

乗務員の健康管理 サーキュラー

屈折矯正手術



東京慈恵会医科大学眼科

小川 俊平

一般財団法人 航空医学研究センター

1. はじめに

これまで当たり前とされていた“裸眼で遠方のものを見る”という行為は、人類にとってはもはや当たり前とは言えない時代となって来ました。近視の増加は全世界的な問題です。今後10年間で近視は世界の1/3、25億人まで増加するという予測もあります。特にアジア圏では近視の割合が急増しています。中国では60年前まで10～20%であった近視人口の割合が、約90%に上昇。また韓国ソウルの調査でも、19歳男子の96.5%が近視であったと報告されています。本邦でも全人口の約7割が近視との調査結果があります。

これまで近視に代表される屈折異常(近視、遠視、乱視などの総称)の矯正には長らく眼鏡が主流として用いられて来ました。しかし現在では、ハードコンタクトレンズ、ソフトコンタクトレンズ、LASIK(レーシック)、オルソケラトロジー、そして眼内コンタクトレンズなどが利用可能となっています。本稿では基本的な屈折状態、屈折異常に対する現在の航空身体検査基準

を確認するとともに、各種の屈折矯正手術について解説致します。

2. 眼の屈折状態

眼の屈折状態は、眼の力が抜けた無調節の状態で、無限遠からの光(平行光線)が網膜面に像を結ぶ位置により、正視、近視、遠視、そして乱視の4つに分類されます(図1)。正視は、網膜面上に像が結ぶ状態。近視は、像が網膜面よりも前方に像が結ぶ状態。遠視は、網膜面より後方に像が結ぶ状態。乱視は、屈折力が屈折点により異なるために、焦点を結ばない眼の状態。乱視は、レンズにより矯正できる正乱視と矯正不能な不正乱視に分けられます。

3. 眼の航空身体検査基準

安全な航空機運航のために航空法施行規則、別表第四に身体検査基準が定められており、これを満たすか

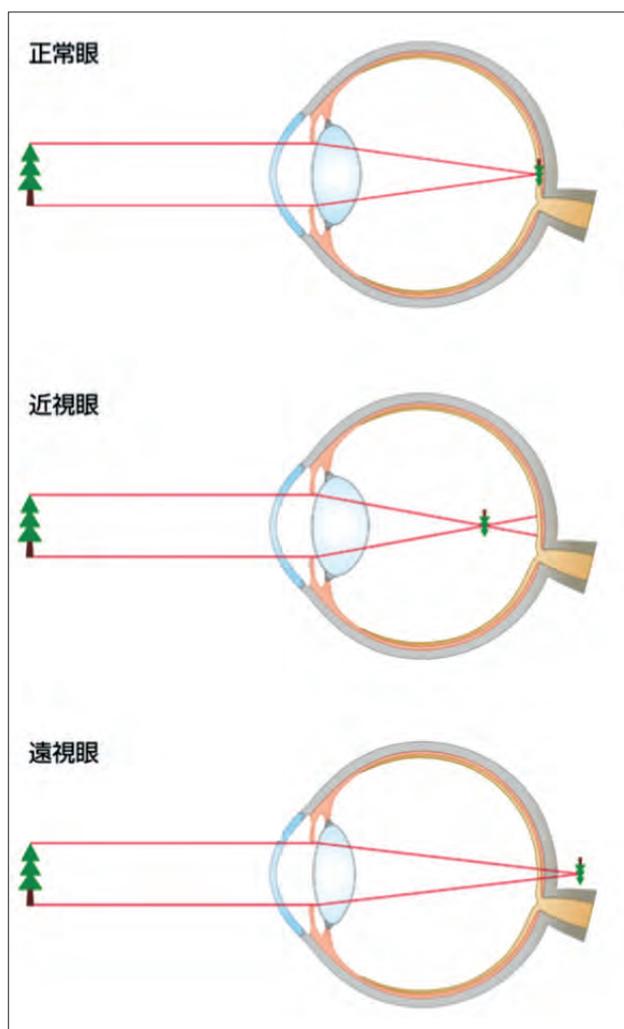


図1. 屈折状態。上段)正視。無調節の状態
で、平行光線が網膜面上に結像する眼の状
態。中段)近視。無調節の状態で、平行光
線が網膜の前方に結像する眼の状態。下段)
遠視。無調節の状態で、平行光線が網膜の
後方に結像する眼の状態。

(日本眼科学会HP、http://www.nichigan.or.jp/public/disease/hoka_kinshi.jspより引用改変)。

(1) 視力の日内変動(同日3回以上の測定結果)
(2) コントラスト感度
(3) グレアテスト
(4) 角膜形状解析

表1. 屈折矯正術後の検査項目。

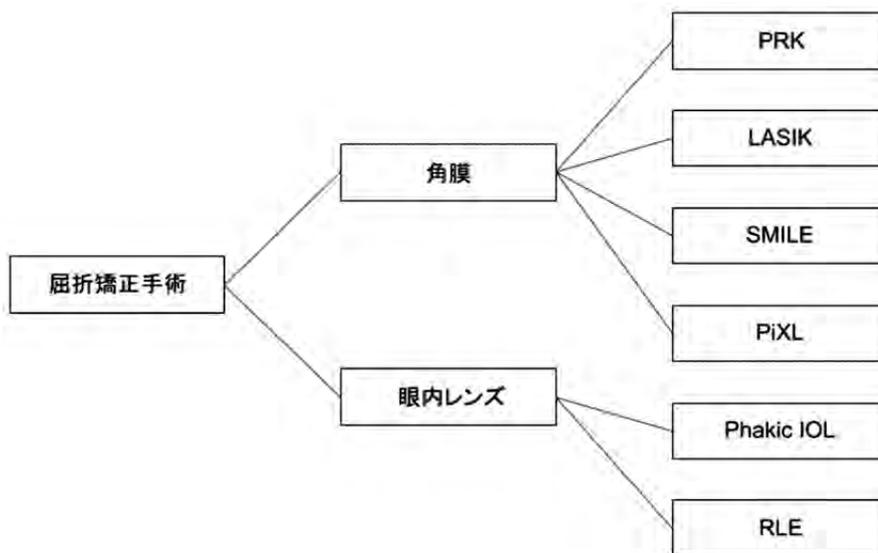


図2. 屈折矯正手術の種類。角膜で矯正する方法と眼内レンズ挿入により矯正する方法に大別される。

PRK : photorefractive keratectomy, LASIK : laser in situ keratomileusis, SMILE : small incision lenticule extraction, PiXL : photorefractive intrastromal cross-linking, IOL: intraocular optical lens RLE : refractive lens exchange.

どうかの判断基準が航空身体検査マニュアルに記されています (<https://www.aeromedical.or.jp/manual/index.htm>)。原則として現行で認められている屈折矯正方法は眼鏡とコンタクトレンズのみであり、“屈折矯正手術”、“オルソケラトロジーによる矯正”は不適合条件であることに注意が必要です。

ただし、4-3項において「屈折矯正手術の既往歴があり、屈折矯正手術から6ヶ月以上が経過した時点において、症状が安定し、視機能が基準を満たしている場合は適合とする。」と適合状態が追記されています。つまり過去に安全に施行された手術の結果、視機能が基準を満たすものは身体検査をクリアできます。しかし、新規に手術を受けた場合は手術記録を含む臨床経過に加えて、表1に示した検査結果を添えて国土交通大臣の判定を受ける必要があり、手術後2年間は1年毎に再確認が必要となります。

ここで認められている屈折矯正法はLASIK、RK（放射状角膜切開術、後述）、PRK（レーザー屈折矯正角膜切除術、後述）に限るとされています。屈折矯正手術は、角膜で矯正する方法と眼内レンズにより矯正する方法に大別されます（図2）。屈折矯正手術を考慮される際

は、慎重に適応を相談して下さい。以下、代表的な屈折矯正手術の概要についてご説明致します。

4. 屈折矯正手術を受けられる人、受けられない人

屈折矯正手術を受けるための絶対的な基準は存在しません。基本的に、18歳以上の成人で、近視・遠視・乱視が安定しており、手術によって眼鏡やコンタクトレンズなしで遠方がおおむね見えるようになりたい方のすべてに手術の適応があります。その中でも特に、術後に生じる多少の屈折誤差を理解し、手術後も場合によっては眼鏡を使用することも構わないと考える人が最も手術の良い適応となります。手術後多少の見え方の質の低下や左右差よりも、眼鏡やコンタクトレンズの装用による煩わしさをなくしたいという、便利さ > 見え方の質という人の場合、ほとんどの場合手術の結果に満足できます。

エキシマレーザー *手術（PRK・LASIK）は-6D以上の軽度・中等度近視が、有水晶体眼内レンズ手術は-6Dを超える強度近視に行うことが一般的となっていま



禁忌・実施不能	慎重な判断が必要
円錐角膜およびその疑い #、*	緑内障 #、*
活動性の外眼部炎症 #、*	全身性の結合組織疾患 #、*
白内障(核性近視) #、*	ドライアイ #、*
ぶどう膜炎などに伴う活動性の内眼部炎症 #、*	抗精神薬(ブチロフェノン系向精神薬など)の服用者 #
重症の糖尿病や重症のアトピー性疾患など、創傷治癒に影響を与える可能性の高い全身性あるいは免疫不全疾患 #、*	角膜ヘルペスの既往 #
妊娠中または授乳中の女性 #、*	屈折矯正手術の既往 #
浅前房および角膜内皮障害 *	円錐角膜疑い #、*

表2. 屈折矯正手術の適応禁忌および慎重例。

; LASIKの禁忌および慎重例、* ; 有水晶体眼内レンズに対する禁忌および慎重例。

す。一方で、眼の状態から手術を受けることが出来ない(禁忌)という場合があります。日本眼科学会のガイドラインから手術不可(禁忌)項目をお示します(表2)。

*エキシマレーザーとは、媒質として希ガスやハロゲンなどの混合ガスを用い、パルス放電によって励起された希ガス原子とハロゲン原子によって形成されるエキシマからの放射光により、パルス発振するガスレーザーのこと。これを用いて角膜実質を蒸散させることで、角膜の切除を行う。

5. レーザー角膜内切削形成術 (LASIK : laser in situ keratomileusis、レーシック)

LASIKは角膜による屈折矯正手術の代表的な術式です。角膜表層部を130 ~ 160 μm 前後の厚さで薄く削

って角膜のフラップ(弁)を作り、これを反転して露出した角膜実質にエキシマレーザーを照射し、角膜実質を切除することによって近視や乱視の矯正を行います。角膜実質切除後にフラップを元に戻すため、角膜表面の上皮がもとの状態で保存されるため、術翌日からの高い視力と痛みが少ないという特徴があります。

角膜には生理的に必要な厚みがあります(400 μm 程度)。近視や乱視の程度が強くと、角膜の切除量が多くなってしまう場合や、もともとの角膜が薄い場合など、残存角膜の厚みが400 μm を確保できない場合は、LASIKが不適応となることがあります。

従来は角膜フラップを作製する際にマイクロケラトームという電動ブレードの器械を用いていましたが、現在ではフェムトセカンドレーザー*を用いることが主流になっています(図3)。レーザーを用いることに

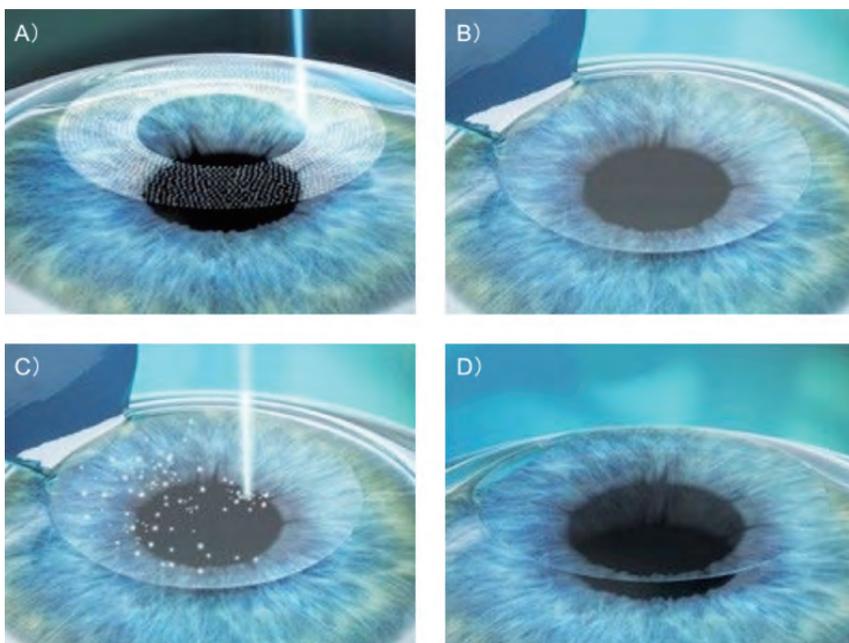


図3. フェムトセカンドレーザーを用いたLASIK。A)フェムトセカンドレーザーでフラップを作成。以前はマイクロケラトームと呼ばれるブレード(刃物)で作成していた。B)角膜フラップを反転。C)エキシマレーザーを照射し、角膜実質組織を切除。角膜の屈折を減らすことで近視を軽減する。D)角膜フラップを戻し、実質を被覆する。

(Zeiss社HPより作図、https://www.zeiss.co.jp/meditec/products/ophthalmology-optometry/cornea-refractive/laser-treatment/femtosecond-laser-solutions/visumax.html?cq_ck=1344349757170#inpagetabs-2)

より大きさや厚みが均一な角膜フラップを作ることができ、術後の接着が良いとされています。ただし、角膜に濁りがある人、目が小さい人ではレーザーが使用できない場合があります。

*フェムトセカンドレーザー；フェムト秒（1000兆分の1、10のマイナス15乗）という極めて短いパルス幅をもつパルスレーザーであり、超短パルスレーザーと呼ばれる。光は1秒間に約30万km（地球7周半の距離）を進むが、その光でさえも1フェムト秒の間には約0.3 μm程度しか進むことができない。

眼には近視、遠視、乱視以外に高次収差と呼ばれる、より細かい眼の光学的な歪みが存在します。ウェーブフロントと呼ばれる高次収差の測定技術を使い眼の状態を測定し、手術時に高次収差も補正しようという技術をウェーブフロントLASIKと呼びます。

5. レーザー屈折矯正角膜切除術 (PRK : photorefractive keratectomy、ピーアールケー)

角膜上皮を剥離して角膜の中心部に直接エキシマレーザーを照射し、角膜の形状を平坦化させる非常にシンプルな術式です。LASIK以前はエキシマレーザーを使用した標準的な屈折矯正手術でした。LASIKに比べて、一度剥離した上皮が再生するのを待たなくてはならないため、視力回復に時間がかかります。術後1ヶ月以降ではLASIKと差はありません。また術後早期は上皮が欠損した状態となるため、LASIKに比べて疼痛があります。しかしPRKも長期に安定し、確立された方法です。

特にボクシングのような目を打撲する可能性が高い

スポーツをする人では、外力によってフラップがずれてしまう可能性があるため、角膜フラップを作らないPRKが勧められます。また近視が強い場合や角膜が薄い場合には、LASIKより角膜の切除量が少ないPRKであれば施術可能な場合があります。角膜上皮を剥離して実質のみをレーザー照射する方法としてこの方法から派生したLASEK（レーセック）やepi-LASIK（エピレーシックス）がありますが、基本的にはPRKと同じものです。

6. 放射状角膜切開術 (RK : radial keratotomy、アールケー)

放射状角膜切開術 (radial keratotomy: RK) は1980～1990年代に近視矯正手術として行われていた術式で、瞳孔を中心として角膜前面に放射状の切開を加え、角膜を平坦化させることで近視を矯正する方法です（図4）。1980年代より1990年代にかけて、米国、ソビエトを中心に多数施行されてきました。術後の角膜切開創が脆弱となることから様々な術後合併症が報告されています。具体的には、機能的な合併症として、羞明（まぶしさ）、グレア、屈折、視力の日内変動、低矯正、過矯正、乱視などがあり、器質的合併症として、角膜上皮障害、感染、角膜内皮細胞密度の減少、角膜破裂などがあります。今日では施行されることは極めてまれですが、角膜のカーブを変化させることで屈折矯正を行うというアイデアは、現在に引き継がれています。航空身体検査基準で、屈折矯正手術の一術式として認められています。

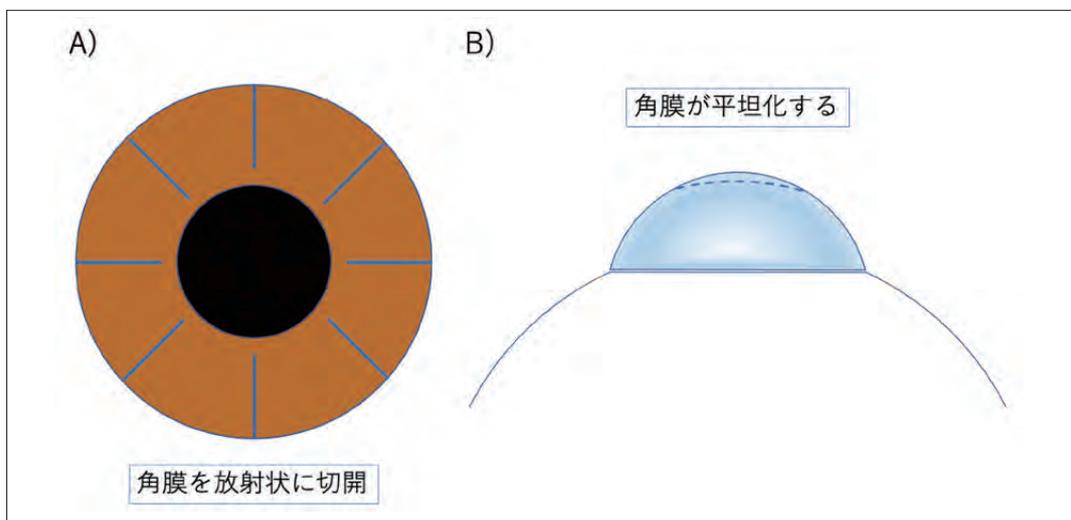


図4. 角膜放射状切開術のシエマ。A)前眼部（正面）、青線が角膜の放射状切開線。B)前眼部側面像、術後に角膜が平坦化（点線）することで近視を矯正する。

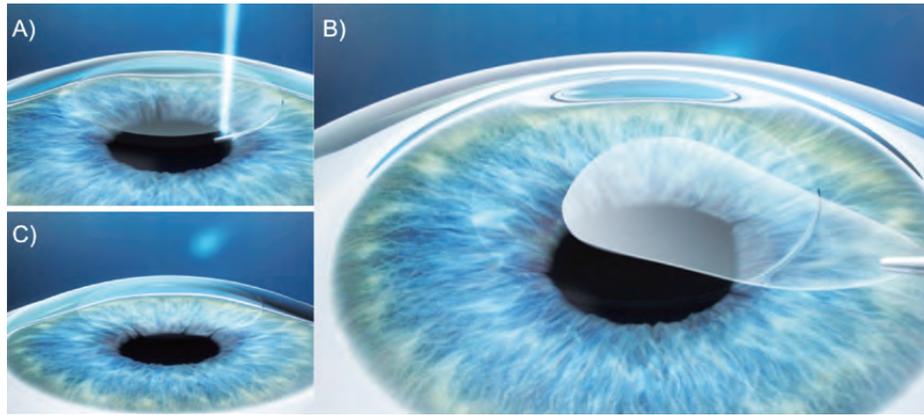


図5. SMILE手術のシエマ. A) フェムトセカンドレーザーによる、レンチクル(角膜実質シート)作成と角膜切開創の作成、B) レンチクルを角膜切開部より引き抜いて除去、C) レンチクル除去により角膜形状が平坦化される。小さな切開創のみが残される。(Zeiss社HP、<https://www.zeiss.com/meditec-patient/int/laser-eye-surgery/treatment-options/smile.html#treatment-steps>より作図。)

7. ReLEX (refractive lenticule extraction、リレックス)、SMILE (small incision lenticule extraction、スマイル)

ReLEXは、フェムトセカンドレーザーを角膜フラップ作製だけでなく、角膜実質の切除にも使用する手法です。エキシマレーザーでは角膜実質を蒸散することによって角膜実質を切除しますが、ReLEXでは角膜実質をシート状(レンチクル)に切って、小さな切開創から摘出します。

ReLEXの中でもSMILEは、LASIKのような大きなフラップを作製せず、2～3mmの切開層から角膜レンチクルを取り出すため、メリットとして角膜の表面への影響が少なく、強度が保たれることが挙げられます。またLASIKと比較して、角膜上皮神経線維へのダメージが少ないことから再近視化(近視の戻り)やドライアイ症状を生じにくいというメリットがあります。逆にデメリットとして、術後の視力回復に時間がかかること、レンチクルを摘出した層間に角膜混濁が生じることがあること、軽い近視には不応であること(レンチクルが薄くなりすぎるため)などが挙げられます。LASIKと違い、フェムトセカンドレーザーがないと手術ができません。またレーザー装置自体が非常に高価なため、なかなか一般に普及していないという現状があります。

8. 有水晶体眼内レンズ (phakic IOL : phakic intraocular lens)

有水晶体眼内レンズ(phakic IOL)手術は、眼内に矯

正度数のあるレンズを挿入して、屈折異常を治す手術です。レンズの挿入位置によって、前房型(隅角固定・虹彩固定)および後房型(毛様溝固定)レンズに分類されます。レンズの種類によってそれぞれ特性が異なりますが、ここでは近年手術が増加している後房型phakic IOLについて概説します。

phakic IOLはLASIKやPRKと違って角膜形状を変化させない手術であるため、自身の眼球の形態を温存できることが大きな特徴です。また、挿入したレンズは技術的には摘出可能であり、可逆的手術であることも、利点となっています。

本邦では2010年にimplantable collamer lens (ICL)、翌年には乱視矯正用のICLが後房型有水晶体眼内レンズとして承認されました。2015年に日本白内障屈折矯正手術学会が、国内で施行された屈折矯正手術のうち15,011眼を調査したところ、約80%がLASIK、約9%が後房型phakic IOLを選択していました(図6)。後房型phakic IOLでは、術後の瞳孔ブロック(前房水の流れが障害され眼圧上昇が生じる)を予防するために、術前に虹彩切開処置が必要ですが、2014年にレンズ中央に直径約0.36mmの穴が開いた貫通孔付き有水晶体眼内レンズ(Hole ICL)が登場し、瞳孔ブロックが生じなくなり、手術の安全性が増しました。それにより、近年はphakic IOLの人気の高まっています(後述)。

手術の適応(表2)は、年齢21～45歳で、高齢者特に50歳以上では術後白内障の発生頻度が上昇するため、注意が必要です。前房深度(角膜内皮～水晶体前面の距離)は2.8～3.0mm以上必要で、いわゆる浅前房は手術が難しくなり、角膜内皮や水晶体を損傷する可能性

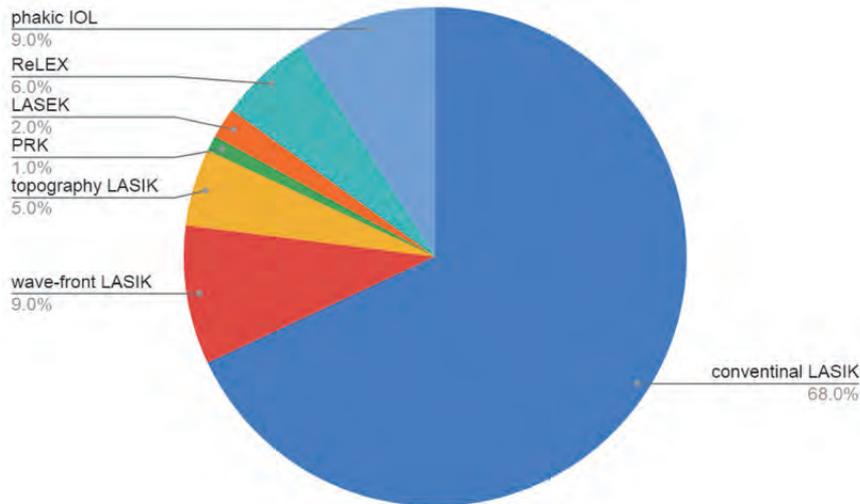


図6. 国内で施行された屈折矯正手術の術式の割合(15,011眼を調査)。
(Kamiya et al. 2017)を引用改変。

があるため適応がありません。術前屈折度数(近視の度数)については、通常-6D以上(数値では以下)の強度近視を適応としており、-15.0D以上(数値では以下)は慎重適応となります。また、LASIKでは矯正できない高度遠視も矯正できる場合があります。

phakic IOLは、LASIKと違って角膜厚の制限はありませんが、角膜内皮細胞密度が十分あることが望ましいです。また、角膜を切除しないため、術後のドライアイが少ない、ハロー・グレアが少ないといった利点があり、レーシックと比較して、高い安全性・有効性だけでなく術後視機能の優位性が報告されています。

有水晶体眼内レンズの問題点として術後白内障の発症、術前レーザー虹彩切除の必要性が挙げられますが、

先に述べたように近年、これらの術後合併症の軽減を目的としてHole ICLが使用可能となりました。従来のレンズと比較しても眼球光学特性、高次収差、コントラスト感度において本質的に同等であり、自覚的前方散乱やグレア・ハローにおいても有意差を認めないことがわかっており、今後LASIKに変わる屈折矯正手術の主役となっていく可能性があります。

9. まとめ

屈折矯正手術と航空身体検査基準について概説しました。屈折矯正を考慮された際は、必ず眼科専門医にご相談の上で適応を慎重に判断して下さい。

小川先生御略歴

略歴

- 2003年 東京慈恵会医科大学卒業
- 2008年 東京警察病院眼科
- 2010年 東京慈恵会医科大学附属病院眼科助手
- 2012年 スタンフォード大学心理学部留学
- 2015年 厚木市立病院眼科上席医長
- 2017年 東京慈恵会医科大学眼科講師
- 2019年 東京慈恵会医科大学附属病院眼科診療医長

一般財団法人 航空医学研究センター

〒144-0041 東京都大田区羽田空港1-7-1 第二綜合ビル6F
TEL:03-6459-9970 FAX:03-5756-0139
<http://www.aeromedical.or.jp>

頒布価格100円(消費税別)