

VÝZNAM OCT PACHYMETRIE V DIAGNOSTIKE KERATOKÓNUSU

Benca Kapitánová Karolína^{1,2}, Javorka Michal³, Vida Rastislav¹, Halička Juraj^{1,2}, Králik Michal¹, Prídavková Zuzana¹, Žiak Peter^{1,2}

¹UVEA Klinika s.r.o., Martin

²Očná klinika, Jesseniova lekárska fakulta a Univerzitná nemocnica Martin

³Ústav fyziológie, Jesseniova lekárska fakulta, Martin

Autori práce prehlasujú, že vznik a téma predkladanej odbornej práce a jej zverejnenie nie je v strete záujmov a nie je podporené žiadnou farmaceutickou firmou. Práca nebola zadaná inému časopisu

Do redakcie doručeno dne: 28. 7. 2023

Prijato k publikácii dne: 30. 10. 2023



MUDr. Karolína Benca Kapitánová,
PhD., FEBO
UVEA Klinika s.r.o.
Zelená 10888/1A
036 08 Martin
E-mail: kapitanova.k@gmail.com

SÚHRN

Cieľ: Hodnotiť význam AS OCT pachymetrie ako vyšetrovacej metódy pre včasné rozlíšenie medzi keratokónusom, latentným keratokónusom a rohovkovým astigmatizmom bez ekstatických zmien na základe meraní parametrov hrúbky epitelu rohovky a celkovej hrúbky rohovky

Materiál a metódy: Práca analyzuje 162 očí 89 pacientov vyšetrených pomocou prístroja Zeiss Cirrus 500 – Anterior Segment Premier Module. OCT pachymetrické mapy boli vytvorené u 97 očí s keratokónusom – skupina A, 33 očí s latentným (forme fruste) keratokónusom – skupina B, a 32 očí s rohovkovým astigmatizmom – skupina C ($\geq 1,5$ Dcyl). Na všetkých pachymetrických mapách boli analyzované parametre hrúbky epitelu (centrálna hrúbka epitelu v 2 mm zóne, paracentrálna hrúbka epitelu v 2–5 mm zóne, minimálna a maximálna hrúbka epitelu) a parametre celkovej hrúbky rohovky (S-I v 2–5 mm zóne, SN-IT v 2–5 mm zóne, minimálna hrúbka, rozdiel MAX-MIN hrúbky).

Výsledky: Štatisticky významné rozdiely boli potvrdené v 3 parametroch hrúbky epitelu (paracentrálna hrúbka epitelu v 2–5 mm zóne, minimálna hrúbka epitelu, maximálna hrúbka epitelu) medzi skupinou A a skupinou B ($p < 0,001$), ako aj medzi skupinou očí A a skupinou C ($p < 0,001$). Štatisticky významné rozdiely v 3 parametroch celkovej hrúbky rohovky (S-I v zóne 2–5 mm, SN-IT v zóne 2–5 mm, minimálna hrúbka) boli zistené medzi skupinou A a skupinou B ($p < 0,001$), medzi skupinou A a skupinou C ($p < 0,001$), ako aj medzi skupinou B a skupinou C ($p < 0,001$).

Záver: AS OCT pachymetrické mapy sú spoľahlivou metódou schopnou odhaliť rozdiely medzi keratokónusom a rohovkovým astigmatizmom, a to na základe porovnania parametrov hrúbky epitelu, konkrétne paracentrálnej hrúbky epitelu v 2–5 mm zóne, minimálnej hrúbky epitelu, maximálnej hrúbky epitelu. Ďalej na základe hodnotenia parametrov celkovej hrúbky rohovky ide o metódu schopnú definovať rozdiely medzi keratokónusom, latentným keratokónusom a rohovkovým astigmatizmom (S-I v zóne 2–5 mm, SN-IT v zóne 2–5 mm a minimálnej hrúbky). V rámci štatistickej analýzy sa na základe výsledkov ako najspoľahlivejšie parametre javia: rozdiel medzi skupinami A, B a C v parametroch S-I v 2–5 mm paracentrálnej zóne, ďalej v SN-IT v 2–5 mm paracentrálnej zóne a v hodnotách minimálnej hrúbky rohovky.

Kľúčové slová: OCT predného segmentu, keratokónus, OCT pachymetria

SUMMARY

DIAGNOSTIC IMPORTANCE OF OCT PACHYMETRY IN KERATOCONUS

Purpose: To evaluate the value of AS OCT pachymetry as a method capable of detecting early differences between keratoconus, latent keratoconus and corneal astigmatism based on measurements of the parameters of corneal epithelial thickness and total corneal thickness.

Methods: This study analyzed 162 eyes of 89 patients examined with a Zeiss Cirrus 500 Anterior Segment Premier Module. OCT Pachymetry maps were created in 97 eyes with keratoconus, 33 eyes with latent (forme fruste) keratoconus, and 32 eyes with regular corneal astigmatism (≥ 1.5 Dcyl). The parameters of epithelial thickness (central epithelial thickness in the 2 mm zone, paracentral epithelial thickness in the 2–5 mm zone, minimal and maximal epithelial thickness) and total corneal thickness (S-I in the 2–5 mm zone, SN-IT in the 2–5 mm zone, minimal thickness, max-min thickness) were analyzed in all pachymetry maps.

Results: Statistically significant differences were determined in 3 parameters of epithelial thickness (paracentral epithelial thickness in the 2–5 mm zone, minimal epithelial thickness, maximal epithelial thickness) between group A and group B ($p < 0.001$), as well as between group A and group C ($p < 0.001$). Statistically significant differences were determined in 3 parameters of total corneal thickness (S-I in the 2–5 mm zone, SN-IT in the 2–5 mm zone, minimal thickness) between group A and group B ($p < 0.001$), between group A and group C ($p < 0.001$), as well as between group B and group C ($p < 0.001$).

Conclusion: AS OCT Pachymetry maps are a reliable method capable of detecting differences between keratoconus and corneal astigmatism based on the comparison of paracentral epithelial thickness in the 2–5 mm zone, minimum epithelial thickness, and maximum epithelial thickness. Furthermore, based on the evaluation of the parameters of total corneal thickness, it is a method capable of defining the differences between keratoconus, latent keratoconus and corneal astigmatism (S-I in the 2–5 mm zone, SN-IT in the 2–5 mm zone and minimum thickness). In the statistical analysis, the most reliable parameters appear to be: the difference between groups A, B and C in the parameters S-I in the 2–5 mm paracentral zone, SN-IT in the 2–5 mm paracentral zone and in the values of minimum corneal thickness.

Key words: anterior segment OCT, keratoconus, OCT pachymetry

Čes. a slov. Oftal., 80, 2024, No. 1, p. 24–32

ÚVOD

Keratokónus je obojstranné, progresívne, nezápalové ochorenie rohovky. Etiopatológia tohto ochorenia zostáva nejasná, avšak bola opísaná teória dvoch zásahov, v ktorej je genetická predispozícia ako prvý (endogénny) faktor nasledovaná trením očí ako druhým (exogénnym) faktorom [1]. Spoločne prispievajú k stenčeniu rohovky, nárastu jej strmosti a následnému vzniku nepravidelného astigmatizmu so znížením zrakovej ostrosti [2]. Prednasegmentová optická koherentná tomografia (AS OCT) je zobrazovacia metóda umožňujúca vytváranie pachymetrických máp rohovky, ktoré analyzujú celkovú hrúbku rohovky, ako aj hrúbku rohovkového epitelu [3–5].

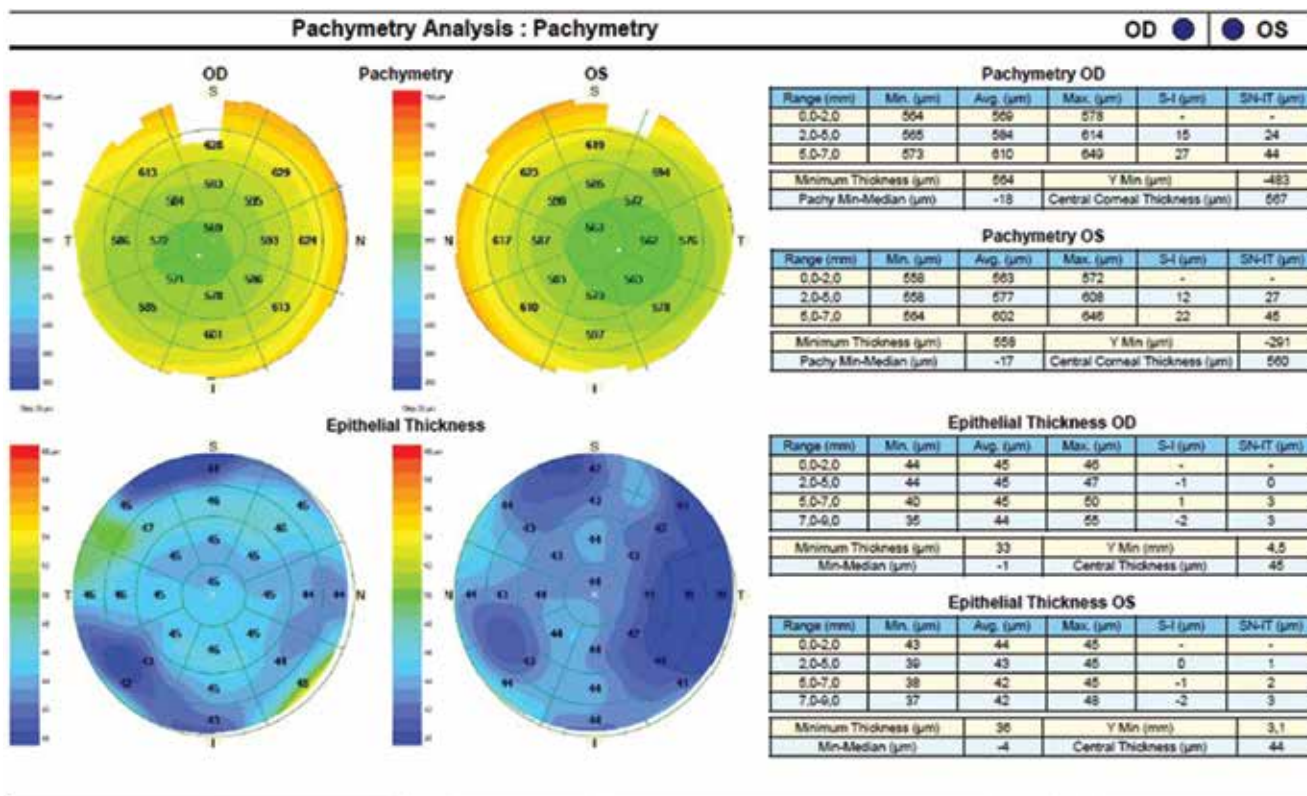
Stále nie je jasné, ktoré zmeny v rohovke pri keratokónuse nastávajú ako prvé (hrúbka rohovky, zakrivenie prednej plochy rohovky, prípadne zakrivenie zadnej plochy rohovky). Všeobecne známa je však schopnosť rohovkového epitelu kompenzovať svojou prestavbou väčšinu počiatočných zmien [6,7]. Ide o typické stenčenie epitelu na vrchole a zhrubnutie epitelu v okolí bázy ektázie rohovky. Následne sa zmeny topografie rohovky objavujú až v čase, keď kompenzačné mechanizmy rohovkového epitelu boli ochorením prekonané [8]. Význam rozpoznania včasných ektatických zmien však môže mať zásadný význam, najmä pred plánovaním laserovej refrakčnej operácie rohovky.

Cieľom tejto práce bolo zhodnotiť význam AS OCT pachymetrie ako vyšetrovacej metódy, ktorá dokáže iden-

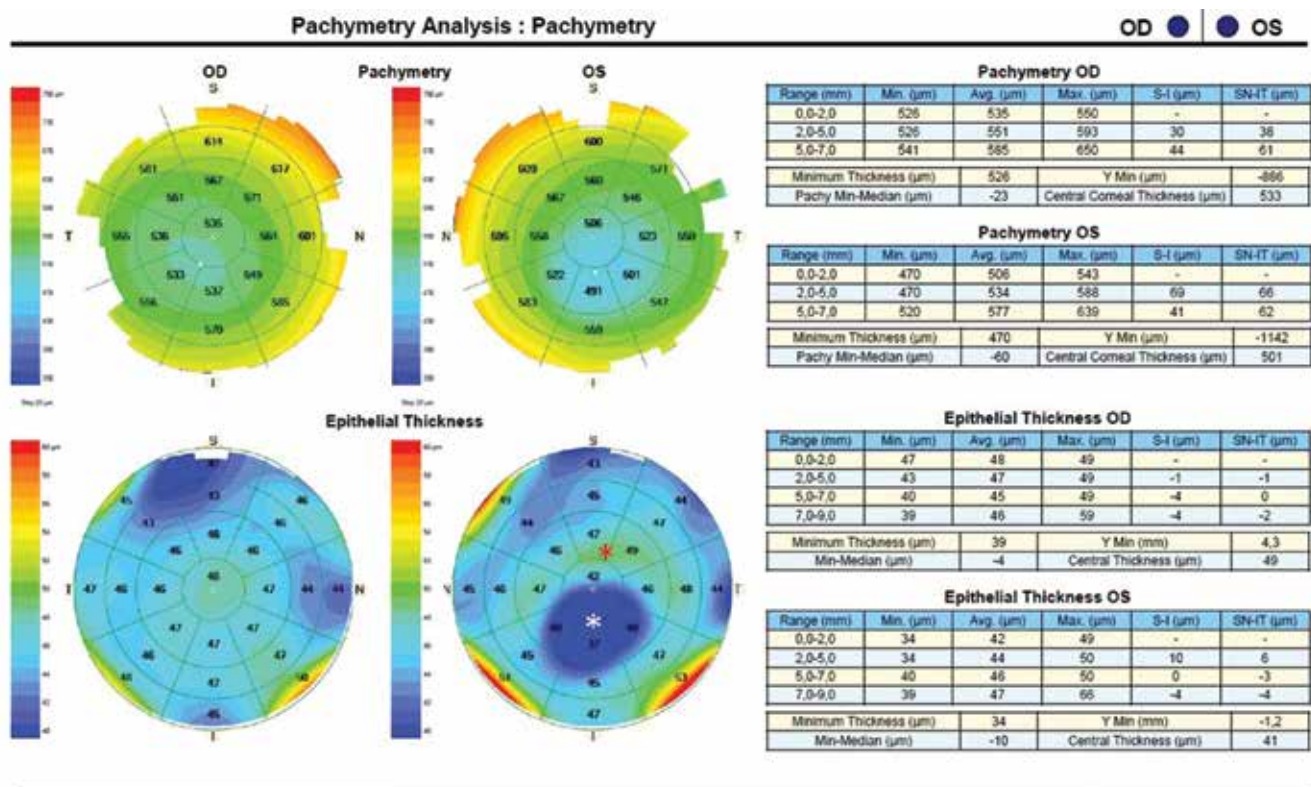
tifikovať včasné rozdiely v parametroch hrúbky epitelu rohovky a celkovej hrúbky rohovky medzi keratokónusom, latentným keratokónusom a rohovkovým astigmatizmom bez ektatických zmien.

MATERIÁL A METÓDY

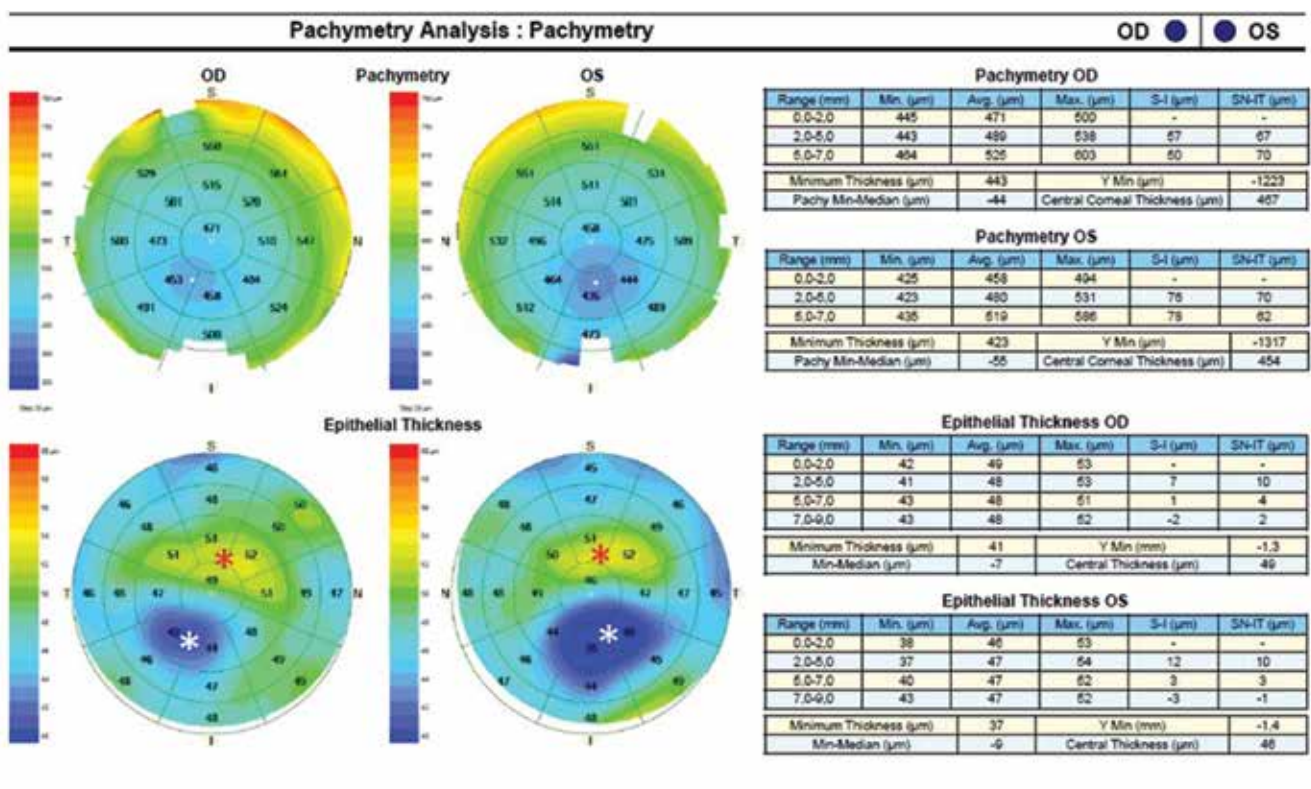
Vyšetrovaná skupina zahŕňala celkovo 162 očí 89 pacientov (27 žien a 62 mužov) vo veku 16 až 61 rokov. Pacienti boli vyšetrení v UVEA Klinika s.r.o. Martin v období od júna 2019 do júna 2021. Pomocné parametre v sledovanej skupine očí zahŕňali nekorigovanú (CZO) a korigovanú centrálnu zrakovú ostrosť do diaľky (NKCZO) vyšetrovanú na optotype Topcon CC-100XP (*Topcon Corporation*), ďalej keratometrie (K_1 a K_2 ako označenie najmenej strmého a najstrmšieho meridiánu rohovky) odčítané z rohovkovej topografie Schwind Sirius (*Schwind eye-tech-solutions*), sférický ekvivalent (SE) a hodnotu cylindrickej zložky refrakcie (Cyl) podľa merania automatickým refraktokeratometrom Nidek ARK-1 (*Nidek Co., Ltd.*). Na základe týchto parametrov boli hodnotené 3 skupiny očí: A – 97 očí s klinicky manifestným keratokónusom (štádium 1–3 podľa Amsler – Krumeich klasifikácie), B – 33 očí s latentným keratokónusom (resp. tzv. „forme fruste“, nakoľko to boli druhé oči pacientov s manifestným ochorením na prvom oku zaradenom do skupiny A) a C – 32 očí s pravidelným rohovkovým astigmatizmom $\geq 1,5$ D. Pomocou prístroja Zeiss Cirrus 500 s modulom Anterior



Obrázok 1. AS OCT pachymetrické mapy rohovky u pacienta s pravidelným rohovkovým astigmatizmom



Obrázok 2. AS OCT Pachymetrické mapy rohovky u pacienta s latentným keratokónusom na pravom oku, manifestným keratokónusom na ľavom oku. Biela hviezda – stenčenie epitelu na vrchole kónusu, červená hviezda – zhrubnutie epitelu v oblasti bázy kónusu



Obrázok 3. AS OCT Pachymetrické mapy rohovky u pacienta s manifestným keratokónusom na oboch očiach. Biela hviezda – stenčenie epitelu na vrchole kónusu, červená hviezda – zhrubnutie epitelu v oblasti bázy kónusu

Segment Premier Module na zobrazenie rohovky boli vytvorené pachymetrické mapy rohovky, následne analyzované v režime snímania „Pachymetry“.

Režim snímania s názvom „Pachymetry“ vytvára komplexnú pachymetrickú mapu rohovky, ktorá poskytuje analýzu celkovej hrúbky rohovky a samotného epitelu rohovky (Obrázok 1, 2, 3). Skenovanie prebieha za podmienok optimálneho vycentrovania šošovky prístroja na stred zrenice a priblíženia k povrchu rohovky pacienta. Výstupom je analýza hrúbky rohovky a rohovkového epitelu vo forme máp tvorených jedným centrálnym, ôsmimi paracentrálnymi a ôsmimi periférnymi, koncentricky orientovanými segmentami. Analyzované parametre hrúbky epitelu rohovky boli: medián hrúbky epitelu rohovky v centrálnej zóne 2 mm, medián hrúbky epitelu rohovky v paracentrálnej zóne 2–5 mm, minimálna hrúbka epitelu rohovky a maximálna hrúbka epitelu rohovky. Analyzované parametre celkovej hrúbky rohovky boli: rozdiel v hrúbke rohovky medzi horným a dolným kvadrantom v 2–5 mm paracentrálnej zóne (označenie S-I), rozdiel v hrúbke rohovky medzi horným nazálnym a dolným temporálnym kvadrantom v 2–5 mm paracentrálnej zóne (označenie SN-IT), minimálna hrúbka rohovky a rozdiel medzi maximálnou a minimálnou hrúbkou rohovky (max-min).

Použitý bol štatistický softvér SYSTAT (Systat Software Inc.). Pre štatistickú analýzu pachymetrických máp rohovky bola v úvode s pomocou Shapiro-Wilk testu potvrdená non-Gaussova distribúcia sledovanej skupiny očí. Na základe toho sme ďalej v štatistickej analýze pracovali s neparametrickými testami. Na hodnotenie prítomnosti rozdielov medzi skupinami (A – keratokónus, B – latentný keratokónus, C – astigmatizmus) sme použili Kruskal-Wallisov test. V prípade zistenia štatisticky významného rozdielu sme ako *post hoc* test uplatnili Dwass-Steele-Critchlow-Flinger test. Skupiny A, B a C sme otestovali aj na prítomnosť rozdielov vo veku a pohlaví (Kruskal-Wallisov test, Chí-kvadrát test).

VÝSLEDKY

Medzi 3 hodnotenými skupinami (A, B, C) nebol zistený rozdiel v pohlaví ($p = 0,927$), ani vo veku sledovaných

pacientov ($p = 0,946$). Pomocné parametre analyzované v súbore obsahuje Tabuľka 1.

Podrobným hodnotením parametrov **hrúbky epitelu rohovky** sme zistili nasledujúce výsledky. Medián hrúbky epitelu rohovky v centrálnej 2 mm zóne rohovky bol v skupine A 45,0 μm , v skupine B 48,0 μm a v skupine C 50,5 μm . Ako štatisticky významný sme vyhodnotili rozdiel medzi skupinami A a B ($p < 0,001$) aj skupinami A a C ($p < 0,001$), nie však medzi B a C ($p = 0,143$) (Graf 1). Medián hrúbky epitelu rohovky v paracentrálnej 2–5 mm zóne rohovky bol v skupine A 47,0 μm , v skupine B 47,0 μm a v skupine C 49,0 μm . Rozdiely v hodnotách medzi jednotlivými skupinami vyhodnotené ako nesignifikantné ($p = 0,097$), preto *post hoc* test nebol pre tento parameter realizovaný (Graf 2). Medián minimálnej hrúbky epitelu rohovky bol v skupine A 33,0 μm , v skupine B 35,0 μm a v skupine C 35,0 μm . Ako štatisticky významný sme vyhodnotili rozdiel medzi skupinami A a B ($p < 0,001$), ako aj skupinami A a C ($p < 0,001$), ale nie skupinami B a C ($p = 0,576$) (Graf 3). Medián maximálnej hrúbky epitelu rohovky bol v skupine A 60,0 μm , v skupine B 58,0 μm a v skupine C 56,0 μm . Aj v tomto parametri sme ako štatisticky významný vyhodnotili rozdiel medzi skupinami A a B ($p < 0,001$), ako aj skupinami A a C ($p < 0,001$), nie však skupinami B a C ($p = 0,714$) (Graf 4).

Ďalej sme podrobným hodnotením parametrov **celkovej hrúbky rohovky** zistili nasledujúce výsledky. Medián hodnôt rozdielu celkovej hrúbky rohovky v hornom (S) a dolnom (I) segmente v paracentrálnej 2–5 mm zóne bol v skupine A 55,0 μm , v skupine B 37,0 μm a v skupine C 20,0 μm . Ako štatisticky významný sme vyhodnotili rozdiel medzi skupinami A a B ($p < 0,001$), ako aj skupinami A a C ($p < 0,001$), a v tomto prípade aj medzi skupinami B a C ($p = 0,003$). Zďaleka najvýraznejší rozptyl hodnôt bol zaznamenaný v skupine A, čo zodpovedá typicky rôznorodej asymetrii v hrúbke rohovky pri keratokónuse (Graf 5). Medián hodnôt rozdielu celkovej hrúbky rohovky v hornom nazálnom (SN) a dolnom temporálnom (IT) segmente v paracentrálnej 2–5 mm zóne bol v skupine A 59,0 μm , v skupine B 45,0 μm a v skupine C 32,0 μm . Ako štatisticky významný sme zaznamenali rozdiel medzi skupinami A a B ($p < 0,001$), ako aj skupinami A a C ($p < 0,001$), a tiež skupinami B a C ($p < 0,001$). Podobne ako pri predchádzajúcom parametri S-I bol aj

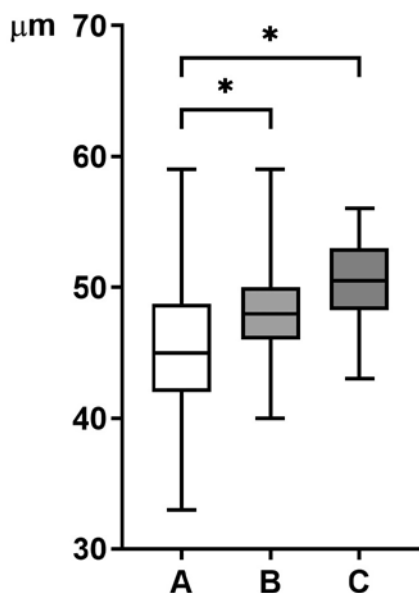
Tabuľka 1. Charakteristika súboru – parametre analyzované v súbore očí vyšetrovaných pomocou pachymetrických máp AS OCT, výsledky sú prezentované ako medián (interkvartilový rozsah)

Pomocné parametre						
	CZO	NKCZO	K ₁ (D)	K ₂ (D)	SE (D)	Cyl (D)
A	0,2 (0,05–0,6)	0,7 (0,45–0,9)	44,75 (43,50–48,12)	47,25 (46,12–52,62)	-4,43 (-7,53 až -2,12)	-2,62 (-4,62 až -1,62)
B	0,7 (0,2–1,0)	1,0 (0,8–1,0)	43,0 (42,0–44,25)	44,87 (43,75–46,75)	-0,75 (-3,0 až 0)	-1,5 (-3,0 až -0,5)
C	0,35 (0,08–0,5)	1,0 (0,8–1,0)	43,0 (41,75–44,0)	44,87 (44,25–46,62)	0,9 (-3,62 až -0,81)	-2,25 (-3,5 až -1,5)

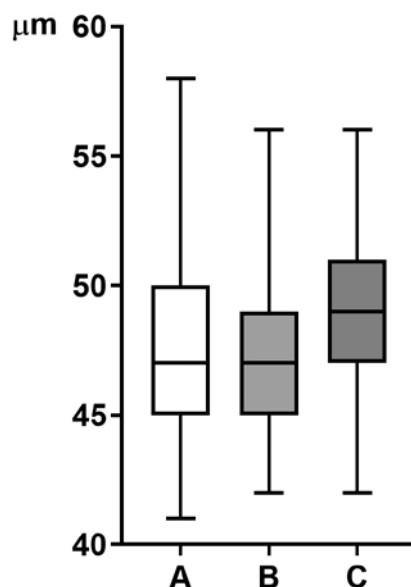
A – keratokónus, B – latentný keratokónus, C – astigmatizmus, CZO – nekorigovaná centrálna zraková ostrnosť, NKZO – najlepšia korigovaná centrálna zraková ostrnosť, K₁, K₂ – keratometrie v najmenej strmom a najstrmšom meridiáne rohovky, SE – sférický ekvivalent, D – dioptria

v parametri SN-IT zistený najväčší rozptyl hodnôt v skupine A (Graf 6). Medián hodnôt minimálnej celkovej hrúbky rohovky bol v skupine A 446,0 μm , v skupine B 498,0 μm a v skupine C 536,5 μm . V tomto parametri bol štatisticky signifikantný rozdiel medzi skupinami A a B ($p < 0,001$), ako aj skupinami A a C ($p < 0,001$) a medzi skupinami

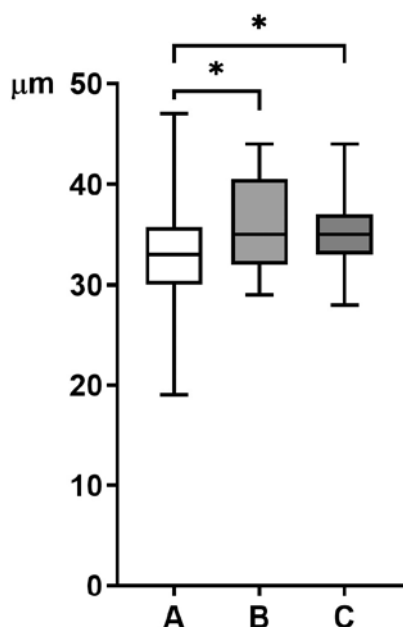
B a C ($p < 0,001$) (Graf 7). Medián hodnôt rozdielu maximálnej a minimálnej celkovej hrúbky rohovky bol v skupine A 163,0 μm , v skupine B 135,0 μm a v skupine C 116,5 μm . V tomto parametri sme bol štatisticky signifikantný rozdiel medzi skupinami A a B ($p < 0,001$), ako aj skupinami A a C ($p < 0,001$). Rozdiel medzi skupinami B a C bol



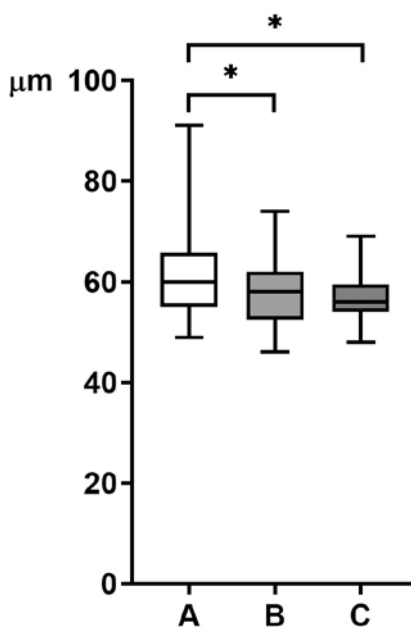
Graf 1. Hodnoty hrúbky epitelu rohovky – medián (interkvartilový rozsah) – v centrálnej 2 mm zóne odčítané z pachymetrických máp AS OCT
A – keratokónus, B – latentný keratokónus, C – astigmatizmus, * – $p < 0,001$



Graf 2. Hodnoty hrúbky epitelu rohovky – medián (interkvartilový rozsah) – v paracentrálnej 2–5 mm zóne odčítané z pachymetrických máp AS OCT
A – keratokónus, B – latentný keratokónus, C – astigmatizmus

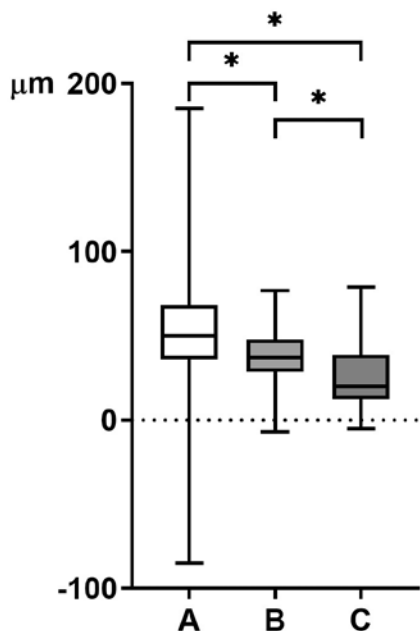


Graf 3. Hodnoty minimálnej hrúbky epitelu rohovky – medián (interkvartilový rozsah) – odčítané z pachymetrických máp AS OCT
A – keratokónus, B – latentný keratokónus, C – astigmatizmus, * – $p < 0,001$

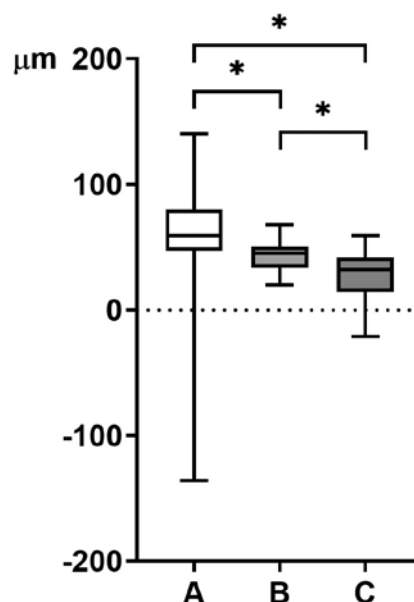


Graf 4. Hodnoty maximálnej hrúbky epitelu rohovky – medián (interkvartilový rozsah) – odčítané z pachymetrických máp AS OCT
A – keratokónus, B – latentný keratokónus, C – astigmatizmus, * – $p < 0,001$

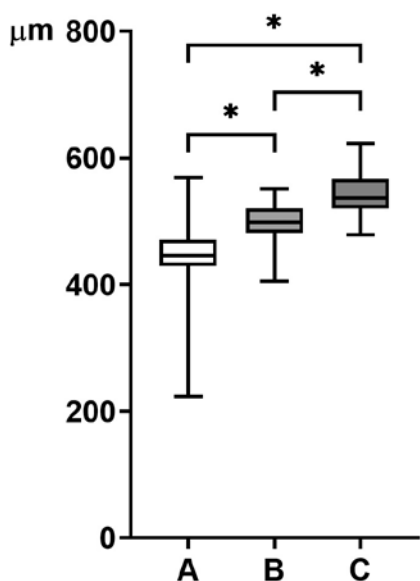
hranične signifikantný ($p = 0,057$) (Graf 8). V rámci štatistickej analýzy sa na základe výsledkov ako najspoľahlivejšie parametre javia: **rozdiel medzi skupinami A, B a C v parametroch S-I v 2–5 mm paracentrálnej zóne, ďalej v SN-IT v 2–5 mm paracentrálnej zóne a v hodnotách minimálnej hrúbky rohovky** (Tabuľka 2,3).



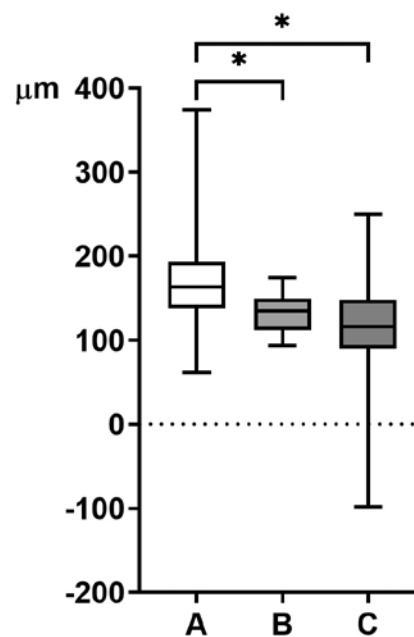
Graf 5. Hodnoty rozdielu celkovej hrúbky v hornom (S) a dolnom (I) segmente rohovky – medián (interkvartilový rozsah) – v paracentrálnej 2–5 mm zóne odčítané z pachymetrických máp AS OCT
A – keratokónus, B – latentný keratokónus, C – astigmatizmus, * – $p < 0,001$



Graf 6. Hodnoty rozdielu celkovej hrúbky v hornom nazálnom (SN) a dolnom temporálnom (IT) segmente rohovky – medián (interkvartilový rozsah) – v paracentrálnej 2 – 5 mm zóne odčítané z pachymetrických máp AS OCT
A – keratokónus, B – latentný keratokónus, C – astigmatizmus, * – $p < 0,001$



Graf 7. Hodnoty minimálnej celkovej hrúbky – medián (interkvartilový rozsah) – rohovky odčítané z pachymetrických máp AS OCT
A – keratokónus, B – latentný keratokónus, C – astigmatizmus, * – $p < 0,001$



Graf 8. Hodnoty rozdielu maximálnej a minimálnej celkovej hrúbky rohovky – medián (interkvartilový rozsah) – odčítané z pachymetrických máp AS OCT
A – keratokónus, B – latentný keratokónus, C – astigmatizmus, * – $p < 0,001$

DISKUSIA

AS OCT umožňuje vizualizáciu rohovky a jej patologických stavov vrátane keratokónusu. Keďže toto bilaterálne ektatické ochorenie rohovky zvyčajne postihuje mladých pacientov a riziko závažného nezvratného

vplyvu na zrakovú ostrosť pacienta je značné, potreba zlepšenia diagnostických možností už v jeho počiatočných štádiách je veľmi naliehavá.

V tejto práci boli s použitím AS OCT pachymetrie zistené štatisticky významné rozdiely vo väčšine analyzovaných parametrov hrúbky epitelu rohovky (hrúbka v 2 mm centrálnej zóne, minimálna hrúbka, maximálna hrúbka). Išlo o rozdiely medzi analyzovanými skupinami očí s keratokónusom a latentným keratokónusom, ako aj medzi keratokónusom a astigmatizmom. Významné rozdiely v hrúbke epitelu medzi latentným keratokónusom a astigmatizmom neboli potvrdené. Nepreukázali sme teda schopnosť AS OCT rozlíšiť medzi latentnou formou ochorenia a astigmatizmom na základe parametrov hrúbky epitelu rohovky. V tomto bode sa AS OCT nejaví ako zobrazovacia metóda prínosná pri možnom odhalení latentného ochorenia, len metóda schopná odlíšiť klinicky manifestný keratokónus od latentného a od rohovkového astigmatizmu bez ektatických zmien. V parametroch celkovej hrúbky rohovky preukázal AS OCT významné rozdiely vo všetkých 4 analyzovaných parametroch (S-I, SN-IT, min, max-min). Išlo o rozdiely medzi analyzovanými skupinami očí s keratokónusom a latentným keratokónusom, ďalej s keratokónusom a astigmatizmom, ale aj s latentným keratokónusom

a astigmatizmom. V tomto bode je AS OCT schopná zaznamenať parametre odlišujúce klinicky manifestný keratokónus od latentného ochorenia a okrem toho aj latentné ochorenie od rohovkového astigmatizmu bez ektatických zmien. Hoci stredne ťažké a pokročilé formy ektatického ochorenia rohovky možno pomerne ľahko a spoľahlivo diagnostikovať klinickým vyšetrením pacienta a rohovkovou topografiou, odlíšenie počiatočných štádií, alebo latentnej formy keratokónusu od normálnej (zdravej) rohovky nemusí byť týmto postupom možné. V takomto prípade je AS OCT doplnujúcim vyšetrením, ktoré dokáže odhaliť keratokónus pred jeho klinickou manifestáciou, čo považujeme za hlavný prínos využívania predmetnej vyšetrovacej metódy v klinickej praxi [9].

Elhennawi a kol. použili AS OCT pre diagnostiku keratokónusu u pacientov pred refrakčnou operáciou rohovky. Analyzovali skupinu 40 očí s myopickým astigmatizmom. Zamerali sa na 5 mm centrálnu zónu rohovky a v zhode s výsledkami našej štúdie zistili, že hodnoty minimálnej hrúbky rohovky, rozdielu medzi hrúbkou rohovky v dolnom a hornom kvadrante (I-S) a medzi hrúbkou v dolnom temporálnom a hornom nazálnom kvadrante (IT-SN) môžu byť dobrými ukazovateľmi pri diagnostike keratokónusu [10].

Tabuľka 2. Výsledky štatistickej analýzy parametrov epitelu rohovky

	Hrúbka epitelu rohovky v centrálnej 2 mm zóne (μm)			Hrúbka epitelu rohovky v paracentrálnej 2–5 mm zóne (μm)			Minimálna hrúbka epitelu (μm)			Maximálna hrúbka epitelu (μm)		
	Priemer	SD (+/-)	Medián	Priemer	SD (+/-)	Medián	Priemer	SD (+/-)	Medián	Priemer	SD (+/-)	Medián
A	45,2	5,23	45	47,6	3,48	47	32,9	4,28	33	61,8	8,63	60
B	48,5	4,52	48	47,7	3,48	47	36	4,17	35	57,5	6,1	58
C	50,3	3,25	50,5	48,9	3,28	49	35,3	3,5	35	56,8	4,53	56
A vs. B	p < 0,001			-			p < 0,001			p < 0,001		
B vs. C	p = 0,143			-			p = 0,576			p = 0,714		
A vs. C	p < 0,001			-			p < 0,001			p < 0,001		

A – keratokónus, B – latentný keratokónus, C – astigmatizmus, SD – štandardná odchýlka

Tabuľka 3. Výsledky štatistickej analýzy parametrov celkovej hrúbky rohovky

	Rozdiel celkovej hrúbky rohovky v hornom (S) a dolnom (I) segmente v paracentrálnej 2–5 mm zóne (μm)			Rozdiel celkovej hrúbky rohovky v hornom nazálnom (SN) a dolnom temporálnom (IT) segmente v paracentrálnej 2–5 mm zóne (μm)			Minimálna celková hrúbka rohovky (μm)			Rozdiel maximálnej a minimálnej celkovej hrúbky rohovky (μm)		
	Priemer	SD (+/-)	Medián	Priemer	SD (+/-)	Medián	Priemer	SD (+/-)	Medián	Priemer	SD (+/-)	Medián
A	56,4	17,92	55	60,6	34,62	59	443,7	53,74	446	169,7	50,04	163
B	38,4	17,67	37	43,5	12,66	45	497,3	30,50	498	132,3	21,78	135
C	25	18,92	20	30,2	17,05	32	543,4	33,81	536,5	115,6	54,73	116,5
A vs. B	p < 0,001			p < 0,001			p < 0,001			p < 0,001		
B vs. C	p = 0,003			p < 0,001			p < 0,001			p = 0,057		
A vs. C	p < 0,001			p < 0,001			p < 0,001			p < 0,001		

A – keratokónus, B – latentný keratokónus, C – astigmatizmus, SD – štandardná odchýlka

Ostadian a kol. hodnotili skupinu 63 očí pred refrakčnou operáciou rohovky, v ktorej malo 24 očí normálny topografický nález s myopiou do -6 D a astigmatizmom do -4 D, 17 očí malo topografický nález zodpovedajúci latentnému keratokónusu a 22 očí malo včasnú formu manifestného keratokónusu. Na rozdiel od našej práce hodnotili pomocou AS OCT len hrúbku epitelu rohovky, nie parametre celkovej hrúbky rohovky. Hrúbku epitelu pritom hodnotili na základe odlišne zvolených parametrov (tzv. index uniformity epitelu horného a nazálneho segmentu, rozdiel medzi hrúbkou epitelu v hornom nazálnom a dolnom temporálnom segmente – SN-IT, rozdiel medzi hrúbkou epitelu v temporálnom a nazálnom segmente – T-N), než aké boli hodnotené v našej práci. Zistili, že jej hodnoty boli v prípadoch latentného keratokónusu zvýšené v dolnom a temporálnom kvadrante. Okrem toho v skupine očí s latentným keratokónusom potvrdili významne menší rozdiel v hrúbke epitelu medzi horným a dolným, ako aj medzi horným nazálnym a dolným temporálnym kvadrantom (S-I a SN-IT) v porovnaní so skupinou očí s manifestným keratokónusom. V analyzovanej skupine očí s manifestným keratokónusom bola oblasť s minimálnou hrúbkou rohovkového epitelu významne menšia v porovnaní so skupinami s normálnym a latentným topografickým nálezom. Hrúbka epitelu sa zväčšuje, aby prekryla oblasti stenčenia strómy, preto indexy ako S-I a SN-IT, ktoré odrážajú asymetriu epitelu rohovky, ako aj zvýšenú hrúbku epitelu v dolnej časti rohovky, môžu mať pomocný význam pri diagnostike latentného, resp. včasných štádií manifestného keratokónusu [11].

Li a kol. vo svojej štúdii porovnávali výsledky analýzy hrúbky rohovkového epitelu pomocou AS OCT v skupine 145 normálnych očí a 35 očí s keratokónusom. Skupinu očí s latentným ochorením táto práca na rozdiel od nášho súboru analyzovaných očí nezahrňala a tiež sa táto práca nezaoberala parametrami celkovej hrúbky rohovky. Nezistili žiadny významný rozdiel medzi hodnotami hrúbky epitelu v centrálnej a hornej časti rohovky, ale hrúbka epitelu v dolnej časti rohovky bola významne nižšia u očí s keratokónusom v porovnaní so skupinou normálnych očí. Ich výsledky sa s našou prácou čiastočne zhodujú, keďže podobne ako v našej práci boli minimálna hrúbka epitelu rohovky, index asymetrie S-I a rozdiel medzi minimálnou a maximálnou hrúbkou epitelu rohovky (min-max) významne nižšie u očí s keratokónusom. Priemerná hrúbka rohovkového epitelu bola menšia v dolnom temporálnom kvadrante a väčšia v hornom nazálnom kvadrante v skupine očí s keratokónusom v porovnaní s normálnymi očami [3].

Qin a kol. porovnávali súbor 133 normálnych očí a 84 očí s keratokónusom pomocou AS OCT pachymetrických máp so zameraním len na parametre celkovej hrúbky rohovky. Ani táto publikácia sa skupinou očí s latentným ochorením na rozdiel od našej práce nezaoberala. Z hľadiska metodiky práce boli hodnotené parametre čiastočne zhodné s parametrami zvolenými

na analýzu v našej práci: minimálna hrúbka rohovky, rozdiel minimálnej a strednej hrúbky rohovky (vypočítaný z hodnôt v 5 mm centrálnej zóne rohovky), rozdiel hrúbky rohovky v hornom a dolnom oktante (S-I), rozdiel hrúbky rohovky v hornom nazálnom a dolnom temporálnom oktante (SN-IT) a vertikálna poloha najtenšieho bodu rohovky (Y_{min}). V zhode s výsledkami našej práce zistili štatisticky významné rozdiely medzi skupinou očí s keratokónusom a skupinou očí s astigmatizmom v parametroch S-I, SN-IT a minimálnej celkovej hrúbke rohovky ($p < 0,001$). Odvodili tiež vzorec, podľa ktorého možno zo získaných premenných spoľahlivo stanoviť diagnózu keratokónusu: $0,543 \times \min + 0,541 \times (S-I) - 0,886 \times (SN-IT) + 0,886 \times (\min - \text{med}) + 0,0198 \times Y_{min}$ [12].

V štúdii Sellu a kol. bola hodnotená reprodukovateľnosť a opakovateľnosť pachymetrického vyšetrenia rohovky a rohovkového epitelu pomocou AS OCT na skupine 12 normálnych očí a 48 očí s variabilným nálezom ovplyvňujúcim stav rohovky (syndróm suchého oka, dlhodobé používanie mäkkých alebo tvrdých kontaktných šošoviek na korekciu refrakčnej chyby a keratokónus). Pachymetrické mapy rohovky boli podobne ako v tejto práci rozdelené na 2 mm centrálnu zónu, 2–5 mm paracentrálnu zónu, a navyše aj 5–6 mm periférnu zónu. Paracentrálna aj periférna zóna boli analyzované v 8 sektoroch (temporálny, horný temporálny, horný, horný nazálny, nazálny, dolný nazálny, dolný a dolný temporálny), čo viedlo k celkovému vyhodnoteniu 17 parametrov mapy. Podskupina očí s keratokónusom v tejto štúdii však zahŕňala len 12 očí vrátane jedného oka po perforujúcej keratoplastike a jedného oka po implantácii intrastromálnych rohovkových segmentov; žiadne z očí nepodstúpilo CXL. Štúdia vyhodnotila AS OCT ako všeobecne spoľahlivú metódu vyšetrenia rohovky u pacientov s keratokónusom a výsledky celkovej pachymetrie a epitelovej pachymetrie ako opakovateľné a reprodukovateľné pre celé spektrum závažnosti ochorenia. Rovnako ako v našom súbore bol aj v tejto publikácii zistený štatisticky významný rozdiel v minimálnej a v maximálnej hrúbke epitelu medzi skupinou zdravých očí a skupinou očí s keratokónusom ($p < 0,001$). V závere práca upozornila, že u očí s keratokónusom bola zvýšená potreba manuálnej korekcie obrazu (17,9 %), keďže automatická segmentácia prístrojom môže byť nepresná v prípade nepravidelných rohoviek. Opakovateľnosť a reprodukovateľnosť však zostala vysoká [13].

ZÁVER

Pachymetrické mapy sú preukázateľne spoľahlivou metódou na identifikovanie rozdielov medzi keratokónusom a latentným keratokónusom, medzi keratokónusom a astigmatizmom, ale aj – a to je v tejto súvislosti najdôležitejšie – medzi latentným keratokónusom a rohovkovým astigmatizmom. Výsledky práce naznačujú,

že najvýznamnejšie pre odlíšenie latentného keratokónusu sú odlišnosti v parametroch S-I v 2–5 mm paracentrálnej zóne, ďalej v SN-IT v 2–5 mm paracentrálnej zóne a v hodnotách minimálnej hrúbky rohovky. Na základe opísaných výsledkov tejto práce môžeme odporučiť,

aby v rámci predoperačného skrínngu pacientov pred laserovými refrakčnými operáciami rohovky bolo okrem štandardných diagnostických postupov (napríklad rohovkovej topografie) realizované aj zobrazenie rohovky pomocou AS OCT.

LITERATÚRA

1. Vazirani J, Basu S. Keratoconus: current perspectives. *Clin ophthalmol*. 2013;7:2019-2030.
2. Studeny P. a kol. Keratokonus. Praha: Maxdorf. 2020. ISBN 978-80-7345-665-8.
3. Li Y, Tan O, Brass R, Weiss JL, Huang D. Corneal epithelial thickness mapping by fourier-domain optical coherence tomography in normal and keratoconic eyes. *Ophthalmology*. 2012;119:2425-2433.
4. Gokul A, Vellara HR, Patel DV. Advanced anterior segment imaging in keratoconus: a review: Imaging the keratoconic cornea. *Clin Exp Ophthalmol*. 2018;46:122-132.
5. Kanellopoulos AJ, Asimellis G. Anterior segment optical coherence tomography: assisted topographic corneal epithelial thickness distribution imaging of a keratoconus patient. *Case Rep Ophthalmol*. 2013;18:74-78.
6. Lohmann CP, Reschl U, Marshall J. Regression and epithelial hyperplasia after myopic photorefractive keratectomy in a human cornea. *J Cataract Refract Surg*. 1999;25:712-715.
7. Reinstein DZ, Srivannaboon S, Gobbe M, et al. Epithelial thickness profile changes induced by myopic LASIK as measured by Artemis very high-frequency digital ultrasound. *J Refract Surg*. 2009;25:444-450.
8. Franco J, White CA, Kruh JN. Analysis of compensatory corneal epithelial thickness changes in keratoconus using corneal tomography. *Cornea*. 2019;39:298-302.
9. Ramos JLB, Li Y, Huang D. Clinical and research applications of anterior segment optical coherence tomography – a review. *Clin Exp Ophthalmol*. 2009;37:81-89.
10. Ellenhaw FM, Alzankalony YA, Abdellatif MK, Ibrahim AMT. Role of anterior segment optical coherence tomography in the diagnosis of subclinical keratoconus in comparison with the Pentacam. *Egypt J Hosp Med*. 2018;72:3712-3715.
11. Ostadian F, Farrahi F, Mahdian RA. Comparison of corneal epithelial thickness map measured by spectral domain optical coherence tomography in healthy, subclinical and early keratoconus subjects. *Med Hypothesis Discov Innov Ophthalmol*. 2019;8:85-91.
12. Qin B, Chen S, Brass R, et al. Keratoconus diagnosis with an optical coherence tomography-based pachymetric scoring system. *J Cataract Refract Surg*. 2013;9:1864-1871.
13. Sella R, Zangwill LM, Weinreb RN, Afshari NA. Repeatability and reproducibility of corneal epithelial thickness mapping with spectral-domain optical coherence tomography in normal and diseased cornea eyes. *Am J Ophthalmol*. 2019;197:88-97.