

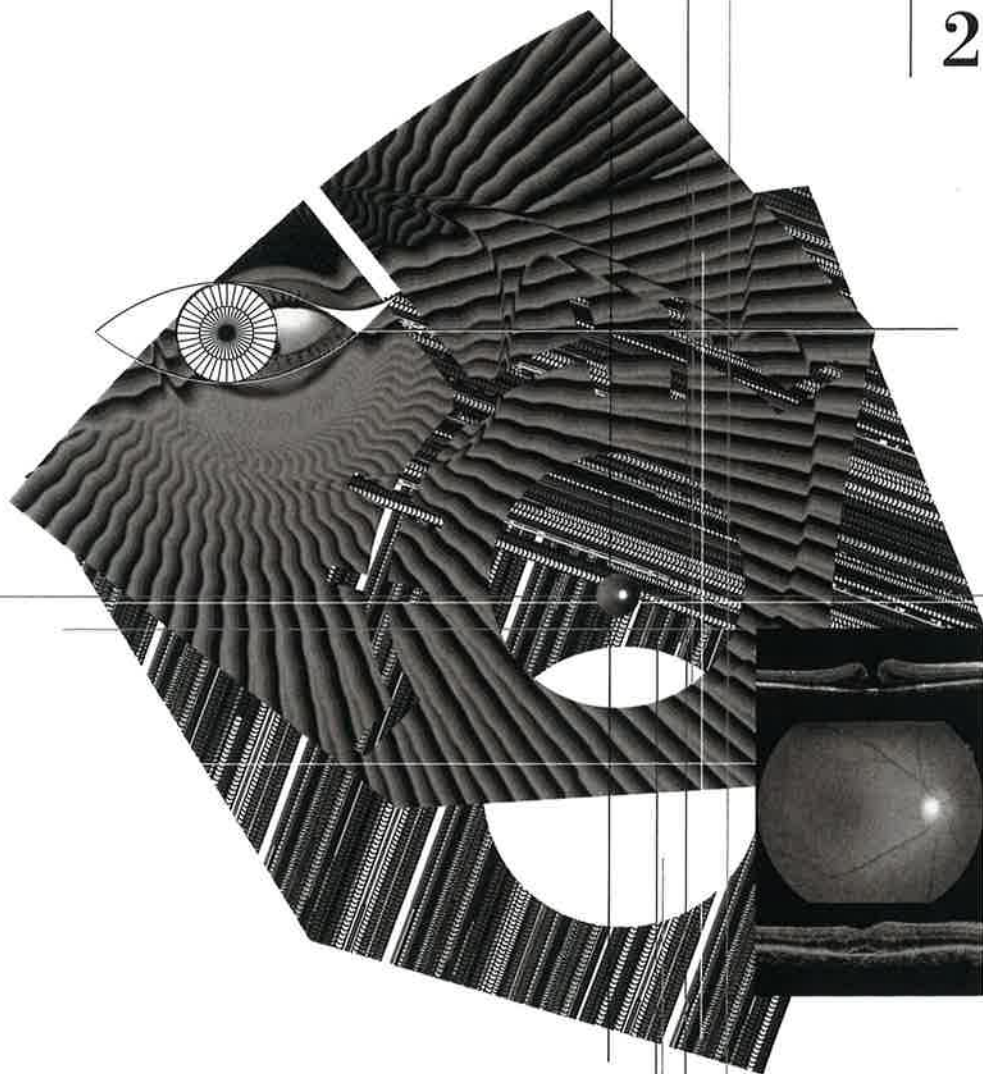
眼科手術

2018年7月30日発行 ISSN 0914-6806
平成6年8月16日第4種学術刊行物認可

日本眼科手術学会誌
Japanese Journal of
Ophthalmic Surgery

No.3
2018

31
Vol.



【特集】

眼内レンズの脱臼・偏位・ 落下に対する対処法

眼内レンズ脱臼・偏位①——森山 涼
眼内レンズ脱臼・偏位②——永田万由美
眼内レンズ脱臼に対する眼内縫着術——橋田正継
眼内レンズ落下に対する対応——米田一仁

【特集】

他疾患合併眼での緑内障手術 戦略

角結膜疾患関連緑内障——森 和彦
白内障および関連疾患（POAG, PACG, 水晶体・IOL 脱臼など）
——谷戸正樹
ぶどう膜炎——陳 進輝
網膜硝子体疾患における緑内障手術戦略——杉本洋輔

【編集・発行】日本眼科手術学会

【発売】メディカル薬出版

3焦点眼内レンズ

森井香織*

わが国における白内障手術での多焦点眼内レンズ (IOL) の使用は、多焦点 IOL を使用した水晶体再建術が高度先進医療に指定されたこともあり増加している。しかし、この場合の多焦点 IOL は 2 焦点 IOL であり、遠方と近方 (あるいは中間) の二つの焦点のみで、焦点のない部分は眼鏡による矯正が必要である。そこで、眼鏡の必要度をさらに低減すべく 3 焦点 IOL が登場し、わが国でも未承認ではあるが自由診療として使用されている。3 焦点 IOL はすべて回折型 IOL である。3 焦点回折型 IOL の光学構造と、わが国で使用頻度が高いと思われる 3 種類の 3 焦点回折レンズの特徴などについて述べる。

はじめに

わが国における白内障手術での多焦点眼内レンズ (intraocular lens : IOL) の使用は、1995 年の AMO 社の屈折型 2 焦点 IOL である Array の挿入から始まった。当時は素材もポリメチルメタクリレート (polymethyl methacrylate : PMMA) 製であったため、切開創が大きく術後惹起乱視の問題もあったが、その後 2007 年ごろに素材がアクリル製となり、小切開で挿入できる 2 焦点 IOL がわが国でも承認された。また、2008 年に多焦点 IOL を使用した水晶体再建術が高度先進医療に指定されると、さらに広く使用されるようになった。

これらの多焦点 IOL は、多焦点とはいうものの、実

際は屈折であれ回折であれ基本は 2 焦点 IOL であり、遠方と近方 (あるいは中間) の二つの焦点のみで、焦点のない部分は眼鏡による矯正が必要である。遠方、近方の 2 焦点 IOL の場合、パソコンや音楽演奏などの中間作業時に眼鏡が必要となることが多く、また遠方、中間の 2 焦点 IOL の場合は、読書などの手元作業時に眼鏡が必要となる¹⁾。

眼鏡の必要度をさらに低減すべく、2010 年に Physiol 社 (ベルギー) から 3 焦点 IOL である FineVision が発売された。その後、2011 年に Zeiss 社 (ドイツ) から AT LISA tri が、2016 年に Alcon 社 (米国) から PanOptics が発売された。また、ほかの海外メーカーから

表 1 3 焦点 IOL の比較

	FineVision (Physiol)	AT LISA tri (Zeiss)	PanOptics (Alcon)
Type	MICRO F, PodF, PodFT (toric)	839MP, 939MP (toric)	PanOptics, PanOptics TORIC
Diffractive orders	Diffractive 0 th , 1 st , 2 nd	Diffractive 0 th , 1 st , 2 nd	Diffractive 0 th , 2 nd , 3 rd
Diffractive zone	6.0 mm	4.3 mm trifocal 4.3~6.0 mm bifocal	4.5 mm
Add power			
Near (D)	+3.50	+3.33	+3.25
Intermediate (D)	+1.75	+1.66	+2.17
Technology	Apodized with convolution	Non apodized with SMP	Non apodized
Asphericity (μm)	-0.11	-0.18	-0.11
Lens color	Yellow	Clear	Yellow

* Kaori Morii : あさざり病院眼科
 [別刷請求先] 森井香織 : 〒673-0852 兵庫県明石市朝霧台 1120-2 あさざり病院眼科

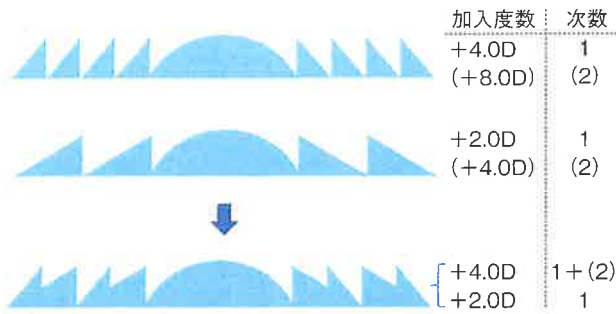


図1 3焦点IOLの光学設計(例)

+4.0D加入と+2.0D加入の二つの回折2焦点IOLを組み合わせると3焦点IOLとなる。+2.0D加入レンズの2次光+4.0Dも使用される。

も3焦点IOLが発売されている。これらの3焦点IOLはすべて回折型IOLである(表1)。

3焦点IOLの回折構造と、わが国で使用頻度が高いと思われる3種類の3焦点レンズの特徴について述べる。

I 3焦点IOLの光学設計

回折型多焦点レンズであるが、回折格子を用いて光を異なる焦点に分ける。回折格子を通り入射した光は、次数に応じて回折する角度が異なる。0次光は直進し、1次、2次と次数が大きくなると回折角度は大きくなる。回折型眼内レンズは任意の次数に光を集中させるために回折格子の間を斜めにする方法(ブレード回折格子)が用いられ、回折型眼内レンズはこの方法で焦点を作製している。また、回折幅は加入度数を、回折高は次数を決定する。

3焦点IOLのデザインであるが、異なる二つの2焦点回折IOL組み合わせで、かつその二つの回折は一つの回折パターン内に収束する²⁾。たとえば図1のように、0次光と①1次回折光+2.0Dのもの、②+4.0Dの二つ2焦点IOLを組み合わせる。回折パターンが異なると回折デザインは融合できないため、近方加入度は必ず倍数になる。また、①で発生する2次回折光である+4.0Dは、①の1次回折光+4.0Dと重なり近方視に利用され、光のロスが少なくなる。一般的な2焦点回折レンズでは20%の光のロスが発生するとされるが、回折デザインの融合の結果3焦点IOLでは光のロスが2焦点回折レンズより少ない。



図2 FineVision (Physiol)

II 各3焦点IOLの光学設計と光学性能の特徴

1. FineVision (Physiol社, ベルギー)

2010年にPhysiol社が初めて3焦点回折レンズを発表した。それがFineVisionである(図2)。「FineVision」とは遠方(far)、中間(intermediate)、近方(near)の頭文字をとって作成された名称である。2010年にCEマークを取得している。

視認距離は遠方、中間cm(+1.75D)、近方cm(+3.5D)であり、球面度数のみのMicro F, PodFと、トーリックタイプのPodFTがある。素材は親水性着色アクリルであり、非球面設計である。支持部が4箇所に分かれた独特の形状をもつ。

専用インジェクターを使用することにより、MicroFは角膜切開創1.8mm(PodFは2.0mm)から挿入可能である。

回折デザインであるが0次光と①1次回折光+1.75Dのもの、②1次回折光+3.5Dのもの二つのデザインを組み合わせている。その際、①で発生する2次回折光である+3.5Dの光はロスにはならず、②の1次回折光と重なり近方視に利用される。そのため、光のロスが少なくなり、光のロスが14%に抑えられている²⁾。

また、光学面全面に回折構造が設計されている「full diffractive」で、さらに周辺になるほど回折溝が低くなるapodization設計を施されている。この結果、瞳孔径が大きくなるとより遠方に光が集まるため、グレア・ハローの発生が抑制される。また、回折溝のエッジで発生する光エネルギーの分散を抑えるconvolution(畳み込



図3 AT LISA tri (Zeiss)

み)設計が施されており、さらにグレア・ハローの発生が抑制されるとされる^{2~4)}。

2. AT LISA tri (Zeiss 社, ドイツ)

2011年にCEマークを取得した3焦点IOLである(図3)。球面度数のみのAT LISA tri 839MPとトーリックタイプのAT LISA tri toric 939MPがあり、非球面設計である⁵⁾。Zeiss社のほかのIOLと同様のプレート型で、親水性透明アクリル製眼内レンズである。カートリッジにIOLがセットされたプリセットタイプであり、専用のインジェクター (BLUEMIXS®180) を使用することで、角膜切開創1.8mmから挿入可能である。

3焦点を作る回折構造は、0次光と①1次回折+1.66D、②1次回折光+3.33Dの二つの回折デザインの組み合わせである。①の2次回折光の+3.33Dの光は、②の+3.3Dと重なり近方視に使用されるため、2焦点IOLより光のロスは少なくなる。このレンズの回折構造は、光学面全面に回折溝が作製されている「full diffractive」である。しかし、3焦点構造になっているのは光学中央の直径4.34mmゾーンのみで、4.34~6mmの部分は+3.33D加入のみの2焦点レンズである。また、AT LISA triは「non apodized」であるため、瞳孔径が大きくなる暗所でも近方視への光の配分が落ちず、暗所でも良好な近方視が得られることが特徴である。さらに、回折溝エッジを滑らかにする「Smooth Microphase (SMP) technology」が採用されており、グレア・ハローの低減に有効とされる⁵⁾。

AT LISA triに続くレンズとして、AT LARA 829MPが発売されている。このレンズの設計詳細は現時点では不明であるが、「EDOF+0.95 and +1.9」とされており、加入度数を小さくし、遠方から中間視を重視した3焦点



図4 PanOptics (Alcon)

レンズのEDOFであると考える⁶⁾。

3. PanOptics (Alcon 社: 米国)

2015年に発表され、2016年にCEマークを取得した3焦点IOLである(図4)。PanOpticsとトーリックタイプのPanOptics Toricがある。素材はAcrysof familyと同じアクリル素材であり、非球面設計である^{7~9)}。現在、わが国でも臨床治験が進行中である。

このレンズの回折構造はレンズ前面中心の直径4.5mmのみに作製されており、4.5~6.0mm部分は遠方単焦点になる。従来のAlcon社の2焦点IOLであるReSTORシリーズは回折径が3.8mmであったので、ReSTORシリーズより回折領域が大きくなった。

このレンズの回折構造の組み合わせであるが、もともとは4焦点レンズになるように、三つの2焦点回折レンズを組み合わせで設計し、そのうちの二つのみを使用する「ENLIGHTEN (Enhanced Light Energy)」という技術が取り入れられた。4つの焦点であるが、0次光に①+1.08D、②に+2.17D、③+3.25Dである。そのうち①の+1.08Dの回折光を消去、残る②と③の回折光を使用する。これにより、遠方と中間60cm、近方40cmの3つの焦点をもつ3焦点IOLとなる。従来の3焦点であれば、近方距離と中間距離の幅は大きくなるが、この「ENLIGHTEN」を用いることで、中間と近方の焦点距離を狭くすることで、日常よく使う距離での焦点

おわりに

上述したように、各3焦点 IOL は、①焦点距離、②夜間視時の見え方が回折設計により異なっている。

焦点深度曲線の違いを図6に記す⁷⁾。PanOptics は近方～中間視時の焦点深度の落ち込みが少なくなっているが、やや遠めの中間視での視力は低下している。

また、グレア・ハローのシミュレーションをした報告を図7に記す。瞳孔径5.0mmで車のヘッドライトを見た想定シミュレーション像であるが、apodized設計の有無、回折領域の大きさなどでシミュレーション像は大きく異なる^{11,12)}。

3焦点 IOL は、回折構造を組み合わせることで光のロスが少なくなり、また多くの焦点が得られ焦点深度の落ち込みが少なく、眼鏡必要度はかなり低減することができると考える。これら各3焦点 IOL の特徴と、患者個々のニーズから、それぞれの患者にあったよりよい3焦点 IOL 選択が行われることを期待する。

【文献】

- 1) Kohnen T : Bifocality versus trifocality. *J Cataract Refract Surg* **42** : 183-184, 2016
- 2) Gatinel D : Trifocal implant
<https://www.gatinel.com/recherche-formation/trifocal-implant-cataract-iol/>
- 3) Gatinel D, Pagnouille C, Houbrechts Y et al : Design and qualification of a diffractive trifocal optical profile for intra-

- ocular lenses. *J Cataract Refract Surg* **37** : 2060-2067, 2011
- 4) Mendicute J, Kapp A, Lévy P et al : Evaluation of visual outcomes and patient satisfaction after implantation of a diffractive trifocal intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* **42** : 203-210, 2016
- 5) Carl Zeiss Medetec AG, "ZEISS AT LISA concept", AT LISA tri family Product Brochure EN_32_010_0001II, 2015
[https://applications.zeiss.com/C1257A290053AE30/0/4E601A077714BB4BC1257BF7003D1F76/\\$FILE/AT_LISA_tri_EN_32_010_0001II.pdf](https://applications.zeiss.com/C1257A290053AE30/0/4E601A077714BB4BC1257BF7003D1F76/$FILE/AT_LISA_tri_EN_32_010_0001II.pdf)
- 6) Carl Zeiss Medetec AG, "Patented ZEISS SMP design", AT LARA 829MP Product Brochure EN_32_010_0054I, 2017
<https://www.amedeolucente.it/public/ZEISS%20AT%20LARA%20829MP.pdf>
- 7) Kohnen T, Alfonso J, Carones f et al : PanOptix™ Enlightening Conversation. Highlights from the Prague 2016 Alcon Multifocal IOL User Meeting, 2016
<https://theophthalmologist.com/fileadmin/top/.../Alcon.pdf>
- 8) Alcon Laboratories Inc., PRODUCT INFORMATION : AcrySof® IQ PanOptix® 40-500-248-NEW
- 9) Alcon Laboratories Inc., PRODUCT INFORMATION : AcrySof® IQ PanOptix® TORIC 40-500-293-NEW
- 10) Lee S, Choi M, Xu Z et al : Optical bench performance of a novel trifocal intraocular lens compared with a multifocal intraocular lens. *Clin Ophthalmol* **10** : 1031-1038, 2016
- 11) Carson D, Xu Z, Alexander E et al : Optical bench performance of 3 trifocal intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* **42** : 1361-1367, 2016
- 12) Davison JA, Simpson MJ : History and development of the apodized diffractive intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* **32** : 849-858, 2006



図5 ヘッドライト光のシュミレーション像 (瞳孔径 5 mm)
PanOptix (a) と ReSTOR+3.0D (b). Apodized 回折である ReSTOR のほうが、グレア・ハローが少ない。
(文献 10 より転載引用)

深度の落ち込みが少なくなる。また、この構造のため、瞳孔径 3mm では 88% の光が利用でき、光の使用効率が他のレンズよりよい⁷⁾。

このレンズは従来の ReSTOR シリーズとは異なり、「non apodized」である。瞳孔径にあまり依存せずに 3 つの焦点を効率よく作製するためである。しかし、apodized 設計である従来の ReSTOR シリーズよりはグレア・ハローは強くなる (図 5)¹⁰⁾。しかしながら、IOL 周辺は遠方単焦点であるため、瞳孔径が大きくなる暗所時では、IOL 周辺の 0 次光の割合が大きくなり、グレア・ハローは低減されるよう設計されている。

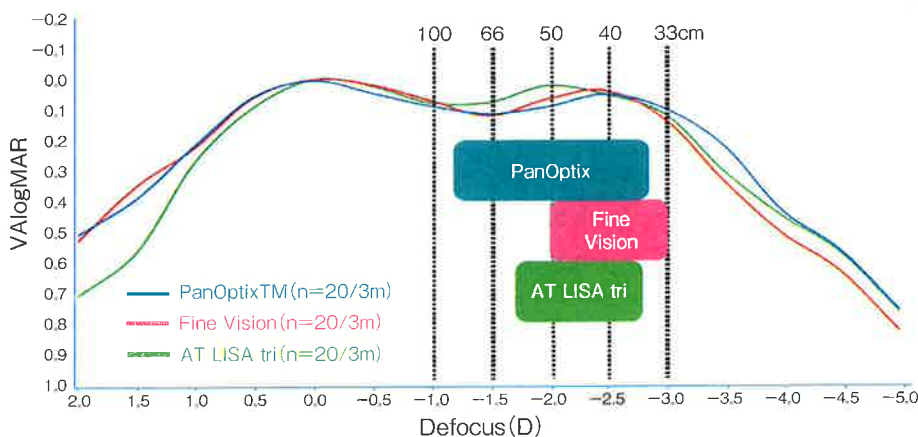


図6 3焦点 IOL の焦点深度
中間・近方加入度数の違いにより焦点深度曲線が異なる。
(文献 7 より転載引用)

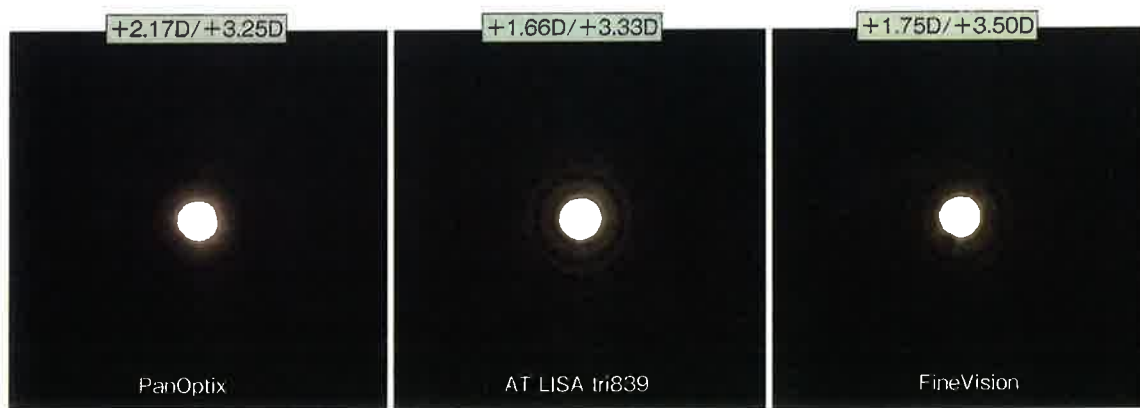


図7 3種類の3焦点 IOL でのヘッドライト光のシュミレーション像 (瞳孔径 5 mm)
回折径が小さい PanOptix (a) がグレア・ハローが小さい。また、apodized 設計である FineVision (c) は non apodized 設計である AT LISA tri (b) よりも小さい。
(文献 11 より転載引用)