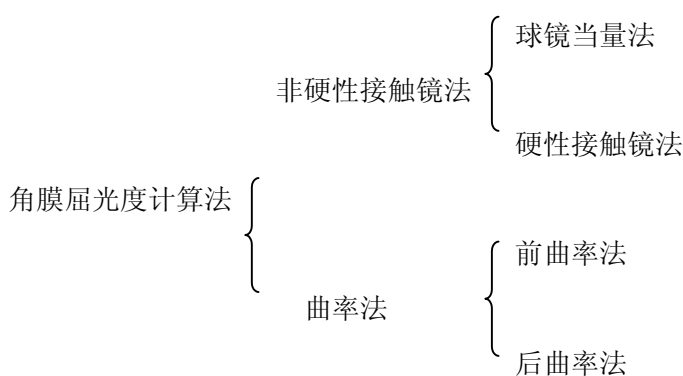


图 1 图解各类模型眼。1-A, Gullstrand 模型眼, 前表面半径 7.7 毫米, 后表面半径 6.8 毫米,  $\Delta n_{1,2}=0.376$ ,  $\Delta n_{2,3} = -0.04$ ; <sup>7</sup>1-B, Gobbi 模型眼, 注意空气-泪膜界面 (g-t), 泪膜-角膜界面 (t-c), 角膜-房水界面 (c-a); <sup>5</sup>1-C, RK, LTK 术后角膜的变化, 由于没有组织去除, 前后界面变化一致; <sup>13</sup>1-D, PRK, LASIK 术后角膜的变化, 尽管前表面中央区变平, 后表面基本没有变化。<sup>16</sup>

因此不少人提出屈光手术后有效角膜屈光度计算方法。归纳起来可行的有以下几种:



(1) 非硬性接触镜法<sup>16</sup>

Guyton 和 Halladay 于 1989 年提出, 也叫临床病史法。它要求患者提供屈光手术前角膜曲率 ( $MK_{PRE}$ ), 验光结果和手术后屈光稳定时的验光结果。患者白内障形成后验光的结果已不可靠, 不能真正反应其屈光度。

$$MK_{POST} = MK_{PRE} - \Delta SEQ_{SP/CO}$$

$MK_{POST}$  表示屈光手术后角膜屈光度。

$MK_{PRE}$  表示屈光手术前角膜屈光度，即测量值。

$\Delta SEQ_{SP/CO}$  表示球镜当量变化。

$\Delta SEQ_{SP}$  表示镜架验光当量，镜片距角膜顶点 14 毫米。

$\Delta SEQ_{CO}$  表示角膜顶点验光当量。

SEQ 和  $\Delta SEQ_{CO}$  与  $\Delta SEQ_{SP}$  的换算关系如下：

$$SEQ = \text{球镜} - (0.5 \times \text{柱镜})$$

$$\Delta SEQ_{CO} = \Delta SEQ_{SP} / [1 - (0.014 \times \Delta SEQ_{SP})]$$

我们可以根据不同的情况选择  $\Delta SEQ_{SP} / \Delta SEQ_{CO}$ ，但是用后者计算出  $MK_{POST}$  的的值要比前者大。

### (2) 硬性接触镜法<sup>23</sup>

Holladay 和 Hoffer 先后提出 RK、PRK、LASIK 术后用此法计算角膜屈光度。它用已知基弧度数的硬性接触镜过矫患者，用所得的验光结果来计算角膜屈光度。不需要患者术前的任何资料。

$$MK_{POST} = BC_{HCL} + \Delta SEQ$$

$BC_{HCL}$  表示硬性接触镜的基弧度数

$$\Delta SEQ = SEQ_{SP} - SEQ_{SP-HCL}$$

$SEQ_{SP-HCL}$  表示戴硬性接触镜后的屈光当量

尽管 Zeh 和 Koch 认为此法较其它方法有同样的预测值<sup>17</sup>，此法已受到质疑，有人提出不适合 PRK、LASIK，即对 RK 术后患者的实用性也有限。因为它要求患者能够通过校正获得足够的视力，可靠的验光结果。但是对白内障患者来说已不可能，无法得到实用可靠的验光结果，除非在白内障发生前按上述方法计算出  $MK_{POST}$ 。

### (3) 前曲率法<sup>18</sup>

此法仅需要手术前后角膜屈光状态值就可以算出角膜屈光术后角膜的实际屈光度。但是不同的仪器有不同的 N 值。如 Zeiss 用 1.3313，TMS-1 用 1.3375 等。

$$MK_{POST} = MK_{PRE} - \Delta P$$

$P = P_M [ (1.376 - 1.000) / (N - 1.000) ]$ ，如果 N 为 1.3313，则  $P = P_M \times 1.135$

$$\Delta P = P_{PRE} - P_{POST} = [P_{M-PRE} - P_{M-POST}] \times [ (1.376 - 1.000) / (N - 1.000) ]$$

$P_M$  为实际测量值。

$P_{PRE}$ 、 $P_{POST}$  分别为术前术后角膜屈光度的计算值。

$P_{M-PRE}$  为屈光术前测量值。

$P_{M-POST}$  屈光为术后测量值。

Mandell 根据计算认为屈光术后角膜实际屈光度角测量值小 10%左右，有下面算法：<sup>20</sup>

$$MK_{POST} = P_M \times 1.114$$

此法将比例固定在 1.114，但是有报告指出角膜屈光度在屈光手术前后的差异在 10%—30%之间，显然这种方法没有反应出这样的一种变化。

#### (4) 后曲率法<sup>20</sup>

本方法主要是通过术后角膜前表面曲率实际测量值来计算前表面角膜屈光度，然后加上后角膜屈光度( $P_{POST}$ )。后角膜屈光度有二种方法获得：1、经验值法 加上二个经验平均值。一是-5.9D；是根据 Gullstrand 模型眼得出的角膜后表面屈光度值；二是-6.2D，是根据角膜裂隙扫描镜得出的后表面曲率数值。后表面曲率值在个体之间有较大差异，约在-2.1D 到-8.5D 之间，因此将平均值加到每一个病人之中有失偏颇。2、角膜后屈光度实测值法。用 Drtek 公司开发的 Orbscan 角膜裂隙扫描地形图可获得后表面角膜曲率值，但是其实际应用价值尚待进一步验证。<sup>23</sup>具体算法如下：

$$MK_{POST} = P_{ANT} + P_{POST}$$

$P_{ANT}$  表示术后角膜前表面屈光度。它的计算方法有二：

$$P_{ANT} = P_M \left[ (1.376 - 1.000) / (N - 1.000) \right]$$

或者，

$$P_{ANT} = P_M \left[ (1.376 - 1.000) \times (1/MDR + 1/MFR) \right] / 2$$

其中,MDR 最陡子午线半径, MFR 最平子午线半径

以上这几种方法中，有的要求要有术前角膜和屈光的情况，要求患者在白内障发生前有稳定的屈光水平及相关的记载，如(1)，(3)法，这就要求现在的屈光手术中心除保存病人资料外，还需给病人建立小卡片，注明角膜曲率，术前术后稳定后的屈光状态。利于病人在各种情况下仍能够得到相关资料，同时解决病人屈光手术和白内障手术不在同一医院完成所带来的不必要的麻烦。

### 三、眼轴的测量

眼轴的测量是 IOL 计算不准确的又一因素。尽管有人提出眼轴的测量不会影响此类白内障人工晶体的计算，<sup>20</sup>但角膜削去 100-200 微米左右，眼轴不仅缩短，而且影响了眼前节各部分的比例，是会有误差的。<sup>21</sup>对于不同屈光状态的患者，同样的测量值也造成不同程度的 IOL 误差，如表 1 所示。<sup>23</sup>

表一 眼轴误差所致的 IOL 预测误差

屈光不正	眼 轴	IOL 预测误差值
------	-----	-----------

近视	30 毫米	1. 75D/毫米
正视	23. 5 毫米	2. 35D/毫米
远视	20 毫米	3. 75D/毫米

屈光手术的病人多数是近视眼，高度近视偏多。对高度近视患者，眼轴大于 27 毫米，有晶体眼的超声速度与无晶体眼的超声速度一致，为 1532 米/秒，故最好采用 1532 米/秒参数或者换算为 1532 米/秒值。<sup>24</sup>

$$ALU = AL1532 + 0.28 \text{ 毫米}$$

$$AL1532 = AL1545 \times 1532/1545$$

ALU 真正超声眼轴长度。

AL1532 超声速度为 1532 米/秒时的眼轴长度。

AL1545 超声速度为 1545 米/秒时眼轴的长度。

对高度近视的病人，影响眼轴测量的另一原因是巩膜后葡萄肿，测量值可能是角膜顶点和葡萄肿的某一点之间的距离，而不是与中心凹的距离。IOL Master 采用部分相干干涉波测量而非超声测量，准确地得到眼轴长度。但是它不适用于白内障较重或者不配合者，他们不能够固视探头内的注视点。也有的作者采用高分辨率 B 超，先获得通过视乳头中心的切面像，然后测量角膜顶点到距视乳头颞侧 4.5 毫米即中心凹的距离为眼轴长度<sup>24</sup>。

#### 四、计算公式的选择

1990 年，Leaming<sup>25</sup> 调查发现有 35% 的外科大夫认为 IOL 计算公式的选择是 IOL 计算中最不准确的因素。Zaldivar 指出，不同公式对高度近视眼的 IOL 读数值误差在 -4D—1D 之间<sup>24</sup>。因此对眼球各段比例改变的患者，选择适合的公式也很重要。Hoffer 提出根据眼轴选择公式，见表二。<sup>26</sup>

有文献报告，屈光术后人工晶体度数计算用 Binkhorst 或 Holladay2 取得满意效果。<sup>27, 28</sup>

<22 毫米	Hoffer Q, Holladay 2
22.0-24.5 毫米	Hoffer Q, Holladay 1
24.5-26 毫米	SRK/T, Holladay
>26 毫米	SRK/T

#### 五、临床报告

目前相继有角膜屈光术后接受白内障患者手术，由于各种原因，尽管手术本身是成功的，但是它们没有获得较好的视力，见表三。<sup>16</sup>对已行白内障的患者，目前其纠正的方法有：

1) 取出原人工晶体，植入合适人工晶体；2) 植入 Piggyback 人工晶体；3) 行单纯白内障摘除，二期植入人工晶体。

表三 文献中屈光手术后白内障患者术后的屈光情况

作者	时间	眼数	术前屈光度	术后屈光不正与视力	建议
Gelender	1983	1	-2.5D, RK	+9.75, 20/20	未植入人工晶体，接触镜矫正
Markovits	1986	1	-10.75D, RK	+0.25, 20/20	植入 IOL 较计算值大 3D
Koch	1989	4	-12.5-1.6D, RK	+0.25-+5.9, 20/20-20/15	用校正 K 值，Holladay 公式
Casebeer	1996	1	未提供	未提供	常规计算法
Leshner	1994	1	-6.0D, PRK	+0.5, 未提供	自动角膜曲率计，SRK/T
Celikkol	1995	4	-8.75D-5.38D, RK	-0.50-+2.75, 20/30-20/20	TMS 角膜地形图，Holladay 公式
Siganos	1996	1	-0.8D, PRK	+3.4, 20/25	K 为 PRK 后 2 周
Lyle	1997	10	-11.13-2.50D, RK	-1.12-+3.5, 20/50-20/20	取 Binkhorst 和 Holladay 平均值
Kalski	1997	4	-14.0D-11.13D, PRK	+0.25-+3.25, 未提供	用球镜当量法+SRK/T
Bardocci	1998	1	未提供, RK	+1.25, 20/20	Holladay 设计的有效屈光度法
Morris	1998	1	-7.0D, PRK	+3.5, 20/30	球镜当量 +Hoffer Q, Holladay, SRK/T 最大值
Speicher	1999	1	-18.0D, PRK	+4.0, 20/40	球镜当量法+三代公式
Amm	1999	1	-16.5D, LASIK	-3.1, 未提供	球镜当量法+三代公式

## 总 结

由上看出，影响屈光手术后白内障手术成功率的因素很多，除手术本身以外，还包括如角膜生物物理行为的改变，角膜屈光度的计算，眼轴的测量，计算公式的选择等因素，加之每个病人特殊的情况和要求，要使白内障手术成为真正量化的屈光手术还需更多的时间和研究。

## 参考文献

- (1) Waring GOIII, Lynn MS, McDonnell PS. Results of the prospective evaluation of radial keratotomy study -10 years after surgery. Arch Ophthalmol 1994; 112:1298-1308
- (2) 陆文秀,
- (3) 褚仁远, 角膜曲率检查法 现代眼科手册 杨均主编 204-208
- (4) 褚仁远, 角膜地形图检查法 现代眼科手册 杨均主编 208-211

- (5) Gullstrand A, Die Dioptrit des Anges In handbuch de physiologischen Opitc 3 AuH edited by Helmohotz H. Hanmburgl ceipzig 190-9, 41, 375.
- (6) Gobbi PG, Carones F, Brancato R. Keratometric index, videokeratography, and refractive surgery. J Cataract Refract Surg 1998 24:202-211
- (7) Holladay JT. Cataract surgery in patient with previous keratorefractive surgery(RK, PRK, LASIK). Ophthalmol Pract 1997 15:238-244
- (8) Manning CA, Kloess PM. Comparison of portable automated keratometry and manual keratometry for IOL calculation .J Cataract Refract surg 1997 23:1213-1216
- (9) Wilson SE, Klyce SD. Quantitative descriptors of corneal topography: a clinical study. Arch Ophthalmol 1991 109:349-353
- (10) Maeda N, Klyce SD, Smolek MK. Disparity between keratometry style reading and cornea power with the pupil after refractive surgery for myopia .Cornea 1997 16:517-24
- (11) Seitz B, Bebren SA, Langerburcher A. Cornea topography. Curr Opinion Ophthalmol 1999 8:8-24
- (12) Hanna KD, Touve FE, Waring GOIII. Preliminary computer simulation of the effects of radial keratotomy. Arch Ophthalmol 1989 ;107:911-918
- (13) Koch DD, Liu JF, Hyde LL et al. Refractive complications of cataract surgery after radial keratomy. Am J Ophthalmol 1989 108:676-682
- (14) Wilson SE, Klyce SD. Changes in cornea topography after excimer laser photorefractive keratectomy for myopia. Ophthalmology 1991; 98:1338-1347
- (15) Smith RJ, Chem WK, Maloney RK. The prediction of surgical induced refractive change from cornea topography. Am J Ophthalmol 1998;125:44-53.
- (16) Seitz B, Langenbucher A. Underestimation of intraocular lens power for cataract surgery after photorefractive keratectomy. Ophthalmology 1999; 106:693-702
- (17) Mamdell RB, Corneal power correction factor for photorefractive keratoctomy. J Refract Corneal Surg 1994 10: 125-128
- (18) Seitz B, Langenbucher A, Intraocular lens calculations status after corneal refractive surgery. Curent Opinion in Ophthalmology 2000; 11:35-46
- (19) Seitz B, Behrens A, Langenbucher Corneal Topography Curr Opinion in ophthalmol. 1997;8:8-24



- (20) Zeh WG, Koch DD. Comparison of cataract lens overrefraction and standard keratometry for measuring corneal curvature in eyes with lenticular opacity. J Cataract Refract Surg 1999; 25:898-903
- (21) Speicher L. Intraocular lens calculation status after corneal refractive surgery. Current Opinion in Ophthalmology 2001; 12:17-29
- (22) Hoffer R.J. IOL power calculation Joint Meeting of the American Academy of Ophthalmology and Pan-American Academy of Ophthalmology; Oct 24-27 1999
- (23) Morris AHC, Whittaker KW. Errors in intraocular lens power calculation after photorefractive keratectomy. Eye 1998; 12:327-328
- (24) Conlibaly K. Underestimation of intraocular power for cataract surgery after myopic PRK. Ophthalmology 2000, 107;222-23
- (25) Hoffer KJ, Clinical results using the Holladay2 intraocular lens power formula. J Cataract Refract Surg 2000; 26:1233-1237
- (26) Zaldivar R et al. Intraocular lens power calculations in patients with extreme myopia. J Cataract Refract Surg 2000 ;26:668-674
- (27) Leaming DV. Practice Styles and preference of ARSRS members-1989 survey. J Cataract Refract Surg 1990 ;16:624-32
- (28) Gimbel HV, Sun R. Accuracy and predictability of intraocular lens power calculation after laser in situ keratomileusis. J Cataract Refract Surg 2000 ;24:1147-52
- (29) Gimbel HV, Sun R. Accuracy and predictability of intraocular lens power calculation after laser in situ keratomileusis. J Cataract Refract Surg 2001;27:571-76