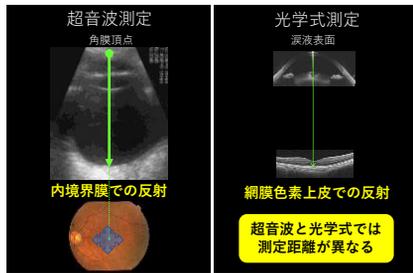


超音波式と光学式の眼軸長測定部位の違い

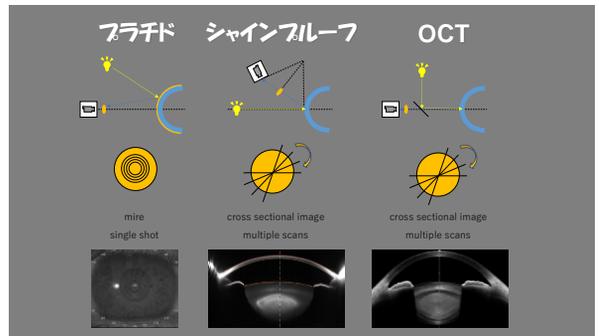


超音波式と光学式眼軸長測定の比較

測定値	超音波Aモード法	光学式眼軸長測定装置
測定範囲	光軸	視軸
測定範囲	角膜表面～網膜内境界線	涙液表面～網膜色素上皮 (矯正により内視界膜までの値)
原理	超音波Aモード法	レーザー光干渉
利点	<ul style="list-style-type: none"> 中間透光体の混濁が強度でも測定可能 仰臥位でも測定可能 	<ul style="list-style-type: none"> 視軸で測定ができる 検査間の誤差が少ない 再現性が高い 非接触
欠点	<ul style="list-style-type: none"> 接触法のため角膜を圧迫 視軸からズレやすい 等価音速方式 検査間での誤差が大きい 再現性が低い 熟練が必要 	<ul style="list-style-type: none"> 視軸上の混濁の程度によっては測定が不可能

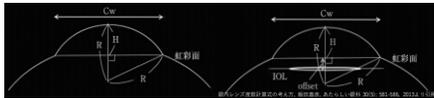
角膜屈折力(角膜曲率半径)測定(機器別の比較)

	オートケラトメータ	OA-2000 ※1 IOLマスター ※2 ARGOS ※3	角膜トポグラフィ	角膜トモグラフィ
測定範囲	角膜前面の傍中心 φ3.0mm～3.3mm		角膜前面における任意の測定ポイント	角膜後面における任意の測定ポイント
原理	角膜涙液層前面でのPurkinje-Sanson第1像を利用		プラチドリリング方式	<ul style="list-style-type: none"> OCTスキャン方式 スリットスキニング方式 シャインブルー方式



各計算式での術後IOL位置(ELP)の計算式

SRK/T式



ELP = 角膜高 (H) + offset
 角膜曲率半径と眼軸長から算出
 ・角膜径 (Cw) => 5.41+0.58412 × 矯正眼軸長+0.098 × K
 ・R = 曲率半径
 ・H = R - √R² - [(Cw × Cw)/4]
 ・offsetはA定数によってのみ決定される。
 offset = 0.62467 × A定数 - 72.083

Haigis式

ELP = a0+a1 × ACD+a2 × AL (a0～a2: 重回帰式による定数)
 前房深さと眼軸長から算出

各IOL度数計算式でELP予測に必要なパラメータ

計算式	AL	K値	ACD	レンズ厚	WTW	etc
SRK II	○					
Binkhorst II						
OKULIX	○					
Holladay I	○	○				
SRK/T	○	○				
HofferQ	○	○				
Holladay II	○	○	○	△	○	○
Haigis	○		○			
Olsen	○	○	○			
Barrett	○	○	○	△	△	
Hill-RBF	○	○	○			

AL=眼軸長、ACD=前房深さ、K=ケラト値、LT=水晶体厚、WTW=角膜径

第48回日本眼科手術学会学術総会 教育セミナー
手術に必要な屈折関連の知識

屈折ターゲット

筑波大学 長谷川優実

IOLの種類から考える

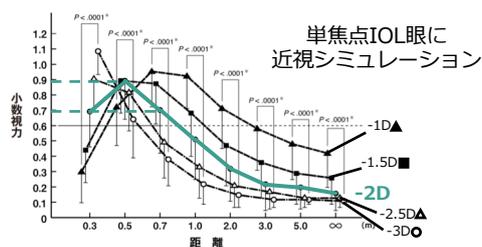
- 3焦点・2焦点 … 基本的に正視狙い
 - EDoF
 - Monofocal +
 - 単焦点
- 屈折ターゲット考慮必要
- 患者のライフスタイル
 - 焦点深度曲線

ライフスタイルから考える

どこを裸眼で見たいか（眼鏡をかけられない時）

- 化粧
- 仕事（入浴介助・調理場など）
- 趣味（水泳・寝ながらスマホなど）

30-70cmで0.6以上見えるには-2.0D



「遠く・近く」を具体的に確認する

近くを裸眼で見たいです

どこを裸眼で見たいですか？

テレビ・室内
(遠く: 100m)

30-40cm

術前の屈折から考える

- 遠視（裸眼視力↓） … 遠くも近くも見えない
- 軽度遠視～正視 … 遠くはよく見えている
- 中等度～強度近視 … 近くは裸眼？
- 最強度近視 … 遠くも近くも見えない
- 病的近視・不同視 … 特殊例

軽度遠視～正視は「裸眼視力が低下する」説明

- 老眼鏡使用のみ、裸眼視力良好例、正視狙い



正視あわせ：屈折誤差で裸眼視力が下がる可能性
 近方合わせ：今より眼鏡使用頻度が増える
 本当に「近く」？

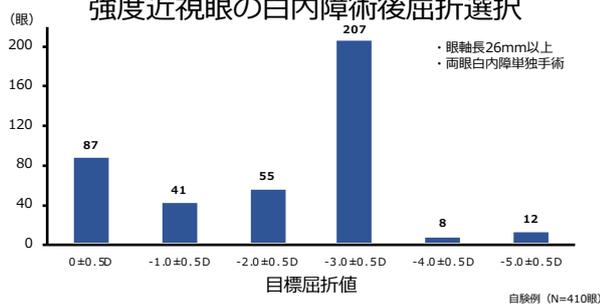
中等度～強度近視は近方作業距離を確認

- 近視眼では作業距離が近い Bao J, et al. J Optom Vis Sci 2015;92:908
- 遠方は眼鏡・近方は裸眼で見ていることがある



正視あわせ：近くは見えなくなる、と説明
 近方合わせ：狙いによる近方作業距離を確認しておく

強度近視眼の白内障術後屈折選択



病的近視症例ではどれくらいの近視にする？

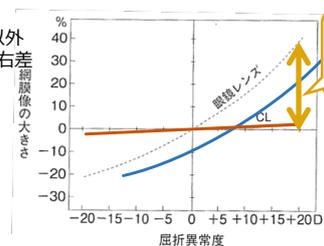
➔ 接近視が必要

- -5Dくらいに近視を減らす
- 視機能不良例は-8~-10D
- 術前の視距離を参考にする

鳥居良彦, 他. 監眼 1994;48:869
 大内雅之. MB OCULI 2016;45:56
 山出新一. 眼科診療プラクティス52 (臼井正彦編) 文光堂 1999:88
 吉村尚子, 他. 視能訓練士協会誌 2002;31:131

屈折性不同視は眼鏡矯正では不等像視を生じる

眼軸長以外
屈折の左右差



網膜像左右差
↓
不等像視

眼鏡矯正の片眼手術
→ 僚眼の屈折に
合わせる

平井宏明. 眼光学の基礎 (西信元編) 金原出版 2003:49

軸性不同視は術後左右同じ屈折にして大丈夫？

- 不等像視のリスク

Gobin L, et al. J Cataract Refract Surg 2008;34:1353
 Krizok T, et al. Klin Monats Augenhkd 1996;208:477

- 当院症例：33/205例 1mm以上の眼軸長差
→ 左右同じ屈折で不等像視の訴えなし

- 1mm以上の眼軸長差
→ 術前眼鏡矯正であれば不同視を残す

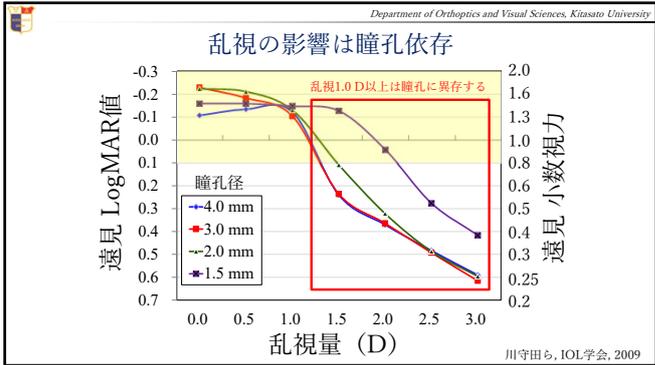
大内雅之. MB OCULI 2016;45:56

Department of Orthoptics and Visual Sciences, Kitasato University

乱視の基本的知識

北里大学医療衛生学部視覚機能療法学
川守田 拓志

1



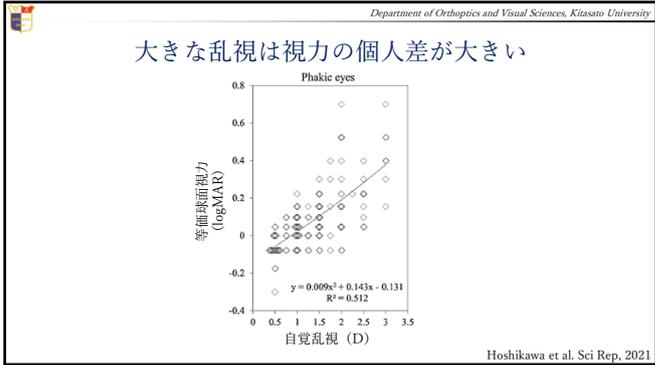
2

Department of Orthoptics and Visual Sciences, Kitasato University

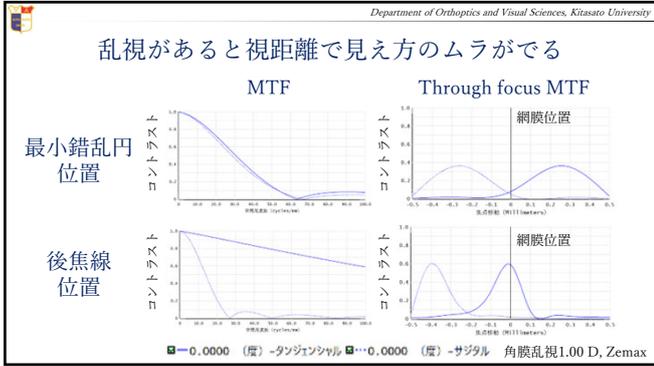
自覚と他覚乱視の不一致は起こっても不思議ではない

計測領域の差

3



4



5

Department of Orthoptics and Visual Sciences, Kitasato University

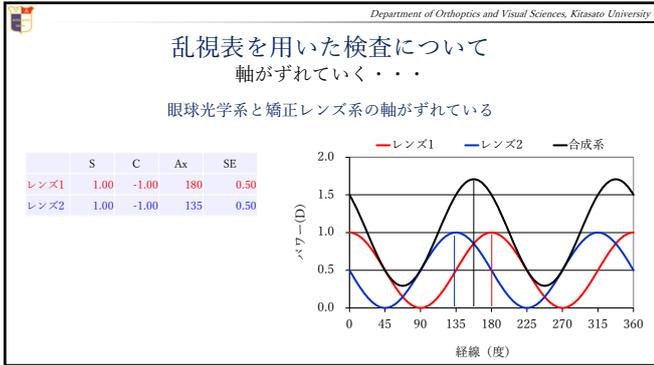
クロスシリンダーによる乱視検査の実際

1番

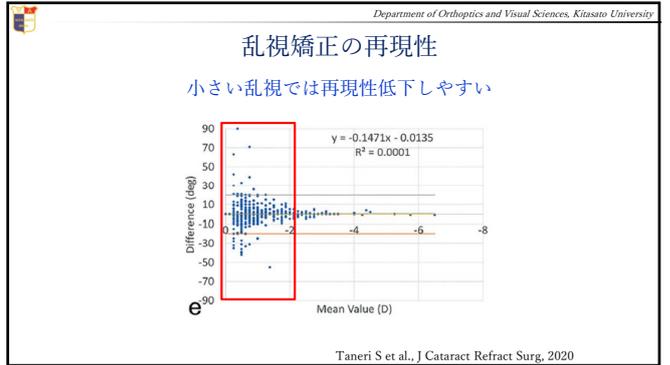
2番

ここを見やすいと答える人がある

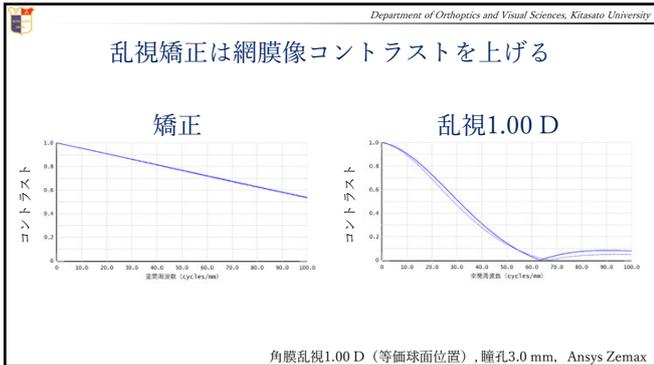
6



7



8



9

Department of Orthoptics and Visual Sciences, Kitasato University

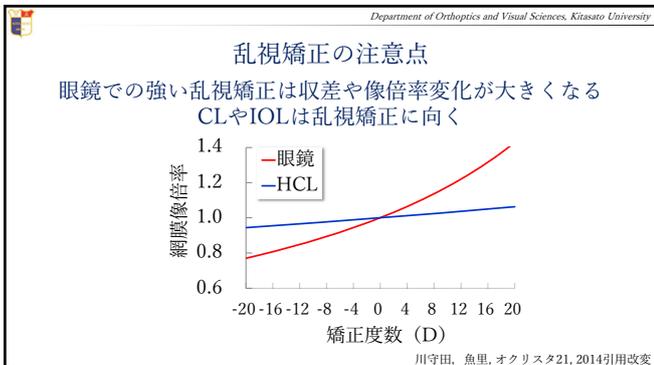
他にもある乱視矯正への期待

乱視矯正で眼疲労・眼精疲労の緩和への期待

Chaudhry M, et al., Int J Ophthalmol 14, 2021

涙液状態と視距離、作業時間には注意

10



11

Department of Orthoptics and Visual Sciences, Kitasato University

まとめ

- 乱視検査と矯正法の基本をおさえる
- 乱視矯正が日常生活に与える価値と注意点を示した

基本と注意点を踏まえれば積極的な矯正が望まれる

12

手術に必要な瞳孔、高次収差の知識

1. 高次収差

1. 波面センサー (KR-1W)
 - 角膜前収差と内部収差 (角膜後面、中間透光体)
2. 前眼部OCT (CASIA2)
 - 角膜前収差と角膜後収差

2. 白内障の見え方

3. IOLの見え方

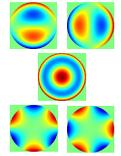
1. 3焦点トーリックIOL挿入眼の視力に影響する因子
2. 瞳孔
 1. 偽調節
 2. 不快光視現象 (dysphotopsia)

行岡病院 大塚

高次収差

1. 定性的特徴 (単独の場合)

- コマ収差 (coma): blur, double vision (俗にいう乱視)
- 球面収差: glare, halo, 夜間の近視 (night myopia)
- トレfoil (trefoil): starburst, comet tails



2. 定量的評価

- 網膜像のボケは、焦点を結ぶのが網膜の前でも後でも、効果は同じ
- 高次収差は各Zernike係数の二乗の和の√(平方根)で表される
- 各Zernike係数には正規化係数がかけられていて、root mean square (RMS, 単位はμm)で表される
- 若年者の正常眼での高次収差は非常に少なく、0.09±0.10μm (4mm瞳孔)程度

行岡病院 大塚

高次収差

では視機能低下を起こすほどの高次収差の最低値は？

- 「わかりやすい屈折誤差」との比較
- 屈折度数 (単位はD) からZernike係数 (μm) への変換

$$C_2^0 = -\frac{r^2(2\text{Sph} + \text{Cyl})}{8\sqrt{3}}$$

(ここで、Sph:球面度数、Cyl:円柱度数、r:瞳孔半径(mm))

- この式に、視力の不自由を感じるのに最弱の近視、Sph=-0.5(D)、Cyl=0(D)、瞳孔径 4(mm)を代入

$$C_2^0 = -\frac{2^2(2(-0.5) + 0)}{8\sqrt{3}}$$

$$= \frac{1}{2\sqrt{3}} \approx 0.29$$

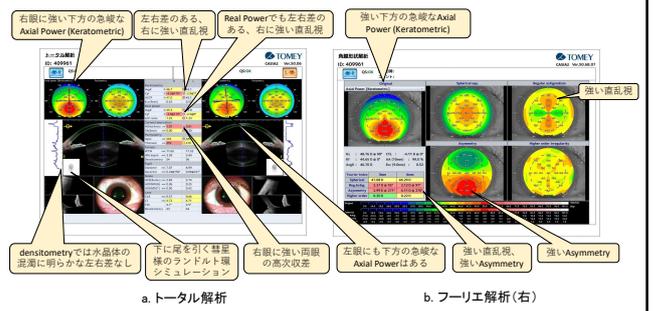
4mmのおにく(0.29)



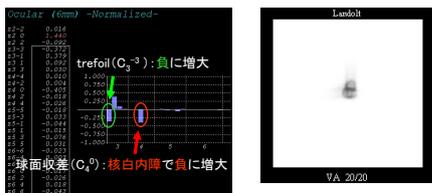
- 全高次収差の和が0.29μmを超えると視機能低下 (実際は収差間の相互作用あり)

行岡病院 大塚

角膜の高次収差 (前眼部OCT CASIA2)
白内障手術目的で紹介された円錐角膜症例



高次収差による3重視 (波面センサー (KR-1W))



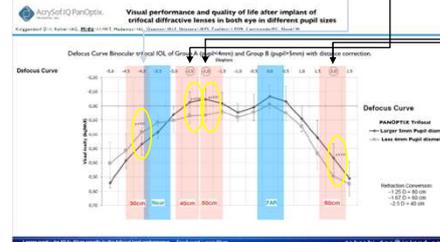
a. 眼球の収差 b. ランドルト環シミュレーション

波面センサー、高次収差のうちtrefoilおよび球面収差の負の増大(a)、ランドルト環シミュレーション(b)にて主訴の単眼3重視が確認できた。

二宮欣彦: 角膜と眼の光学特性 (収差など)。眼科プラクティス 眼のバイオメトリー、277-284、文光堂、2009。

瞳孔径と3焦点IOLの視力の関係

- Mesopic pupillometry less than 4 mm (Group <4) vs larger than 5 mm (Group >5)
- The Group >5 performed better in the vergencies of -2.5D (40 cm), -2.0D (50cm) and +2.0D
- The Group <4 was better in the vergence of +4.0D (25cm).



- Group >5の長所は PanOptix® Trifocalの回折領域と一致
- Group <4の長所は小瞳孔の偽調節量への因子か？

行岡病院 大塚

3焦点IOLと瞳孔径の関係

- 瞳孔径が大きい
 - IOLの回折構造の恩恵を受けやすい可能性
 - (高次収差、散乱は増加する)
 - 不快光視症 (dysphotopsia)
- 瞳孔径が小さい
 - 偽調節への関与が大きくなる
 - コントラスト感が低下

行岡病院 大塚

dysphotopsia

- Unwanted optical images
- a leading cause of patient dissatisfaction after uncomplicated cataract surgery
- Positive dysphotopsia: bright artifact of light
 - arcs, streaks, starbursts, rings, or halos
- **Negative dysphotopsia**: absence of light on a portion of the retina described as a dark, temporal arcing shadow

行岡病院 大塚

模型眼

- 術前 (有水晶体眼) ・ 術後 (IOL眼) とともに正視眼とする
- 角膜と水晶体もしくはIOLの2レンズの組み合わせレンズの第2節点 (N_2)

術前
(水晶体)

術後
(IOL)

- 水晶体は分厚い
- 水晶体の直径は大きい
- 虹彩は水晶体に乗っかって水晶体中央が前に突出
- 虹彩は水晶体に重なって隙間はない

- IOLは薄い (高屈折率)
- IOLの光学部の直径は小さい
- 虹彩面はIOL面に平行
- 虹彩とIOLの間に前後の隙間がある

術前
(水晶体)

術後の重ね合わせ

CASIA2 advance
白内障術後検査

行岡病院 大塚

模型眼 (術後: IOL眼)

- 視野 (光を感じる範囲)
 - 固視点からの光はfoveaに
 - IOLで屈折する臨界角の光線
 - IOLを通る光のRetinal Field Angle
 - IOLを通過しない光 (IOL縁)
 - IOLを通過しない光 (瞳孔縁)
 - IOLを通過しない光の作るRetinal Field Angle
 - IOLを通る光とIOLを通過しない光のGap

耳側視野に認められるnegative dysphotopsia

Holladay JT. J Cataract Refract Surg 2017

行岡病院 大塚

Take Home Message

- 高次収差
 - 波面センサー(KR-1W)
 - 白内障の見え方: 例) 高次収差と3重視
 - 前眼部OCT (CASIA2)
 - トータル解析、角膜形状解析 (フーリエ解析)
- 瞳孔
 - 個体差、個体内変動、測定機器・測定条件による変動
 - 3焦点トーリックIOL挿入眼の瞳孔と視力
 - 大きいほうがIOLの回折領域を有効に利用できる
 - 小さいほうが偽調節に有利、ただし網膜への光量の低下

行岡病院 大塚

Take Home Message

- 瞳孔
 - 不快光視現象 (dysphotopsia)
 - 瞳孔縁を通る光 (IOLを通過する・しないのGap)
- IOLの見え方
 - 瞳孔径、高次収差の情報などから、シミュレーションにより、**見え方 (optical performance)** の予想は可能となった (例 ランドルト環シミュレーション)。
 - しかしながら、**視力**や**満足度**のような**visual outcome** の予測は難しい。患者本人の見え方の経験・判断の見地が欠けているからで、個体差があり予測不可な**心理量**である。

行岡病院 大塚