

<特集「最新の手術テクノロジー」>

最新の眼科手術テクノロジーについて

田中 寛*, 新開 陽一郎

京都府立医科大学大学院医学研究科視覚機能再生外科学

Recent Ophthalmic Surgical Technologies

Hiroshi Tanaka and Yoichiro Shinkai

Department of Ophthalmology

抄 録

眼科手術における最新のテクノロジーの進化として、硝子体手術機器と術中観察システムの改良が挙げられます。硝子体手術機器は眼内に入る器具が小型化され、低侵襲手術である Micro Incision Vitrectomy Surgery (MIVS) が世界的に普及しています。これにより、硝子体関連の疾患に対する治療がより安全になりました。

また、広角観察システムと3Dモニターを使用する head-up surgery も注目されています。広角観察システムを用いることで網膜を広く見ることができ、合併症を減らし手術時間を短縮することが可能となりました。さらに、3Dヘッドアップ手術では、手術チームが同じ3Dビューを大型モニターで共有できるため、手術の精度と教育の向上に寄与しています。

これらの技術革新により、硝子体手術の合併症のリスクが低減されるなど低侵襲化と手術の効率化が図られました。

眼科手術におけるテクノロジーは絶えず進化しており、デジタル機器や複合技術の進歩によりさらなる改善が期待されます。低侵襲で小切開の硝子体手術技術の普及により、様々な眼疾患に対する安全かつ効果的な治療が可能となり、多くの患者に恩恵をもたらすことが期待されます。

キーワード：眼科，硝子体手術，広角観察システム，head-up surgery.

Abstract

The recent ophthalmic surgical technologies include improvements in vitreoretinal surgical equipment and intraoperative visualization systems. Vitreoretinal surgical equipment has been miniaturized, leading to the widespread adoption of Micro Incision Vitrectomy Surgery (MIVS), a minimally invasive procedure. This has made treatments for vitreoretinal conditions safer and more effective globally.

Moreover, head-up surgery utilizing wide-angle viewing systems and 3D monitors has garnered atten-

令和5年7月12日受付 令和5年7月25日受理

*連絡先 田中 寛 〒602-8566 京都市上京区河原町通広小路上路梶井町465番地

htanakan@koto.kpu-m.ac.jp

doi:10.32206/jkpum.132.08.549

tion. The wide-angle viewing system allows for a broader view of the retina, reducing complications and shortening surgery duration. Additionally, 3D head-up surgery enables the surgical team to share the same 3D view on a large monitor, contributing to improved surgical precision and education.

These technological innovations have resulted in reduced complications and increased efficiency in vitreoretinal surgery. Ophthalmic technology is continually evolving, with advancements in digital devices and integrated techniques promising further improvements. The widespread adoption of minimally invasive vitreoretinal surgery with small incisions allows for safe and effective treatments for various eye conditions, benefiting a large number of patients.

Key Words: Ophthalmology, Vitreoretinal surgery, Wide-angle viewing system, Heads-up surgery.

はじめに

眼科の最新の手術テクノロジーとして、手術関連、特に網膜・硝子体手術領域における硝子体手術機器の進歩、また観察系の進歩の2つが挙げられます。まず、1つ目の硝子体手術機器の進歩としてはMIVS (micro incision vitrectomy surgery) と呼ばれる小切開・無縫合化と硝子体カッターの高回転化による低侵襲硝子体手術の普及が挙げられます。2つ目の観察系の進歩として広角観察システムと顕微鏡を覗かず3Dモニターを用いる heads up surgery が挙げられます。本項目では上記について述べさせていただきます。

まず硝子体手術機器の進歩について説明する前に眼内組織である硝子体 (しょうしたい) について簡単に述べさせていただきます。硝子体の発生については、胎生期に硝子体動脈が眼内に入り込み、その周りに第一次硝子体が形成されます。その後、第二次硝子体の発生とともに、硝子体動脈と第一次硝子体は退縮していき、残された第二次硝子体はその後の硝子体となります。硝子体は、透明で粘性のあるゼリー状の物質であり、眼球の水晶体と網膜の間に位置することで、これらの構造を支持しています。主に水と2型コラーゲン繊維から構成されており水が約98%、コラーゲン繊維は残りの2%を占めています。中間透光体として網膜への光を届ける役目や、物理的な外力より眼組織を保護する役割などを有しております。その硝子体は加齢や疾患に伴い、混濁や収縮、増殖組織を生じると、

網膜や血管を牽引し、視機能障害をきたすことがあります。そのような場合に硝子体手術を行い、原因を除去することで元の網膜組織へ導くようにします。手術中、硝子体を観察する際には、ライトを照射すると白い「モヤ」のように見せたり、より明確に位置を確認したい場合には、眼内にトリウムシノロンアセトニド製剤という可視化剤を投与して、硝子体を視覚的に確認し切除します。

次に、硝子体手術の進歩について、いままでの変遷を含めて述べさせていただきます。1971年に、網膜硝子体手術治療がRobert Machemerにより世界で初めて報告されました¹⁾。特徴としては、現在の手術と同様に経毛様体扁平部より眼内へアプローチする術式を用いて1つの創口から3mm程度の大きな傷をあけて行う、初めてのclosed eye surgeryでありました。ただ、一箇所から眼内に挿入し、硝子体切除吸引と灌流機能、また光源も一体となっている機械であり、大型でかつ硝子体切除においてローテーションカッターを用いていることで網膜などの組織を巻き込んでしまうリスクも高い手術でした。1990年代に入り、直径1mm程度の創口を3箇所作成し、灌流、光源、硝子体カッターの機能を分散して手術を行う3ポートシステムを採用した20 gauge (G) 硝子体手術が主流となりました。そして2002年、Fujiiら²⁾は、無縫合で手術をすることが可能となる25G硝子体手術システムを導入し、2005年には、Eckardt³⁾は、20Gシステムの創口の大きさをカバーする、また25Gシステ

ムの手術器具の剛性の弱さをカバーするため、その中間の23G硝子体手術システムを導入しました。しかし25Gや23Gシステムでは創口の自己閉鎖を得るためにはトロカールを斜めに刺入しなければならず、強度近視や小児など強膜が柔らかくて薄い症例などでは自己閉鎖が得られずに縫合が必要となります。2010年のパイロットスタディで、大島ら⁴⁾は、新しい直径0.4mmの27Gシステムを開発しました。27G硝子体手術は、従来の23Gおよび25Gの手術法に比べて、より小型で細い器具を使用することが特徴です。そのため創口が小さく自己閉鎖が可能で、創傷治癒の早さ、結膜瘢痕の少なさ、患者の快適性の向上、術後炎症の減少による視力回復の早さ、術後の乱視変化の減少など、数多くの利点があることも報告されました⁵⁾。さらに、縫合を必要としないことで、手術中の閉創時間も短縮されました。つまり、年代とともに硝子体カッターがより小型化しており、特に27G硝子体手術システムはこれまでで開発された手術器具の中で最も小さく、より低侵襲な手術が期待されています(図1)。

上記の硝子体カッターのsmall gauge化と並行して硝子体カッターの高回転化が進められてきました。30年以上前の硝子体カッターはリユースであり、先端の刃物の劣化に伴い硝子体切除効率の低下が問題となっておりました。その後、硝子体カッターのディスポーザブル化により、以前よりも安全に硝子体切除が行われるようになりました。カッターの回転数は1500~2000回転/分(CPM)に増加しましたが、吸引のオンとオフ時の揺れ(「ゆらぎ」)はまだ大きく、正常組織を巻き込みリスクが高い状態でした。この問題を解決するため、デュアル空気駆動式カッターが導入されました。この新しいカッターでは、圧縮空気を使用して内筒の動きを制御することが可能となり、その結果、回転数は5000CPMから10000CPM、そして現在では20000CPMまで高速化しました。これにより、術中の「ゆらぎ」が減少し、より安全に手術が行えるようになりました。

次に観察系の進歩についてですが、以前は眼底を観察するために角膜の上にコンタクトレンズを直接のせて、コンタクトレンズのプリズム



図1 硝子体手術機器の変遷

経毛様体扁平部硝子体手術の創始者であるRobert Machemer氏(左上)が開発した当時は約3mm径の器具を眼内に挿入していたが、時代と共に低侵襲手術が求められ硝子体手術のsmall gauge化が進んできている。

や凹凸を利用して眼底を観察しながら硝子体手術を行っていました。ただ、この方法では術中にコンタクトレンズを回転させたり、交換したりする必要があること、また視野も限られるというデメリットが存在していました。その後、広角観察システムの登場により、眼底の半分以上、症例によってはほぼ全体の網膜を一視野で観察することが可能となりました。それによって見えない部位での合併症が減ることによる手術の安全性の向上、また手術時間の短縮に繋がりました。また、屈折の観点から角膜混濁や小瞳孔、空気灌流下での良好な視認性が得られるようになりました。その広角観察システムは接触型と非接触型が存在し、接触型は光学的ロスの少なさより非接触型より鮮明に画像が得られるメリットが存在しますが、非接触型においても角膜上に粘弾性物質をのせるなどの工夫により視認性が向上し、また手持ちの必要がないシャンデリア照明を併用することで双手法が可能であるといったメリットがあり接触型より普及するようになりました。(図2)。

その様な進歩の中で3D heads-up surgeryという、顕微鏡の接眼レンズの代わりに、モニタに表示された術野を見ながら行う手術が登場しました。術者や助手を含め見学者は偏光メガネを装着し大型の3Dモニターを観ながら手術を行います(図3)。そのメリットは、①手術場全員が術者と同一の立体的な画像と視野を共有できる、②デジタル画像の色調を変えることで組織の視認性が向上する、③強拡大により顕微鏡を覗く人の目をこえた解像度が得られる、④複数のデジタル情報を集約できる、といった様々な点が挙げられます。ただ、物理的に場所をとることや局所画像の照度やコントラストの調整が難しいといった限界もあります。現状としては上記①の点より手術教育に有用であるといった点が最も有用ですが、眼内内視鏡を併用した際には顕微鏡とモニターを交互にみる必要があったものが1つのモニターのみで手術を行うことが可能になることや、最近市販化された医療用リアルタイム画像鮮明化装置「MIEr[®](ミエル)」(ロジック・アンド・デザイン社)との併用によ

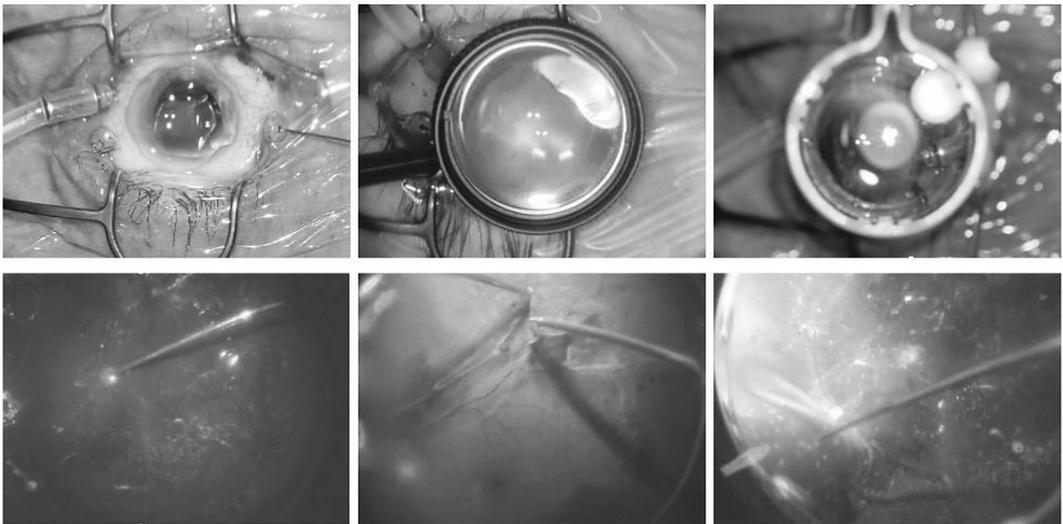


図2 広角観察システムによる観察系の進歩

27G硝子体システムを用いて眼内観察を行う直前に角膜上に粘弾性物質をのせることで良好な視野を確保する(上段左)。広角観察システムに用いる接触型レンズ(上段中央)と非接触型レンズ(上段右)。広角観察システムでは空気灌流下でも良好な視認性が得られ(下段左)、シャンデリア照明を併用することで双手法また眼球圧迫下での手術が可能である(下段中央・右)。

り手術画像がリアルタイムでより鮮明化されることにより、欠点が補われるようになっております。今後はデジタルデバイスの技術向上や複数のデバイスとの組み合わせに伴い、②～④の点がより臨床に還元される時期も近いと思われま

す。上記進歩に伴い、我々は様々な網膜・硝子体疾患に対し良好な結果を収めており、その結果の1つを紹介致します。27Gシステムの使用報告は世界的に増加してきていますが、そのほとんどは黄斑円孔、黄斑上膜などの黄斑疾患の治療についてであり^{6,8)}、いわゆる硝子体手術においては27Gの器具の効率や剛性については議論の余地があります。そこで我々は、裂孔原性網膜剥離の治療における27G硝子体手術の安全性と有効性を評価するために、多施設のレトロスペクティブな調査を行いました。裂孔原性網膜剥離ですが、網膜の下に水、つまり網膜下液が貯留した状態を網膜剥離と呼び、それが裂孔形成に伴うものによるものを裂孔原性網膜剥離 (RRD)

と呼びます。症状としては網膜剥離が起こるとその部位の感度が低下して視野欠損を、そして裂孔形成に伴って出血が起こった場合には飛蚊症を自覚します。また、網膜剥離が黄斑部まで及ぶと、中心視力の低下や変視症を訴えます。裂孔原性網膜剥離の発症年齢は若年者と中高年に2つのピークがあり、若年者では網膜格子状変性に伴った萎縮性円孔が多く、中高年層では後部硝子体剥離に伴う弁状裂孔に起因するものが多くなっています。今回のスタディでは2014年11月から2016年12月の間にRRDに対して広角観察システムを併用した27G硝子体手術を受け、術後最低3ヶ月間は経過観察できた患者406例410眼を対象としました。男性259眼、女性151眼、平均年齢は 59.4 ± 11.5 歳 (平均 \pm 標準偏差) (29 - 86歳)、観察期間は 4.4 ± 2.3 ヶ月 (3 - 12ヶ月)でした。検討項目は術中所見、網膜復位率、眼圧の推移、術前後の視力、術後合併症などとなりました。

結果として、治療を受けた410眼のうち、初



図3 3D heads-up surgery

顕微鏡に装着したカメラの映像を3D画像に変換し、術者は偏光メガネを装着し、その3D映像を観ながら手術を行う。画像はデジタル処理が可能であり、また術者のみならず助手、外回り、見学者も同一画像を見ることが可能となる。

表 今回のスタディと既報との比較

Study	施設数	観察期間(年)	眼数 (n)	Gauge	初回復位率 (%)	最終復位率 (%)
Eric et al ⁹ 2012	1	2000 ~ 2010	93	20.23	95.7	98.9
Wong et al ¹⁰ 2014	1	2005 ~ 2011	189	20.23	78.6	95.2
Kobashi et al ¹¹ 2014	1	2005 ~ 2009	271	25	96.3	100
Yasser et al ¹² 2016	1	2008 ~ 2014	352	23.25	89.8	100
Michael et al ¹³ 2017	1	2013 ~ 2013	175	20.23	86	95.8
MARIO et al ¹⁴ 2017	1	不明	20	27	90	100
Stanisiao et al ¹⁵ 2017	1	2015 ~ 2015	15	27	93.3	100
Shinkai et al 2019	13	2014 ~ 2016	410	27	95.6	100

裂孔原性網膜剥離に対する無縫合27G硝子体手術の初回網膜復位率は従来型硝子体手術と比較した。27G硝子体手術は他のGaugeの硝子体手術と比較しても良好な結果であった。

回復位率は95.6% (392眼) でした。複数回の再手術が必要な症例もありましたが、最終復位率は100% (410眼) でした。この結果は既報⁹⁻¹⁵⁾と比較しても遜色なく、良好な結果でした(表)。黄斑部が剥離していないRRD 226眼 (55.1%) では、logMAR視力は、術前の 0.16 ± 0.51 から術後 0.02 ± 0.14 まで改善しました ($P = 0.11$)。黄斑部が剥離しているRRD 184眼 (44.9%) では、logMAR視力は術前の 1.06 ± 0.77 から術後 0.26 ± 0.35 に改善しました ($P < 0.001$)。術後眼圧は術後1日 (15.7 ± 7.0 mmHg) が最高値でした。全例で創口を縫合することなく、25Gシステムなどのより大きなゲージの器具に変更することはありませんでした。術後1日に410例中14例 (3.4%) に低眼圧が認められたが、1週間以内に改善し、追加手術を必要としませんでした。また術後、感染性眼内炎のような重篤な術後合併症は観察されませんでした。これまでの報告では、23Gおよび25Gシステムの創口閉鎖のための術中縫合の割合は1.3~36.4%であったと報告されています⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾。今回は全例縫合することはなかったのは、創口が小さいことにより自己閉鎖しやすかったと考えられます。また術後の

低眼圧が術後感染性眼内炎のリスクファクターである¹⁸⁾¹⁹⁾との報告がありますが、今回の術後低眼圧は3.4%と低く、眼内炎の発生を認めませんでした。410例の多数例の中、途中で27G以外のシステムに変更することがなかったことは、27Gの器具の剛性や有用性などに問題がなかったと考えられます。現在世界で最小径である27G硝子体手術がRRDの治療において安全かつ有効であることを、多症例において示すことができました。

本稿では、眼科手術テクノロジーについて書かせて頂きました。今後は、デジタルデバイスの技術向上や複数のデバイスの組み合わせにより、観察や手術の精度がさらに向上することが期待されます。さらに、27G手術などの小切開・無縫合手術が一般化し、さまざまな眼疾患において利用されることが予想されます。これにより、より多くの患者に対して安全かつ効果的な治療が提供されるようになることが期待されます。

開示すべき潜在的利益相反状態はない。

文 献

- 1) C Machemer, H Buettner, E W Norton, J M Parel. Vitrectomy: a pars plana approach. *Trans Am Acad Ophthalmol Otolaryngol*. Jul-Aug; 75: 813-820, 1971.
- 2) Fujii GY, De Juan E Jr, Humayun MS, Pieramici DJ, Chang TS, Awh C, Ng E, Barnes A, Wu SL, Somerville DN. A new 25-gauge instrument system for transconjunctival sutureless vitrectomy surgery. *Ophthalmology* 109: 1807-1812, 2002. discussion 1813
- 3) Eckardt C. Transconjunctival sutureless 23-gauge vitrectomy. *Retina* 25: 208-211, 2005.
- 4) Oshima Y, Wakabayashi T, Sato T, Ohji M, Tano Y. A 27-gauge instrument system for transconjunctival sutureless microincision vitrectomy surgery. *Ophthalmology* 117: 93-102.e2. 2010.
- 5) Khan MA, Kuley A, Riemann CD, Berrocal MH, Lakhanpal RR, Hsu J, Sivalingam A, Ho AC, Regillo CD. Long-term visual outcomes and safety profile of 27-gauge pars plana vitrectomy for posterior segment disease. *Ophthalmology* 125: 423-431, 2018.
- 6) Mitsui K, Kogo J, Takeda H, Shiono A, Sasaki H, Munemasa Y, Kitaoka Y, Takagi H. Comparative study of 27-gauge vs 25-gauge vitrectomy for epiretinal membrane. *Eye (Lond)* 30: 538-544, 2016.
- 7) Rizzo S, Barca F, Caporossi T, Mariotti C. Twenty-seven-gauge vitrectomy for various vitreoretinal diseases. *Retina* 35: 1273-1278, 2015.
- 8) Yoneda K, Morikawa K, Oshima Y, Kinoshita S, Sotozono C. Surgical outcomes of 27-gauge vitrectomy for a consecutive series of 163 eyes with various vitreous diseases. *Retina* 37: 2130-2137, 2017.
- 9) Eric W, Geraets R, Johnson M, et al. Pars plana vitrectomy without adjuvant procedures for repair of primary rhegmatogenous retinal detachment. *Retina*, 32: 213-219, 2012.
- 10) Wong C, Wong W, San Yeo I, Lee S et al. Trends and factors related to outcomes for primary rhegmatogenous retinal detachment surgery in a large asian tertiary eyecenter. *Retina*, 34: 684-692, 2014.
- 11) Kobashi H, Takano M, Yanagita T, Shimizu K, et al. Scleral buckling and pars plana vitrectomy for rhegmatogenous retinal detachment: an analysis of 542 eyes. *Current eye Res*, 39: 204-211, 2014.
- 12) Yasser H, Kozue O, Takashi K et al. Success rates of vitrectomy in treatment of rhegmatogenous retinal detachment. *Journal of ophthalmology*, 2016 Jul 13.
- 13) Michael A, George M, Giuseppe C et al. Outcome of primary rhegmatogenous retinal detachment surgery in a tertiary referral centre in Northern Ireland-A regional study. *The Ulster Med J*, 86: 15, 2017.
- 14) Romano MR, Cennamo G, et al. Twenty-seven-gauge versus 25-gauge vitrectomy for primary rhegmatogenous retinal detachment. *Retina Apr*; 37: 637-642, 2017.
- 15) Stanislao R, Silvio P, Barca F, et al. Comparative Study of 27-Gauge versus 25-Gauge Vitrectomy for the Treatment of Primary Rhegmatogenous Retinal Detachment. *Journal of ophthalmology*, 2017. Published online Mar 4.
- 16) Lakhanpal RR, Humayun MS, de Juan E Jr, Lim JI, Chong LP, Chang TS, Javaheri M, Fujii GY, Barnes AC, Alexandrou TJ. Outcomes of 140 consecutive cases of 25-gauge transconjunctival surgery for posterior segment disease. *Ophthalmology* 112: 817-824, 2005.
- 17) Bourla DH, Bor E, Axer-Siegel R, Mimouni K, Weinberger D. Outcomes and complications of rhegmatogenous retinal detachment repair with selective sutureless 25-gauge pars plana vitrectomy. *Am J Ophthalmol* 149: 630-634.e631, 2010.
- 18) Czajka MP, Byhr E, Olivstedt G, Olofsson EM. Endophthalmitis after small-gauge vitrectomy: a retrospective case series from Sweden. *Acta Ophthalmol* 94: 829-835, 2016.
- 19) Bamonte G, Mura M, Stevie Tan H. Hypotony after 25-gauge vitrectomy. *Am J Ophthalmol* 151: 156-160, 2011.

著者プロフィール



田中 寛 Hiroshi Tanaka

所属・職：京都府立医科大学大学院医学研究科視覚機能再生外科学 助教

略 歴：2007年 京都府立医科大学卒業
 2009年 京都府立医科大学眼科学教室 専攻医
 2010年 旦龍会町田病院 医員
 2013年 京都府立医科大学大学院
 2017年 京都第二赤十字病院 医長
 2019年 長寿医療研究センター 医長
 2020年 京都府立医科大学 助教

専門分野：網膜硝子体

- 主な業績：1. Yamamoto A*, Tanaka H*, Toda M, Sotozono C, Hamuro J, Kinoshita S, Ueno M, Tanaka M. A physical biomarker of the quality of cultured corneal endothelial cells and of the long-term prognosis of corneal restoration in patients. *Nat Biomed Eng.* **3**(12): 953-960, 2019 (* equal contributed)
2. Kinoshita S, Koizumi N, Ueno M, Okumura N, Imai K, Tanaka H, Yamamoto Y, Nakamura T, Inatomi T, Bush J, Toda M, Hagiya M, Yokota I, Teramukai S, Sotozono C, Hamuro J. Injection of Cultured Cells with a ROCK Inhibitor for Bullous Keratopathy. *N Engl J Med.* **15**; **378**(11): 995-1003, 2018
3. Tanaka H, Nakayama T, Tsukamoto M, Watanabe A, Nakamura T, Yokoi N, Sotozono C, Kinoshita S. Rebamipide promotes lacrimal duct epithelial cell survival via protecting barrier function. *Sci Rep.* **10**(1): 1641, 2020
4. Tanaka H, Fukuda K, Ishida W, Harada Y, Sumi T, Fukushima A. Rebamipide increases barrier function and attenuates TNF α -induced barrier disruption and cytokine expression in human corneal epithelial cells. *Br J Ophthalmol.* **97**(7): 912-6, 2013
5. Tanaka H, Okumura N, Koizumi N, Sotozono C, Sumii Y, Kinoshita S. Panoramic view of human corneal endothelial cell layer observed by a prototype slit-scanning wide-field contact specular microscope. *Br J Ophthalmol.* **101**(5): 655-659, 2017
6. Fukui A, Tanaka H, Terao N, Terao N, Nagata K, Matsumoto A, Kusada N, Kojima K, Sotozono C. Changes in Choroidal Thickness and Structure in Preeclampsia with Serous Retinal Detachment. *J Clin Med* **12**(2): 609, 2023.
7. Fukuda K, Ishida W, Tanaka H, Harada Y, Matsuda A, Ebihara N, Fukushima A. Alarmins from corneal epithelial cells upregulate CCL11 and VCAM-1 in corneal fibroblasts. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* **27**; **54**(8): 5817-23, 2013
8. Suzuki T, Tanaka H, Toriyama K, Okamoto S, Urabe K, Hashida M, Shinkai Y, Ohashi Y. Prospective clinical evaluation of 1.5% levofloxacin ophthalmic solution in ophthalmic perioperative disinfection. *J Ocul Pharmacol Ther.* **29**(10): 887-92, 2013
9. Fukuda K, Ishida W, Tanaka H, Harada Y, Fukushima A. Inhibition by rebamipide of cytokine-induced or lipopolysaccharide-induced chemokine synthesis in human corneal fibroblasts. *Br J Ophthalmol.* **98**(12): 1751-5, 2014
10. Toda M, Ueno M, Yamada J, Hiraga A, Tanaka H, Schlotzer-Schrehardt U, Sotozono C, Kinoshita S, Hamuro J. The Different Binding Properties of Cultured Human Corneal Endothelial Cell Subpopulations to Descemet's Membrane Components. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* **57**(11): 4599-605, 2016
11. Numa K, Imai K, Ueno M, Kitazawa K, Tanaka H, Bush J, Teramukai S, Okumura N, Koizumi N, Hamuro J, Sotozono C, Kinoshita S. Five-Year Follow-up of First Eleven Cases Undergoing Injection of Cultured Corneal Endothelial Cells for Corneal Endothelial Failure. *Ophthalmology* S0161-6420(20): 30853-8, 2020
12. Ueno M, Toda M, Numa K, Tanaka H, Imai K, Bush J, Teramukai S, Okumura N, Koizumi N, Yamamoto A, Tanaka M, Sotozono C, Hamuro J, Kinoshita S. Superiority of Mature Differentiated Cultured Human Corneal Endothelial Cell Injection Therapy for Corneal Endothelial Failure. *Am J Ophthalmol.* **237**: 267-277, 2022