

角膜屈折矯正手術の基礎的研究 (図6)

今釜 秀一・松尾 健治・宮田 典男 (宮田眼科病院)
西田 輝夫・大鳥 利文 (近畿大学眼科)

Basic Studies on Corneal Refractive Surgery for Astigmatism

Shuichi Imagama*, Kenji Matsuo*, Norio Miyata*,
Teruo Nishida** and Toshifumi Otori**

*Miyata Eye Hospital

**Department of Ophthalmology, Kinki University School of Medicine

要 約

有色家兎に対して、8本の均一な放射状切開、6本の偏在する放射状切開、角膜輪部に平行な弧状切開の3種類の角膜切開を行い、術後の角膜屈折力と角膜の厚さの経時的变化を検討し、さらに切開部の組織学的検索を行った。

8本の均一な放射状切開と6本の偏在する放射状切開では、術後24週で球面の屈折力はともに約4Dの減少を示したが、円柱面の屈折力にはほとんど変化はなかった。一方、角膜輪部弧状切開では、術後24週で球面の屈折力は約1Dの減少を示し、円柱面の屈折力は平均1.4Dとなった。角膜輪部弧状切開では、球面よりは円柱面の屈折力の変化に作用していた。角膜の厚さには変化はほとんど認められなかった。また、術後1年の組織学的検索では特に問題はなかった。以上のことより、角膜乱視の治療には放射状緊張を減弱させる輪部に平行な弧状の切開が有効であると考えられる。(日眼 92:302—307, 1988)

キーワード：屈折矯正手術，角膜乱視，弧状切開，放射状切開

Abstract

The effects of three different types of corneal refractive surgery on changes in refraction were investigated in rabbits. Eight radial incisions, 6 unevenly distributed radial incisions or 2 arc incisions parallel to the corneal limbus were performed and corneal refraction and corneal thickness were measured postoperatively. Eight radial incisions and 6 unevenly distributed radial incisions reduced the spherical power as much as 4 diopters at 24 weeks postoperatively. However, both types of incisions did not change the cylindrical power. On the other hand, the arc incisions reduced the cylindrical power as much as 1 diopter, but they did not change the spherical power significantly. These results suggest that arc incisions are more effective than radial incisions for the correction of astigmatism. (Acta Soc Ophthalmol Jpn 92: 302—307, 1988)

Key words: Refractive surgery, Corneal astigmatism, Arc incision, Radial incision

I 緒 言

角膜の形状を修飾することにより屈折状態を変える

試みは、佐藤ら¹⁾によってはじめて考案施行された。しかし、佐藤らの考案した角膜両面切開術は、術後十数年から二十数年を経て水疱性角膜炎をかなりの頻度で

別刷請求先：885 宮崎県都城市蔵原町6—3 宮田眼科病院 今釜 秀一 (昭和62年9月10日受付)

Reprint requests to: Shuichi Imagama, M.D. Miyata Eye Hospital

6-3 Kurahara-cho, Miyakonojo-shi, Miyazaki, 885

(Accepted September 10, 1987)

発症してくることが明らかとなった²⁾。その後、Fyodorovら³⁾は角膜前面のみの切開を行う術式を発表し、この術式は比較的安全的な術式としてソ連や米国では近視の矯正に盛んに応用されるようになってきた。

近視眼は眼鏡やコンタクトレンズなどにより十分矯正し得ることから、正常な角膜に障害を与える外科的治療が真に有益な方法か未だ問題のあるところである。しかし、白内障術後、特に眼内レンズ移植眼においては、術後乱視が大きな問題となる。実際、眼内レンズ移植眼において、たとえ術後矯正視力が回復しても角膜乱視のために快適な日常視力が得られない症例をしばしば経験する。このような術後乱視の外科的矯正こそ望ましい屈折矯正手術ではないかと考える。

今回、乱視に対する有効な角膜切開を検討するために、家兎を用いて全周に均一な8本の放射状切開(radial keratotomy)、偏在する6本の放射状切開、輪部に平行な孤状切開の3種類の角膜切開を行い、術後の角膜屈折力と角膜の厚さの経時的变化を検討し、さらに切開部の組織学的検索を行ったので報告する。

II 実験方法

動物は、体重1.5から2.5kgの有色家兎を用いた。ペントバルビタールにて静脈麻酔した後、超音波角膜厚計 Ophthasonic A scan pachometer (Teknar社)で測定した角膜中央部の角膜の厚さの80%の深さで、sapphire micrometerknife (Katena社)を用いて角膜前面の切開を行った。切開は下記の3種類を行った(図1)。

A群: optical zone 3.75mmで等間隔の8本の放射状切開をした7羽14眼、B群: optical zone 3.75mmで、12時6時を中心とした上下各3本の30°間隔の放射状切開をした7羽14眼、C群: 12時6時を中心とした輪部から約1.5mmの位置に約90°の孤状切開をした6羽12眼。

角膜曲率および角膜の厚さは、角膜曲率計(Rodenstock社)および超音波角膜厚計を用い、術前および術

後24週まで経時的に観察した。角膜屈折力は、角膜曲率計にて強主経線と弱主経線の屈折力を測定し、球面では2主経線の屈折力の平均とし、円柱面では、2主経線の屈折力の差の絶対値とした。

組織学的検索のために術後1年経過した後、過剰のペントバルビタール静脈注射にて家兎を屠殺し全眼球を摘出した。10%中性ホルマリンにて1時間固定後、強角膜片を作成し、さらに24時間固定し、その後通常の組織学的手法で脱水後パラフィン包埋を行い、切開線に直角な方向で薄切した後、hematoxylin-eosin染色を行った。

III 結果

正常有色家兎角膜(20羽40眼、平均±S.D.)の、角膜横径は16.7±0.9mm、角膜縦径は15.8±0.7mm、角膜の厚さは383±16μmで、球面の屈折力は、46.3±3.1D、円柱面の屈折力は0.2±0.4Dであった。

放射状角膜切開術(radial keratotomy)のように角膜周辺全周にわたって均一な切開を加えた場合の角膜

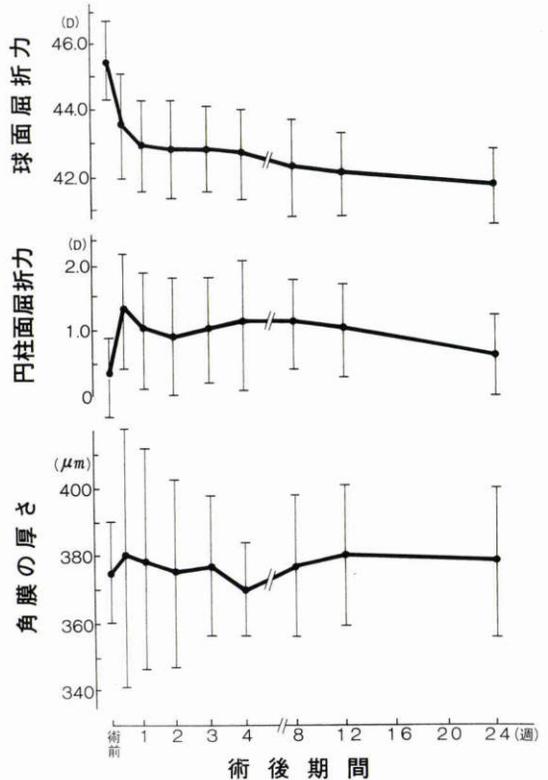


図2 A群の球面の屈折力、円柱面の屈折力および角膜の厚さの変化(7羽14眼、平均±S.D.)

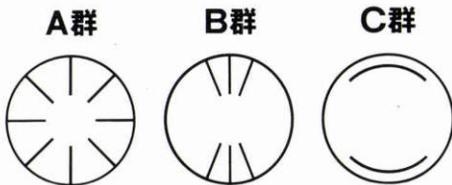


図1 切開方法

屈折力の経時的变化および中心部角膜の厚さの変化を検討した(A群). 球面の屈折力は術前 $45.5 \pm 1.2D$ であったが, 術後1週までに大きく変化して, $42.9 \pm 1.4D$ と減少し, その後徐々に球面の屈折力の変化は小さくなり, 8週以後 $42D$ 前後のほぼ安定した値を示した. 今回行った切開の条件では術後24週を経た時点で $41.6 \pm 1.2D$ となり約 $4D$ の遠視化が生じた. 円柱面の屈折力は, 術前 $0.3 \pm 0.6D$ であったが, 術後1週に $1.0 \pm 0.9D$ と増加し, その後きわめて徐々に減少し, 術後24週では $0.6 \pm 0.6D$ の乱視を示した. しかしながら, 乱視の軸には一定の傾向は認められなかった. 放射状角膜切開後の角膜中央部の厚さの変化は, 術後3日に一過性にわずかな増加の傾向を示したが, 術後1週では安定し, その後変化は認められなかった(図2).

次に, 放射状角膜切開術を6時12時の方向のみに合計6本行った場合を検討した(B群). 球面の屈折力は, 術前 $47.8 \pm 3.7D$ であったが, 術後早期から球面の屈折

力の減少が認められ, 術後2週では $44.8 \pm 3.1D$ の値を示し, その後24週まできわめてわずかに減少傾向を示した. 今回行った切開の条件では術後24週で $43.9 \pm 2.1D$ となり, 約 $4D$ の遠視化が生じた. 円柱面の屈折力は, 術前 $0.2 \pm 0.3D$ であったが術後3日に $1.1 \pm 0.8D$ と増加した. しかし, その後は円柱面の屈折力は徐々に減少し, 術後24週には $0.7 \pm 0.6D$ の乱視を生じていた. B群においても, A群と同様, 乱視の軸に一定の傾向は認められなかった. 角膜中央部の厚さには, 有意の変化は認められず, ほぼ安定した値を示した(図3).

放射状角膜切開術の切開方向とは異なり, 角膜輪部に平行な弧状切開を6時12時の2方向に行った場合について検討した(C群). 球面の屈折力は術前 $45.4 \pm 3.2D$ であったが術後の経時的变化はほとんどなく, 術後24週までの全観察期間を通じて, 球面の屈折力は $45D$ 前後の値を示し, その変化はごくわずかなものであり, 術後24週では $44.2 \pm 2.6D$ であった. 円柱面の屈折力は, 術前 $0.2 \pm 0.4D$ であったが, 術後1週で大きく変化して $1.5 \pm 0.7D$ となり, その後ほぼ安定して $1.5D$ 前後の値を示し, 術後24週では $1.4 \pm 0.9D$ の乱視が認め

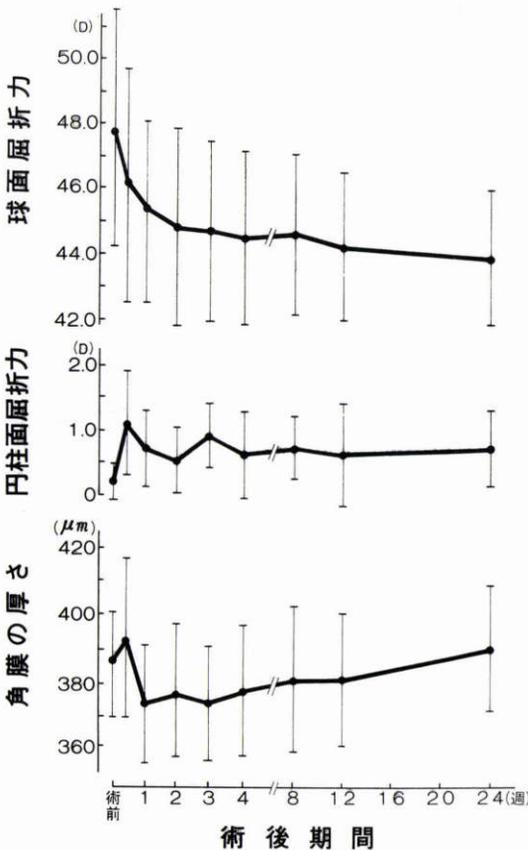


図3 B群の球面の屈折力, 円柱面の屈折力および角膜の厚さの変化 (7羽14眼, 平均±S.D.).

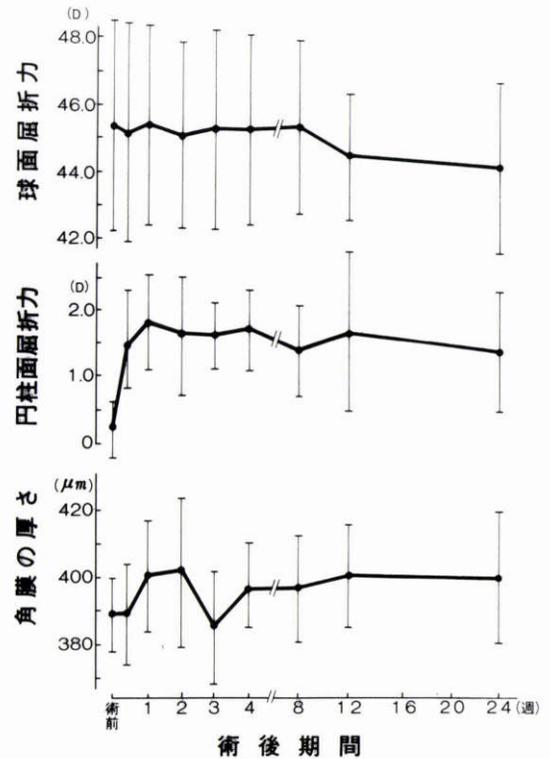


図4 C群の球面の屈折力, 円柱面の屈折力および角膜の厚さの変化 (6羽12眼, 平均±S.D.).

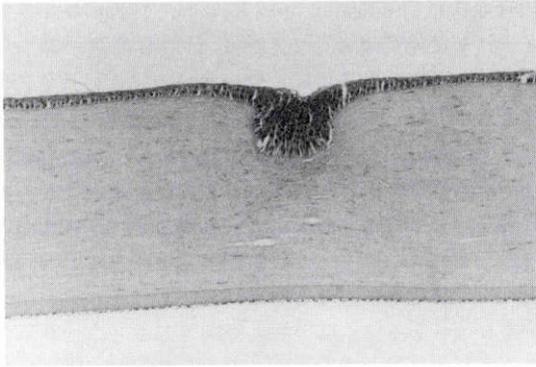


図 5-A

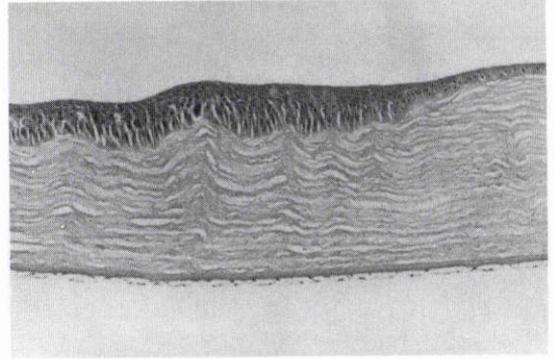


図 5-B

図5 角膜切開後の組織所見. A:放射状切開1年後の光顕所見.平坦状または丸みを帯びた切開面に周辺の角膜上皮細胞が伸展移動して切開部に陥入する形を示し,角膜上皮の増生が認められた.切開創の角膜上皮は,極性を有し基底部では円柱状に配列し上方に数層~10層近くの上皮が重層化していた.実質の並走する膠原繊維は,一度波打ちながら創面に近付き切開部に対称的に配列して走行していた.デスメ膜及び内皮細胞には切開に伴う変化は認められなかった. B:輪部に平行な孤状切開1年後の光顕所見.切開部は比較的平滑になり,その角膜上皮基底部は平坦陥凹状を呈し放射状切開に比べると切開創は幅広く伸展し角膜上皮は5~6層からなり,また実質は他の部分の実質に比しわずかながら薄くなっていた.デスメ膜及び内皮細胞には切開に伴う変化は認められなかった(HE染色,×60).

られた.乱視の軸は,倒乱視の傾向を示した.角膜中央部の厚さには,有意の変化は認められなかった(図4).

術後の組織学的検討では,創傷部の治癒は,放射状切開術後1年では平坦状または丸みを帯びた切開面に周辺の角膜上皮細胞が伸展移動して切開部に陥入する形を示し,角膜上皮の増生が認められた.切開創の角膜上皮は,極性を有し基底部では円柱状に配列し上方に数層~10層近くの上皮が重層化していた.実質の並走する膠原繊維は,一度波打ちながら創面に近付き切開部に対称的に配列して走行していた.一方,孤状切開術後1年では,切開部は比較的平滑になり,その角膜上皮基底部は平坦陥凹状を呈し放射状切開に比べると切開創は幅広く伸展し角膜上皮は5~6層からなり,また実質は他の部分の実質に比しわずかながら薄くなっていた.いずれの切開においてもデスメ膜及び内皮細胞には切開に伴う変化は認められなかった(図5).

IV 考 按

8本の均一な放射状切開(A群)や6本の偏在する放射状切開(B群)を行うと球面の屈折力には変化が認められるが,円柱面の屈折力には変化は認められず,

一方,角膜輪部に平行な孤状切開(C群)を行うと球面の屈折力には変化はなく,円柱面の屈折力にのみ変化が認められた.寺西^{4)~6)}は種々の切開や縫合を加えて角膜の変化を検討しているが,今回の孤状切開の結果は寺西⁶⁾の縫合を加えない楔状切除の報告と同様であった.

角膜はその球状の形態を維持するためにあらゆる方向への緊張が働いている.角膜切開による屈折力の変化の機序として,すでに秋山⁷⁾は,放射状切開は輪状緊張を,孤状切開は放射状緊張を選択的に減弱させることによると報告している.放射状切開では,輪状緊張を減弱させることにより,角膜中間部が膨隆して,角膜中央部を扁平化させて角膜屈折力を減少させるものと考えられる.一方,孤状切開では,放射状緊張を減弱させることにより,切開方向において角膜を扁平化させ,円柱面の変化を生じるものと考えられる(図6).今回の私達の実験成績からも,放射状角膜切開により球面の屈折力に変化が認められ,孤状切開により円柱面の屈折力に変化が認められ,秋山の成績が確認された.

家兎の角膜内皮細胞は,ヒトと異なり増殖することが知られており,家兎での実験成績をヒトに適應することはできない.しかし,中央部角膜厚みの変化の成

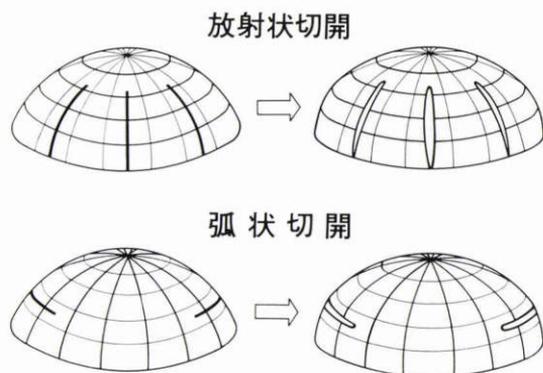


図6 放射状切開あるいは弧状切開による角膜形状変化の模式図。放射状の切開により輪状の緊張が减弱され角膜中間部が膨隆し角膜中央部は扁平化する。弧状の切開により放射状の緊張が减弱され切開の方向と直交する方向で角膜中央部は扁平化する。

績から判断する限りにおいて、今回検討した3種類の切開を加えた場合、術後3ないし4週で術前の角膜厚みに回復しており、前部角膜切開そのものによる角膜内皮細胞に対する障害はきわめて少ないものであると考えられる⁸⁾。しかしながら、Yamaguchiら⁹⁾はサルを用いた研究から、radial keratotomy後に持続的に内皮細胞の減少が認められることを報告している。

また、角膜切開後の鈍の外傷に対する脆弱性が指摘されており、Larsonら¹⁰⁾は家兎を用いた実験から術後90日において鈍の外傷に対する抵抗力は50%に低下することを報告しているが、Spivack¹¹⁾は、飛行機事故により眼窩底部の骨折を含む顔面の数カ所の骨折を負いながらも角膜には異常の認められなかった角膜前面放射状切開術後の患者の例を報告している。今回の私達の術後1年の組織学的検索からも術後長期を経た家兎角膜においては実質の変化はかなりの程度に修復されていた。以上のことにより、角膜乱視の治療には、relaxing incision¹²⁾¹³⁾やtrapezoidal keratotomy^{14)~16)}のように、放射状緊張を减弱させる切開が有効であり、角膜前面に限局性に切開を加えた場合の角膜、特に内皮細胞に対する侵襲はかなり少ないものと考えられる。

近年、手術手技の進歩、粘弾性物質の開発や眼内レンズの改良により白内障手術および眼内レンズ移植術がより安全に行なわれるようになってきた。しかしながら術後発生する角膜乱視はいまだに完全に解決されていない重要な問題点である。宮田¹⁷⁾は術中にTerryのケラトメーターを使用することにより眼内レンズ移

植後の術後乱視を減少させ得るが、Terryのケラトメーター使用群においても時として3D前後の値を示すことがあり、非使用群においては術後3カ月で60例中9例が3D以上の乱視を示したことを報告している。術者の熟練度以外にも、切開、縫合あるいは切開創の創傷治癒等種々の因子によっても術後乱視が生じ、特に眼内レンズ移植眼においては乱視の発生は患者の不快感不定愁訴の最も大きな原因となる。このような眼内レンズ移植眼における角膜乱視に対しては縫合糸を調整したりあるいは部分的に切断することによりかなりの症例で乱視を矯正することが可能である^{18)~21)}。しかし、縫合糸の切断でも矯正し得ないような症例では、今回報告したように放射状切開ではなく輪部に平行な弧状切開が有効であると考えられる。実際の臨床応用にあたっては矯正の程度の予測など多くの問題があり、さらに今後研究が必要である。

文 献

- 1) 佐藤 勉, 柴田博彦, 秋山晃一郎: 近視に対する角膜表裏両面切開について(人眼における成績). 日眼 56: 1137-1140, 1952.
- 2) 田中 稔, 石井るみ子, 山口達夫, 金井 淳, 中島章: 近視手術後の水疱性角膜炎. 日眼 84: 2068-2074, 1980.
- 3) Fyodorov SN, Durvey VV: Surgical correction of complicated myopic astigmatism by means of dissection of circular ligament of cornea. Ann Ophthalmol 13: 115-118, 1981.
- 4) 寺西千尋: 高度乱視の手術的療法の研究, 第2報. 眼臨 78: 1491-1996, 1984.
- 5) 寺西千尋: 高度乱視の手術的療法の研究, 第3報. Corneal Wedge Resection without Suturing. 眼臨 80: 1267-1271, 1986.
- 6) 秋山晃一郎: 近視に対する手術的療法の研究, 第2編. 種々なる角膜半切開の動物実験. 日眼 59: 294-312, 1955.
- 7) MacRae SM, Matsuda M, Rich LF: The effect of radial keratotomy on the corneal endothelium. Am J Ophthalmol 100: 538-542, 1985.
- 8) Yamaguchi T, Asbell PA, Ostrick M, Safir A, Kissling GE, Kaufman HE: Endothelial damage in monkeys after radial keratotomy performed with a diamond blade. Arch Ophthalmol 102: 765-769, 1984.
- 9) Larson BC, Kremer FB, Eller AW, Bernardino VB: Quantitated trauma following radial keratotomy in rabbits. Ophthalmology 90: 660-667, 1983.
- 10) Spivack I: Radial keratotomy incisions

- remain intact despite facial trauma from plane crash. *Refractive Surgery* 3: 59—60, 1987.
- 12) **Troutman RC, Swinger C**: Relaxing incision for control of postoperative astigmatism following keratoplasty. *Ophthalmic Surg* 11: 117—120, 1980.
 - 13) **Krachmer JH, Fenzl RE**: Surgical correction of high postkeratoplasty astigmatism. Relaxing incision vs wedge resection. *Arch Ophthalmol* 98: 1400—1402, 1980.
 - 14) **Lavery GW, Lindstrom RL**: Clinical results of trapezoidal astigmatic keratotomy. *Refractive Surgery* 1: 70—74, 1985.
 - 15) **Maxwell WA, Nordan LT**: Trapezoidal relaxing incision for post keratoplasty astigmatism. *Ophthalmic Surg* 17: 88—90, 1986.
 - 16) **Merck MP, Williams PA, Lindstrom RL**: Trapezoidal keratotomy. A vector analysis. *Ophthalmology* 93: 719—726, 1986.
 - 17) **宮田典男**: 眼内レンズ移植時における術後乱視とそのコンホロール. *眼科 Mook*, 眼内レンズ編, 金原出版, 東京, (印刷中).
 - 18) **Atkins AD, Roper-Hall MJ**: Control of postoperative astigmatism. *Br J Ophthalmol* 69: 348—351, 1985.
 - 19) **Stainer GA, Binder PS, Parker WT, Perl T**: The natural and modified course of post-cataract astigmatism. *Ophthalmic Surg* 13: 822—827, 1982.
 - 20) **壹沢文雄, 朝倉当子, 三宅謙作**: YAG Laser による縫合系の光学的切糸. *眼紀* 37: 1231—1233, 1986.
 - 21) **福田昌彦, 西田輝夫, 北谷和章, 福田さと, 楠部亨, 大鳥利文**: 白内障術後に生じた角膜乱視の経過と縫合糸切断の効果. *眼科臨床医報* 81: 1904—1903, 1987.
-