

Glaukomas operācijas vēlino rezultātu analīze – filtrācijas spilventiņu mērījumi, lietojot optisko koherences tomogrāfiju acs priekšējām daļām

Oskars Gertners¹, Jekaterina Skitecka^{2,3}, Guna Laganovska^{2,3}

¹ Rīgas Stradiņa universitāte, Medicīnas fakultāte, Latvija

² Rīgas Stradiņa universitāte, Oftalmoloģijas katedra, Latvija

³ Paula Stradiņa Klīniskā universitātes slimnīca, Oftalmoloģijas klīnika, Latvija

Kopsavilkums

Ievads. Sinusa trabekulektomija ir glaukomas ķirurģiskas ārstēšanas veids. Operācijas iznākums ir atkarīgs no funkcionējoša šunta, ko sauc par filtrācijas spilventiņu (FS), veidošanās, kas nodrošina intraokulārā šķidruma drenāžu. Optiskās koherences tomogrāfija acs priekšējām daļām (AS-OCT) ļauj izvērtēt filtrācijas spilventiņa iekšējo struktūru.

Darba mērķis. Lietojot AS-OCT, aprakstīt iegūtos attēlus, izpētīt korelācijas starp spilventiņu augstumu, sklēras lēvera biezumu un dobuma šķērsizmēru pēc sinusa trabekulektomijas un noskaidrot šo parametru korelācijas ar pēcoperācijas intraokulāro spiedienu (IOP).

Materiāls un metodes. Pētījumā tika iekļauti Paula Stradiņa Klīniskās universitātes slimnīcas pacienti pēc trabekulektomijas, kuri nāca uz rutīnas kontroli no 2013. gada decembra līdz 2014. gada februārim. Pacienti tika iekļauti pētījumā vismaz vienu mēnesi pēc operācijas. OCT attēlos tika izvērtēti vairāki parametri – kopējais spilventiņa augstums, sieniņas biezums, dobuma izmērs.

Rezultāti. Tika analizētas 22 acis. IOP mazinājās no vidējās pirmsoperācijas vērtības 27,6 mm Hg (minim. 14; maks. 39) līdz vidējai pēcoperācijas vērtībai 14,0 mm Hg (minim. 7; maks. 22,7). Pēc AS-OCT datiem 13 spilventiņi tika klasificēti kā difūzi filtrējoši, 6 – iekapsulējušies, 2 – plakani un 1 – multicistisks. Starp pēcoperācijas IOP un filtrācijas spilventiņu dziļumu pastāv vidēja korelācija ($r = -0,510$; $p = 0,135$). Starp pēcoperācijas IOP un filtrācijas spilventiņu šķērsizmēru pastāv vidēja korelācija ($r = -0,433$; $p = 0,470$). Astoņpadsmit no pētījumā iekļautajām acīm tika veikti sklēras lēvera biezuma mērījumi, kur tā biezums bija no 168 μm līdz 457 μm . Starp sieniņas biezumu un pēcoperācijas IOP pastāv vidēja korelācija ($r = -0,339$; $p = 0,024$).

Secinājumi.

1. AS-OCT detalizēti ataino filtrācijas spilventiņa iekšējo struktūru.
2. Pastāv korelācija starp pēcoperācijas IOP un filtrācijas spilventiņa dziļumu ($r = -0,510$; $p = 0,135$), šķērsizmēru ($r = -0,433$; $p = 0,470$) un spilventiņa sieniņas biezumu ($r = -0,339$; $p = 0,024$).

Atslēgvārdi: glaukoma, optiskā koherences tomogrāfija, filtrācijas spilventiņš.

Ievads

Glaukoma ir termins, ar kuru tiek apzīmēta multifaktoriālas etioloģijas acu slimību grupa, kam klīniski raksturīga optiska neiropātija, asociēta ar paaugstinātu intraokulāro spiedienu [2]. Intraokulāro spiedienu nosaka līdzsvars starp intraokulārā šķidruma producēšanos un tā attecī [1].

Neārstētas glaukomas gadījumā slimība neatgriezeniski bojā redzi un potenciāli var izraisīt pilnīgu redzes zudumu. Glaukoma attīstās brīdī, kad tiek izjaukts līdzsvars starp saražoto un novadīto intraokulāro šķidrumu [3].

Glaukomas ārstēšanas mērķis ir saglabāt pacienta redzi un dzīves kvalitāti. Lai ārstētu glaukomu, ķirurģiskās ārstēšanas metodes tiek lietotas gadījumos, kad medikamentoza terapija nav bijusi efektīva vai tā ir saistāma ar nepanesamām ārstēšanas blaknēm. Kā viena no ķirurģiskajām metodēm ir trabekulektomija, kuras laikā tiek izveidota fistula jeb šunts (to sauc arī par filtrācijas spilventiņu) starp priekšējo un subtenonālo kameru. Būtisks klīniskais parametrs pēc trabekulektomijas ir filtrācijas spilventiņa morfoloģija. Optiskā koherences tomogrāfija ir neinvazīva izmeklēšanas metode, ar kuru var izvērtēt tiklenes nervu šķiedru slāni un redzes nervu – glaukomas progresijas raksturlielumus [9]. Acs priekšējo daļu optiskās koherences tomogrāfija ir jauna un daudzsološa metode, kas ļauj izvērtēt filtrācijas spilventiņus pēc trabekulektomijas operācijas [8].

Ikdienā, mērot acu intraokulāro spiedienu, bieži tiek lietota bezkontakta tonometrija, kas būtībā arī ir aplanācijas metode, kuras saplacināmais elements ir gaisa plūsma [10].

Primāras atvērta kakta glaukomas gadījumā kā riska faktori tiek minēti paaugstināts intraokulārais spiediens (IOP), vecums, glaukoma ģimenes anamnēzē, plānāka radzene, 2. tipa cukura diabēts, kā arī miopija [7].

Trabekulektomija ir ķirurģiska glaukomas ārstēšanas metode, kuras rezultātā veidojas šunts starp acs priekšējo kameru un subtenonālo telpu, ko sauc arī par filtrācijas spilventiņu. Operācijas mērķis ir samazināt IOP, palēnināt slimības progresiju un saglabāt redzes funkciju. Procedūras laikā tiek izveidota kabata zem konjunktīvas un Tenona kapsulas. Tiek izveidots daļēja sklēras biezuma lēveris ar pamatni korneosklerālā savienojuma vietā. Zem lēvera tiek izveidots logs – sklerostomija, daļa sklēras, Šlemma kanāla un daļa trabekulas tiek izņemta un izveidota atvere uz acs priekšējo kameru. Lai novērstu sklerostomijas obstrukciju, ko potenciāli varētu izraisīt varavīksnenes prolaps, pa sklerostomijas atveri tiek veikta arī iridektomija. Sklēras lēveris tiek piešūts pie sklēras, un operāciju beidz, slēdzot konjunktīvu.

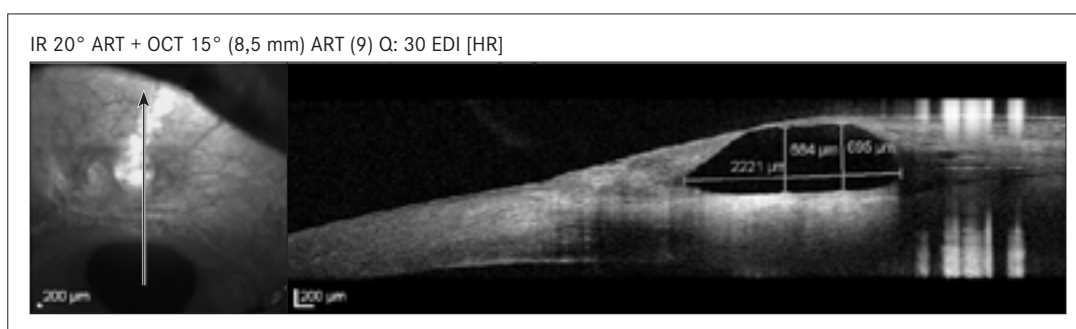
Filtrācijas spilventiņu iekšējo struktūru iespējams vizualizēt ar divām galvenajām izmeklēšanas metodēm – vizualizāciju ar ultraskaņas biomikroskopiju (UBM) un vizualizāciju ar optisko koherences tomogrāfiju (OCT):

1. Ultraskaņas biomikroskopijā, kas attīstījies 1990. gadā, izmanto augstas frekvences zondes (20–50 Mhz) un, iegūstot attēlu ar lielu palielinājumu un izšķirtspēju, var atklāt acs priekšējā segmenta patoloģiju. Kopš UBM ieviešanas to plaši lieto filtrācijas spilventiņu izvērtēšanai pēc trabekulektomijas operācijām, un tā ir jutīga un specifiska metode filtrācijas spilventiņa funkcijas prognozei [6]. Ultraskaņas izmeklēšanā ierīces devējs raida īsus akustiskos impulsus cauri audiem un anatomiskajām struktūrām, kas pēc tam tiek uztverti kā atbalsis. Atbalsis uztver devējs, un, amplificējot atbalsu voltāžu, kā arī balstoties uz dažādu ausu skaņas caurlaidības un atstarošanas atšķirībām, ar speciālām datorprogrammatūrām tiek iegūts ultraskaņas attēls [9].
2. Acs optiskā koherences tomogrāfija kā izmeklēšanas metode pirmo reizi tika aprakstīta 1991. gadā Masačūsetsas Tehnoloģiju institūtā (*Massachusetts Institute of Technology*) ASV [9]. Optiskā koherences tomogrāfija acs priekšējām daļām pirmo reizi tika izmantota 1994. gadā, un kopš tā laika tās pielietojums oftalmoloģijā ir ļoti strauji attīstījies. Salīdzinot ar ultrasonogrāfiju, optiskā koherences tomogrāfija (OCT) izmanto nevis skaņas impulsus, bet optiskos viļņus. Lai gan optiskā koherences tomogrāfija acs priekšējām daļām (AS-OCT) sniedz augstākas izšķirtspējas attēlu (apmēram 18 mkm OCT pret 25 mkm 50 MHz UBM), tā nav galvenā šīs metodes priekšrocība pār UBM. Patiesā priekšrocība ir tas, ka AS-OCT ir bezkontakta skanēšanas metode, kuru veic pacientam sēdus stāvoklī, salīdzinot ar UBM, kur pacientam jāatrodas supinētā pozīcijā un uz acs jāuzliek īpašs plastikāta vai silikona turētājs saistvielas noturēšanai (metilceluloze vai fizioloģiskais šķidrums) [5].

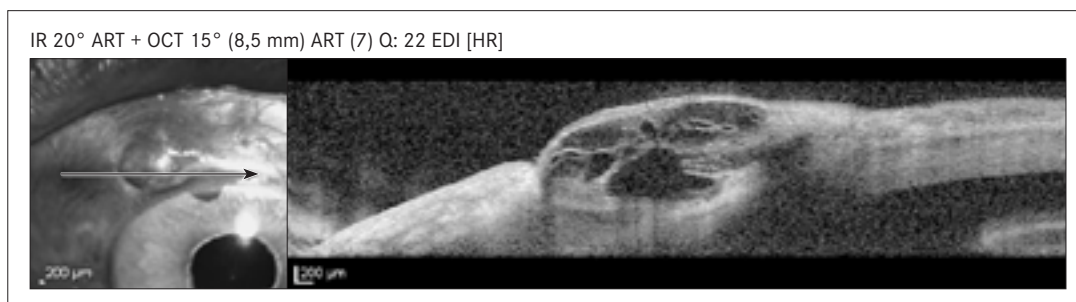
Filtrācijas spilventiņu pēc OCT attēliem var klasificēt šādi [6]:

- 1) difūzi filtrējošs spilventiņš – plāna sieniņa, viena vai vairākas subkonjunktivālas telpas, zems vai vidējs intensitātes signāls (sk. 1. att.);
- 2) multicistisks filtrācijas spilventiņš – plāna sieniņa, milzīga subkonjunktivāla telpa, zemas intensitātes signāls ar vairākiem šķidruma sakopojumiem (sk. 2. att.);
- 3) iekapsulējies filtrācijas spilventiņš – bieza sieniņa, viena milzīga subkonjunktivāla telpa, augstas intensitātes signāls subkonjunktivāli (sk. 3. att.);
- 4) plakans filtrācijas spilventiņš – subkonjunktivālas telpas neesamība, ciešs kontakts starp sklerālo gultni un spilventiņa sieniņu (sk. 4. att.).

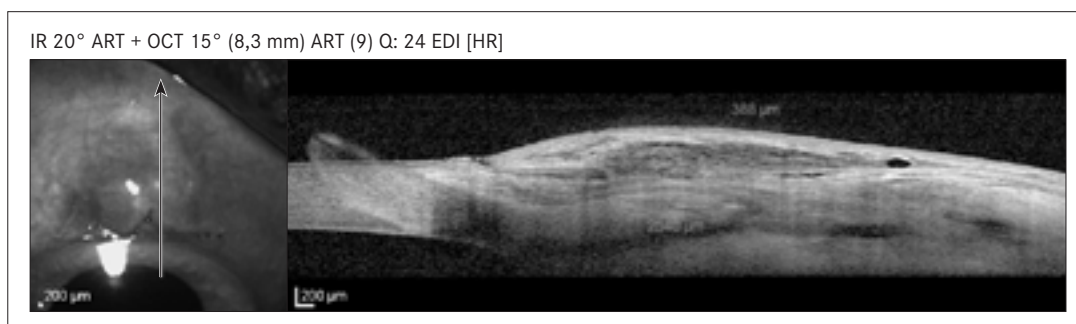
1. attēls. Difūzi filtrējošs spilventiņš
Diffuse filtering bleb



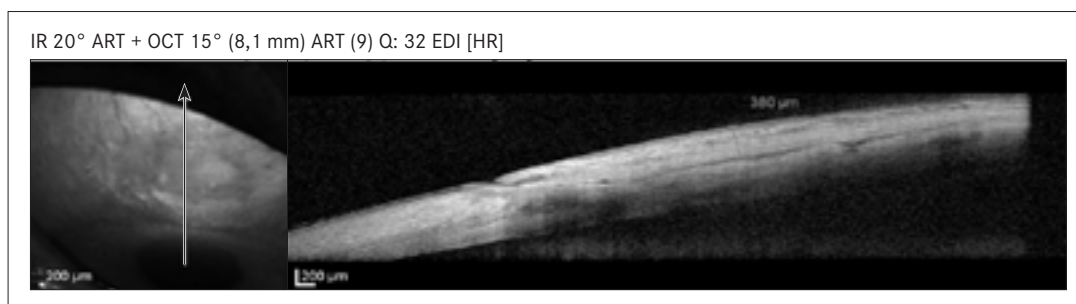
2. attēls. Multicistisks filtrācijas spilventiņš
Multicystic filtration bleb



3. attēls. Iekapsulējies filtrācijas spilventiņš
Encapsulated filtration bleb



4. attēls. Plakans filtrācijas spilventiņš Flattened filtration bleb



Darba mērķis

Vizualizējot filtrācijas spilventiņus ar optisko koherences tomogrāfiju acs priekšējām daļām, aprakstīt iegūtos attēlus un izpētīt korelāciju starp spilventiņu augstumu, sklēras lēvera biezumu un dobuma šķērsizmēru pēc sinusa trabekulektomijas un noskaidrot šo parametru korelāciju ar pēcoperācijas intraokulāro spiedienu.

Materiāls un metodes

Pētījumā tika iekļauti Paula Stradiņa Klīniskās universitātes slimnīcas pacienti pēc trabekulektomijas operācijas, kuri nāca uz rutīnas kontroli laikposmā no 2013. gada decembra līdz 2014. gada februārim. Pacienti tika iekļauti pētījumā, kad pēc operācijas bija pagājis vismaz viens mēnesis. Filtrācijas spilventiņus vizualizēja ar Heidelberga *Spectralis* optisko koherences tomogrāfu (OCT). Izmeklējuma laikā pacients vērta skatu uz leju, vienlaikus operators pacēla augšējo plakstiņu, maksimāli atsedzot spilventiņu. Tika uzņemti un analizēti vairāki radiāli un transversāli attēlu griezumā.

OCT attēlos tika izvērtēti vairāki parametri – filtrācijas spilventiņa šķērsizmērs (garākais vizualizējama izmērs horizontālajā plaknē no viena spilventiņa kakta līdz pretējam), spilventiņa dobuma dziļums (lielākais zema signāla telpas augstums robežās starp sklēru un konjunktīvu) un sklēras lēvera biezums (platākais taisnais sklēras lēvera šķērsizmērs).

Spilventiņu piederību tipam aprakstīja subjektīvi, vadoties pēc vispārējiem filtrācijas spilventiņu klasifikācijas principiem: difūzi filtrējošs (plāna sieniņa, viena vai vairākas subkonjunktivālas telpas, zems vai vidējs intensitātes signāls), multicistisks (plāna sieniņa, milzīga subkonjunktivāla telpa, zemas intensitātes signāls ar vairākiem šķidrums sakopojumiem), iekapsulējies (bieza sieniņa, viena milzīga subkonjunktivāla telpa, augstas intensitātes gaismas sakopojums subkonjunktivāli), plakans (subkonjunktivālas telpas neesamība, ciešs kontakts starp sklerālo gultni un spilventiņa sieniņu). Lai ievāktu datus, tika izstrādāta anketa, kurā tika atzīmēti vairāki parametri – dzimums, vecums, operācijas datums, pētījumā iekļaujamā acs (OD, OS), glaukomas tips, intraokulārais spiediens pirms un pēc operācijas.

Visas pētījumā iekļauto acu trabekulektomijas operācijas bija veicis viens ķirurgs, izmantojot vienu un to pašu metodi, izslēdzot ar operācijas variablu tehniku saistītos mainīgos spilventiņu parametrus.

Iegūtos datus matemātiski apstrādāja, lietojot statistiskās datu analīzes metodes (Pīrsona korelācijas koeficientu (r), statistiskās ticamības vērtību (p), kura par statistiski ticamu tiek uzskatīta, ja ir mazāka par 0,05).

Rezultāti

Pētījumā analizēti 18 pacientu dati, kas iegūti Paula Stradiņa Klīniskās universitātes slimnīcas Oftalmoloģijas nodaļā laikposmā no 2013. gada decembra līdz 2014. gada februārim. Pacientu iedalījums pēc dzimuma – 9 sievietes un 9 vīrieši. Vidējais pacientu vecums bija 71,2 gadi (no 54 līdz 86 gadiem).

Vidējais laiks no operācijas līdz AS-OCT izmeklējumam – 33,9 mēneši (īsākais – 2 mēneši, ilgākais – 120 mēneši). No 22 acīm, kas iekļautas pētījumā, 14 bija labās (OD), 8 – kreisās (OS). Intraokulārais spiediens mazinājās no vidējās pirmsoperācijas vērtības 27,6 mm Hg (zemākais – 14, augstākais – 39) līdz vidējai pēcoperācijas vērtībai 14,0 mm Hg (zemākais – 7, augstākais – 22,7). Visu pētījumā iekļauto acu glaukomas tips bija primāra atvērta kta glaukoma.

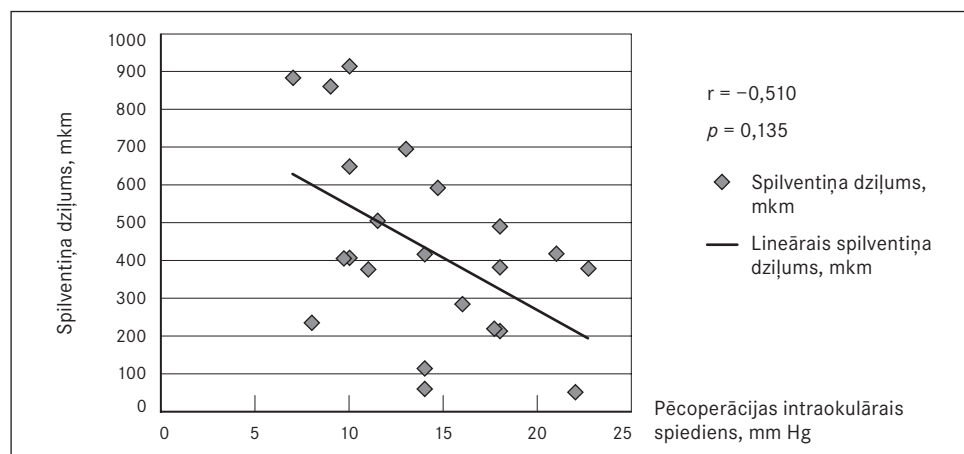
Spilventiņu dobumu dziļums bija no 51 μm līdz 914 μm (vidēji 434 μm). Spilventiņa šķērsizmēra garums bija no 1038 μm līdz 8292 μm (vidēji 3974 μm). Starp pēcoperācijas IOP un filtrācijas spilventiņu dziļumu iezīmējas negatīva korelācija ($r = -0,510$; $p = 0,135$) (sk. 5. att.).

Starp pēcoperācijas IOP un filtrācijas spilventiņu šķērsizmēru iezīmējas negatīva korelācija ($r = -0,433$; $p = 0,470$) (sk. 6. att.).

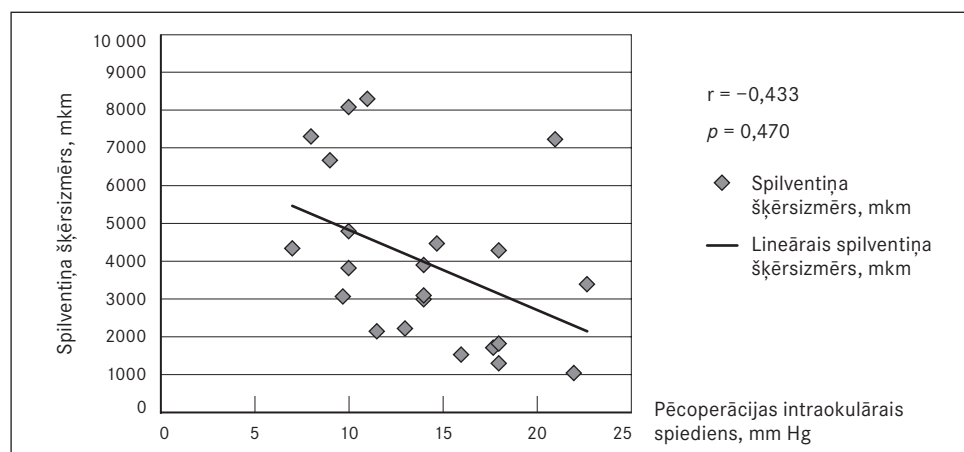
Astoppadsmīt pētījumā iekļautajām acīm bija iespējams izmērīt sklēras lēvera biezumu – tas bija robežās no 168 μm līdz 457 μm (vidēji 282 μm), un starp sieniņas biezumu un pēcoperācijas IOP iezīmējas negatīva korelācija ($r = -0,339$; $p = 0,024$) (sk. 7. att.).

Pēc AS-OCT datiem, 13 spilventiņi tika klasificēti kā difūzi filtrējoši, seši iekapsulējušies, divi plakani un viens multicistisks. Acīm ar pēcoperācijas IOP virs 21 mm Hg novēroja divus difūzi filtrējošus un vienu plakānu spilventiņu. Acīm ar pēcoperācijas IOP mazāku par 21 mm Hg novēroja 11 difūzi filtrējošus, vienu plakānu, sešus iekapsulējušos un vienu multicistisku.

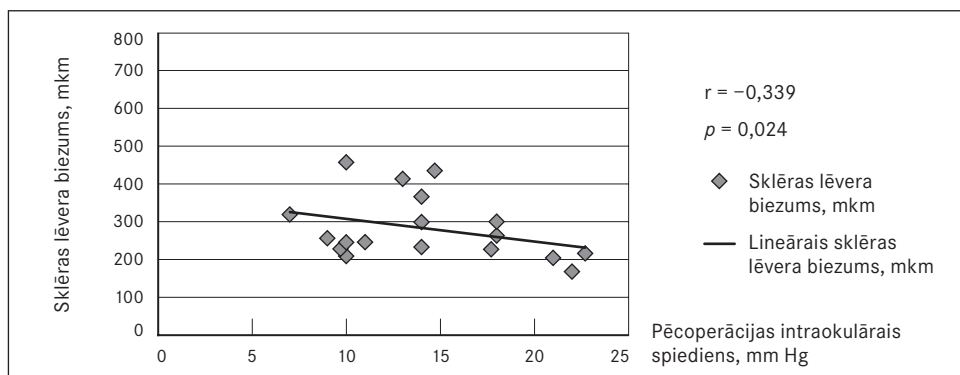
5. attēls. Filtrācijas spilventiņa dziļuma korelācija ar pēcoperācijas intraokulāro spiedienu
Correlation of filtration bleb height and postoperative IOP



6. attēls. Filtrācijas spilventiņa šķērsizmēra korelācija ar pēcoperācijas intraokulāro spiedienu
Correlation of filtration bleb transverse diameter and postoperative IOP



7. attēls. Sklēras lēvera biezuma korelācija ar pēcoperācijas intraokulāro spiedienu
Correlation of scleral flap thickness and postoperative IOP



Diskusija

Filtrācijas spilventiņu klasifikāciju pirmo reizi aprakstīja Kronfelds (*Peter C. Kronfeld*) 1949. gadā. Trīs veidu spilventiņi tika aprakstīti pēc to izskata un funkcijām: I tips – funkcionējoši policistiski spilventiņi, II un III tips – difūzi un saplacināti nefunkcionējoši spilventiņi. Vēlāk Van Buskirks (*Edmund Van Buskirk*) aprakstīja izskatu un īpašības nefunkcionējošiem iekapsulētiem spilventiņiem.

Standartizēta filtrācijas spilventiņu klasifikācija, lietojot biomikroskopu, tika ieviesta 2004. gadā – *Moorfields Bleb grading system*. Tomēr ir gadījumi, kad biomikroskopējot spilventiņa izskats neatbilst funkcijām. Filtrācijas spilventiņa iekšējās struktūras vizualizācija var palīdzēt labāk izprast un raksturot attiecības starp struktūru un funkcijām, uzlabot izpratni par brūču dzīšanas procesiem pēc trabekulektomijas. Pavlins (*C. J. Pavlin*) un citi zinātnieki pirmie demonstrēja iekšējās struktūras morfoloģiju, lietojot ultrasonogrāfiju.

Detalizētākus aprakstus par iekšējās struktūras morfoloģiju sniedza Jamamoto un zinātnieku grupa (*Yamamoto, et al.*). Pamatojoties uz reflektivitāti, filtrācijas spilventiņi tika klasificēti četrās grupās: zemas reflektivitātes, augstas reflektivitātes, iekapsulēti un saplacināti. Filtrācijas spilventiņi ar zemu reflektivitāti korelēja ar labu IOS kontroli. Nesenā Savini un citu zinātnieku (*Savini, et al.*) pētījumā tika ziņots, ka Stratus OCT var lietot, lai vizualizētu filtrācijas spilventiņu iekšējās struktūras. Atbilstīgi OCT attēliem filtrācijas spilventiņi tika klasificēti trīs grupās.

Lai vizualizētu filtrācijas spilventiņu iekšējās struktūras, OCT ir labākā izvēle, jo tā ir bezkontakta metode un nav nepieciešama pacienta pozicionēšana guļus, kā arī OCT attēliem piemīt augstāka izšķirtspēja. Tas viss ļauj objektīvāk izvērtēt spilventiņus un sniedz precīzākus mērīšanas datus. Šajā darbā mēs novērtējam filtrācijas spilventiņu iekšējās struktūras, lietojot Heidelbergas (*Heidelberg*) *Spectralis* OCT sklerālo protokolu. Tika secināts: jo biezāka ir filtrācijas spilventiņa sienīņa, jo veiksmīgāk tiek kontrolēts intraokulārais spiediens. Suprasklerālā dobuma šķidrums ne vienmēr norāda uz funkcionējošu šuntu, jo apkārtējie blīvie audi var ietekmēt drenāžu, ko konstatēja atsevišķiem iekapsulētiem spilventiņiem.

Mūsu pētījuma rezultāti atbilst citur pasaulē veiktu līdzīgu pētījumu rezultātiem, piemēram, Zang Ji (*Zhang Yi*) un līdzautoru pētījumā “*Evaluating subconjunctival bleb function after trabeculectomy using slit-lamp optical coherence tomography and ultrasound biomicroscopy*” tika izpētīti 69 filtrācijas spilventiņi ar AS-OCT. Pētījuma rezultāti: no kopā analizētām 69 acīm 45 (65,2%) filtrācijas spilventiņi bija funkcionējoši, bet 24 (34,8%) – nefunkcionējoši. Spilventiņi tika iedalīti četrās grupās – difūzi filtrējoši, multicistiski, iekapsulējušies un plakani. Tipiski funkcionējoši spilventiņi bija difūzi filtrējoši un multicistiski, turpretim plakanie un iekapsulējušies – nefunkcionējoši [11].

OCT bezkontakta raksturs nodrošina drošāku pieeju, lai pārbaudītu filtrācijas spilventiņu iekšējo struktūru agrīnajā pēcoperācijas periodā. Mērīšanas protokols ļauj veikt precīzus mērījumus, bet tādu būtisku parametru kā vaskularitāte var izvērtēt, tikai lietojot biomikroskopiju.

Secinājumi

1. Optiskā koherences tomogrāfija priekšējām daļām detalizēti ataino filtrācijas spilventiņa iekšējo struktūru.
2. Pastāv korelācijas starp pēcoperācijas IOP un filtrācijas spilventiņa dziļumu ($r = -0,510$; $p = 0,135$), šķērsizmēru ($r = -0,433$; $p = 0,470$) un spilventiņa sienas biezumu ($r = -0,339$; $p = 0,024$).



Late Results of Antiglaucomatous Operation: Measurements of Filtration Blebs, Their Correlation with Intraocular Pressure

Abstract

The respective study was carried out to assess bleb height, width, scleral flap thickness and category of blebs using AS-OCT and to determine the correlation of these measures with postoperative intraocular pressure (IOP).

The study was carried out at Pauls Stradiņš Clinical University Hospital. Patients were recruited after sinus trabeculectomy operation when they came for a routine follow-up visit during December 2013 to February 2014 and were enrolled in the study with a minimum of 1-month follow-up time post trabeculectomy. Filtration blebs were imaged using Heidelberg Spectralis AS-OCT. Several images were made; the measurements of bleb height, width, scleral flap thickness and category of blebs were assessed. The obtained data were analysed using Microsoft Excel 2010.

A total of 22 eyes (OD-14, OS-8) of 18 patients (9 male, 9 female) were enrolled in this study. Mean age of patients was 71.2 years (min – 54, max – 86). Mean time from the operation to AS-OCT examination was 33.9 months. Mean preoperative IOP from 27.6 mm/Hg was reduced to a postoperative IOP of 14.0 mm/Hg (min – 7, max – 22.7). Mean bleb height was 434 μ m (min – 51, max – 914), mean bleb width was 3974 μ m (min – 1038, max – 8292). A negative correlation between IOP and filtration bleb height ($r = -0.510$; $p = 0.135$) and flap width ($r = -0.433$; $p = 0.470$). A measurement of scleral flap thickness was made to 18 patients and a mean scleral flap thickness was 282 μ m (min – 168, max – 457) found with a negative correlation between IOP and flap thickness ($r = -0.339$; $p = 0.024$). 13 blebs were classified as diffuse filtering, 6 – encapsulated, 2 – flat and 1 – multicystic.

Anterior segment optical coherence tomography can be used to image the internal structure of filtration blebs.

A negative correlation exists between postoperative IOP and bleb height, width and scleral flap.

Keywords: glaucoma, optical coherence tomography, filtration bleb.

Literatūra

1. Laganovska G. u. c. Acu slimības. Rīga: Nacionālais apgāds, 2008. – 243.–280. lpp.
2. Casson R. J., Chidlow G., Wood J. P., Crowston J. G., Goldberg I. Definition of glaucoma: clinical and experimental concepts // Clinical & Experimental Ophthalmology, 40: 341–349.
3. Douglas J. R., Porter R. S., Kaplan J. L. The merck manual home health handbook // Overview of Glaucoma, 2013.
4. Ishikawa K. Anterior segment imaging for glaucoma: OCT or UBM // Br J Ophthalmol, 2007; 91: 1420–1421.
5. Izatt J. A., et al. Micrometer-scale resolution imaging of the anterior eye in vivo with optical coherence tomography // PubMed. Archives of Ophthalmology, December 1994; 112 (12): 1584–1589.
6. Leung K. C., et al. Analysis of bleb morphology after trabeculectomy with Visante anterior segment optical coherence tomography // Br J Ophthalmol., 2007; 91: 340–344.

7. Prum B. E., et al. Primary open-angle glaucoma // American Academy of Ophthalmology, 2010.
8. Singh M., Chew T. K. P., Friedman D. S., et al. Imaging of trabeculectomy blebs using anterior segment optical coherence tomography // Ophthalmology, January 2007, 114 (1).
9. Ursea R., Silverman R. H. Anterior segment imaging for assessment of glaucoma, 2010.
10. Wolffe M. Optical instruments gallery. Tonometers. The College of Optometrists // www.college-optometrists.org/en/college/museum/online_exhibitions/optical_instruments/tonometers.cfm (sk. 03.01.2014.).
11. Yi Z., et al. Evaluating subconjunctival bleb function after trabeculectomy using slit-lamp optical coherence tomography and ultrasound biomicroscopy // Chinese Medical Journal, 2008; 121 (14): 1274–1279.