Oftalmologie 5-6-011 19.1.2012 11:08 Str. 154
proLékaře.cz | 19.12.2026

PŮVODNÍ PRÁCE

Závislost nitroočního tlaku měřeného aplanační tonometrií, bezkontaktní tonometrií a TonoPenem na centrální tloušťce rohovky

Česká Burdová M., Ferrová K., Filouš A., Oskorypová K., Ležatková P., Sedláčková P.

Oční klinika dětí a dospělých UK 2. LF a FN Motol, Praha,
přednostka prof. MUDr. D. Dotřelová, CSc.

SOUHRN

Cílem práce bylo stanovení závislosti nitroočního tlaku (IOP) měřeného aplanační tonometrií (AT), bezkontaktní tonometrií (BT) a TonoPenem (TP) na centrální tloušťce rohovky (CCT) a porovnání jednotlivých tonometrií ve vztahu k CCT.

Metodika: Ve studii autoři hodnotili IOP a CCT 106 očí 106 subjektů ve věku 7–77 let (průměr 34,3 ± 17,1 roku), kterým byla změřena hodnota IOP bezkontaktním tonometrem, TonoPenem a Goldmannovou aplanační tonometrií. Ultrazvukovým pachymetrem byla stanovena CCT. Získaná data byla statisticky zpracována.

Výsledky: Průměrná hodnota CCT byla 572 ± 46 μm (455–701 μm). Pozitivní korelace mezi naměřenými hodnotami IOP a CCT byla zjištěna u všech tří metod měření IOP. Změna měřeného IOP na 100 μm CCT byla 2,0, 2,5 a 5,6 mmHg při použití TP, AT a BT.

Závěr: Nitrooční tlak měřený všemi třemi metodami je závislý na CCT. Bezkontaktní tonometrie je závislá na CCT signifikantně více než AT a TP, mezi nimiž byla zjištěna těsná korelace ve vztahu k CCT.

Klíčová slova: centrální tloušťka rohovky, nitrooční tlak, Goldmannova aplanační tonometrie, bezkontaktní tonometrie, TonoPen

SUMMARY

Correlation of Intraocular Pressure Measured by Applanation Tonometry, Noncontact Tonometry and TonoPen with Central Corneal Thickness

The purpose of the study was to determine the dependence of intraocular pressure (IOP) measured by Goldmann applanation tonometer (AT), non-contact tonometer (BT) and Tono-Pen (TP) on central corneal thickness (CCT) as well as the respective comparison in relation to the central corneal thickness.

Methods: CCT and IOP were assessed in 106 eyes of 106 subjects aged 7–77 years (mean 34.3 ± 17.1 years). IOP was measured with BT, TP and AT. Central corneal thickness was assessed using ultrasound pachymetry. The obtained data were statistically analyzed.

Results: The mean CCT in 106 eyes was 572 ± 46 μm (range 455–701 μm). A positive correlation between IOP and CCT was found in all types of tonometry. The change in measured IOP for a 100μm of CCT was 2.0, 2.5 and 5.6 mmHg for TP, AT and BT, respectively.

Conclusion: IOP measurement by all three methods is affected by CCT. The BT is influenced by CCT significantly more than are AT and TP.

Key words: central corneal thickness, intraocular pressure, Goldmann applanation tonometry, non-contact tonometry, Tono-Pen

Čes. a slov. Oftal., 67, 2011, No. 5–6, p. 154–157

Do redakce doručeno dne 17. 7. 2011

Do tisku přijato dne 1. 12. 2011

MUDr. Marie Česká Burdová
Oční klinika dětí a dospělých
UK 2.LF a FN Motol
V Úvalu 84
150 06 Praha 5
marie.ceska-burdova@fnmotol.cz

ÚVOD

Cílem této prospektivní studie je stanovení vlivu centrální tloušťky rohovky (CCT) na měření nitroočního tlaku (IOP) třemi různými metodami: Goldmannovou aplanační tonometrií (AT), bezkontaktní tonometrií (BT) a TonoPenem (TP).

Přesnost měření IOP je ovlivňována biofyzikálními parametry rohovky, z nichž nejsnadněji měřitelná je centrální tloušťka rohovky, která bývá považována za hlavní faktor [1, 2, 3, 4, 5, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 19, 20]. V Terminology and Guidelines for Glaucoma EGS z roku 2003 je doporučován koeficient přepočtu IOP pro aplanační tonometrii K= ± 0,2–0,7 mmHg/10 μm CCT, (tj. více než trojnásobné rozmezí) [17], zatímco ve třetím vydání tohoto dokumentu z roku 2008 je platnost algoritmu pro přepočet již zpochybněna [18]. Vztah mezi tonometrií a CCT je tedy pravděpodobně složitější a menší odchylky CCT od průměru, který se pohybuje kolem 550 μm [3] nejsou při interpretaci naměřených hodnot IOP klinicky významné. Centrální tloušťka rohovky však kolísá fysiologicky v širokém rozmezí a také některé patologické stavy oka mají (i bez edému rohovky) významně vyšší [6, 7, 8] nebo na-

Oftalmologie 5-6-011 19.1.2012 11:08 Str. 155
proLékaře.cz | 19.12.2026

opak nižší hodnoty CCT [7, 8]. Také citlivost různých tonometrických metod vůči CCT může být různá [4].

METODIKA

Do studie byli zařazeni dospělí a dětští pacienti Oční kliniky dětí a dospělých UK 2. LF a FN Motol nebo jejich rodiče, jakož i dobrovolníci z řad personálu po podepsání informovaného souhlasu. Protokol studie byl schválen etickou komisí Fakultní nemocnice v Praze Motole. Celkem bylo analyzováno 107 očí (44 levých a 63 pravých) 106 subjektů bílé rasy ve věku 7–77 let (průměr 34,3 ± 17,1 roku), 68 ženského pohlaví, 38 mužského pohlaví.

Výběr oka pro analýzu byl prováděn v závislosti na centrální rohovkové tloušťce tak, že hodnoceno bylo oko s větší odchylkou CCT od 550 μm.

Všem subjektům byla odebrána osobní anamnéza, stanovena refrakce a provedeno vyšetření předního a zadního segmentu oka. Do studie byli zařazeni jen pacienti s normálním nálezem na předním segmentu oka. V anamnéze nebylo přítomno nošení kontaktních čoček nebo oční operace. Šest pacientů mělo diabetes mellitus, jeden pacient suchou formu věkem podmíněné makulární degenerace, šest pacientů kompenzovaný primární glaukom s otevřeným úhlem, devatenáct subjektů bylo vyšetřováno s podezřením na glaukom či oční hypertenzi a ostatní byli vyšetřeni při předpisu brýlí anebo se jednalo o dobrovolníky z řad personálu.

Jednotlivá měření byla u všech prováděna stejnými přístroji ve stejném pořadí: stanovení refrakce a IOP bezkontaktním tonometrem (Tonoref II, Nidek Co., Ltd, Japan), stanovení CCT pomocí ultrazvukové pachymetrie (Echoscan US-1800, Nidek Co., Ltd, Japan), na oku s větší odchylkou CCT od 550 μm pokračovala další měření nitroočního tlaku pomocí TonoPenu (Tono-Pen Avia®, Reichert Technologies, NY, USA) a aplanační tonometrie (Haag-Streit Goldmann tonometer, Germany). Časový interval mezi prvním a posledním měřením byl 5–10 minut.

Refrakce byla stanovena v automatickém režimu přístroje. Kalibrovaný bezkontaktní tonometr byl užit pro měření nitroočního tlaku obou očí u všech subjektů. V automatickém režimu byla provedena tři měření, která byla na hodnoceném oku použita pro statistickou analýzu. Po aplikaci 0,4% oxybuprocainu (Benoxi, Unimed Pharma) byla stanovena CCT kalibrovaným ultrazvukovým pachymetrem na obou očích. Prováděli jsme pět měření v centru rohovky sondou směřující kolmo k jejímu povrchu a hodnoty byly aritmeticky zprůměrovány a použity pro statistickou analýzu. Další měření pokračovala už jen na oku s větší pozitivní nebo negativní odchylkou od 550 μm. TonoPenem byla po kalibraci, kterou uvádí výrobce, provedena v centru rohovky vybraného oka tři měření s maximální validitou a získané hodnoty byly použity v analýze dat. Po aplikaci lokálního anestetika s fluoresceniem (Thilorbin, Alcon) byla provedena na kalibrovaném Goldmannově aplanačním tonometru tři standardní měření, která byla použita k dalšímu statistickému zpracování.

Shromážděná data byla statisticky vyhodnocena komerčně dostupným softwarem SPSS (Ver.) 10.0 (Chicago, IL). Pro zhodnocení korelace CCT a IOP byla provedena lineární regresní analýza.

VÝSLEDKY

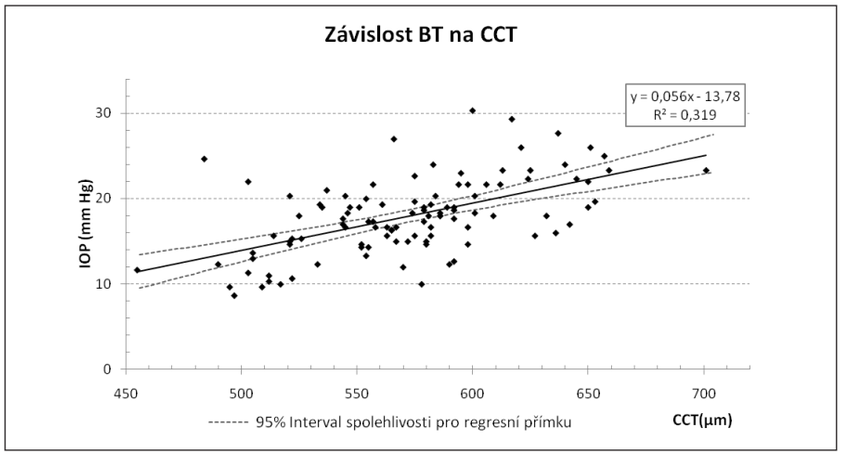
Průměrná refrakce byla -0,21 ± 1,75D (od -7,0 do +4,5D sférického ekvivalentu). Průměrná hodnota CCT byla 572 ± 46 μm (455–701 μm).

Průměrná hodnota IOP u 106 očí zjištěná bezkontaktní tonometrií byla 17,95 ± 4,47 mmHg (8,67–30,33 mmHg), TonoPenem 16,13 ± 3,40 mmHg (8,67–27,0 mmHg) a Goldmannovou aplanační tonometrií 16,55 ± 2,95 mmHg (8,33 až 25,33 mmHg).

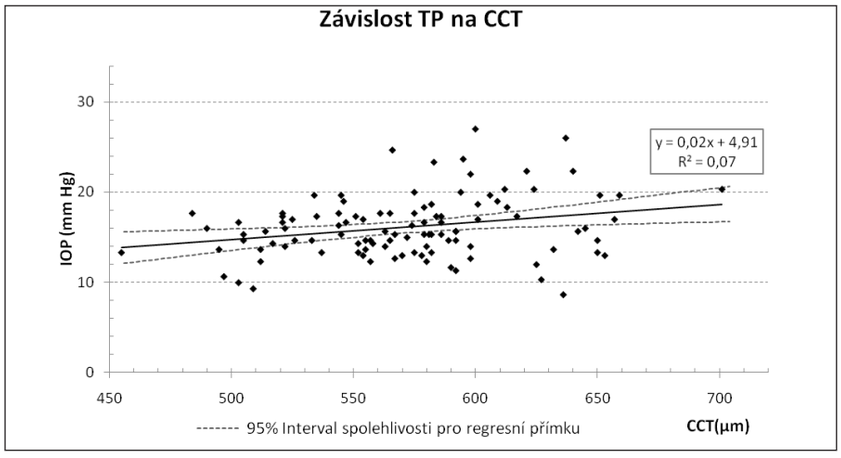
Byla zjištěna pozitivní korelace mezi IOP a CCT, když se nitrooční tlak zvyšoval s rostoucí hodnotou CCT u všech použitých metod měření IOP. V grafu 1, 2 a 3 je znázorněn pomocí regresní analýzy průběh závislosti BT, TP a AT na CCT včetně vyznačení 95% intervalu spolehlivosti pro regresní přímku.

Souhrnné porovnání jednotlivých tonometrií ve vztahu k CCT znázorňuje graf 4. V testu rovnoběžnosti regresních přímek korelace IOP k CCT je tato zamítnuta pro BT versus TP (p = 0,0009) a BT versus AT (p = 0,0024), zatímco pro TP versus AT (p = 0,54) zamítnuta není.

Změnu IOP na 100 μm CCT zjištěnou pro jednotlivé typy tonometrie uvádí tabulka 1.

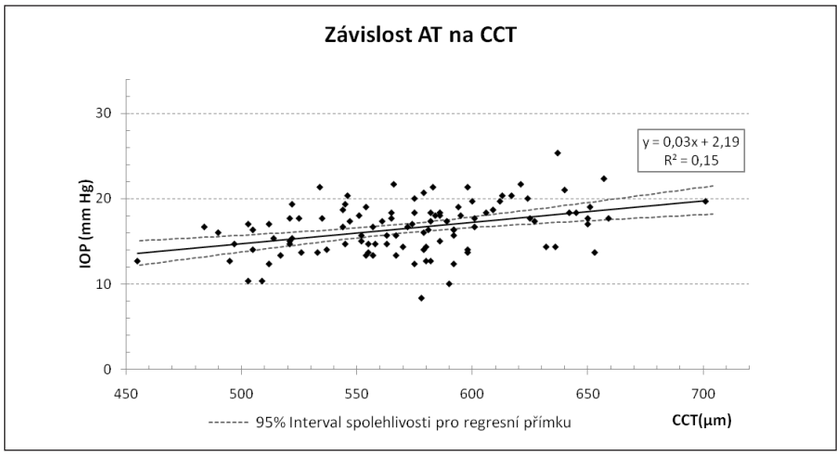


Graf 1. Regresní analýza závislosti BT na CCT

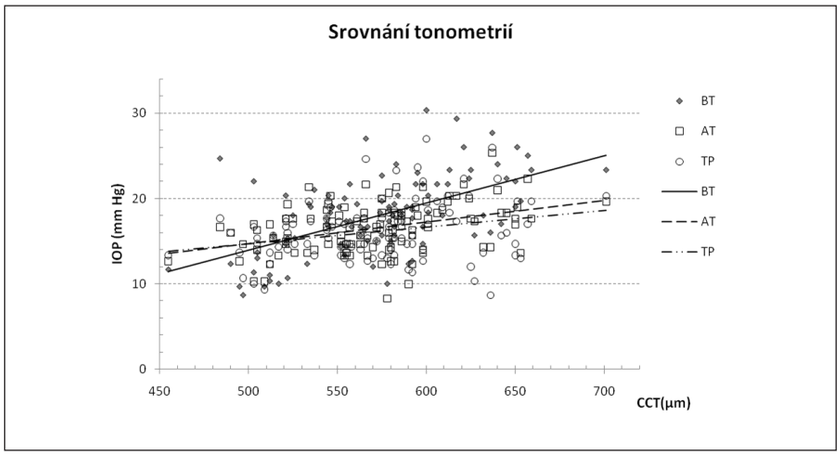


Graf 2. Regresní analýza závislosti TP na CCT

Oftalmologie 5-6-011 19.1.2012 11:08 Str. 156
proLékaře.cz | 19.12.2026



Graf 3. Regresní analýza závislosti AT na CCT



Graf 4. Regresní analýza korelace IOP k CCT

Tab. 1. Změna IOP na 100 mmmm CCT pro BT, TP a AT

	Změna IOP na100 mmmm	Přímka regresní analýzy	R 2
BT	5,6 mmHg	y = 0,056x - 13,78	0,319
TP	2,0 mmHg	y = 0,020x + 4,91	0,07
AT	2,5 mmHg	y = 0,025x + 2,19	0,15

(BT = bezkontaktní tonometrie, TP = TonoPen, AT = Goldmannova aplanační tonometrie)

DISKUSE

Při výběru subjektů do klinické studie byly vyřazovacími kritérii patologický nález na rohovce a dekompenzovaný glaukom. Víme, že některá celková onemocnění, stejně jako celková nebo oční lokální léčba mohou ovlivnit jak klinicky měřený IOP, tak skutečnou hodnotu IOP [3, 4]. Primárním cílem studie však bylo stanovit korelaci mezi CCT a hodnotami IOP naměřenými různými tonometrickými metodami ve stejném čase na stejném oku.

Ve studii probíhala všechna měření na stejném kalibrovaném přístroji. Důraz byl kladen na správnou techniku měření a opakovanou tonometrii a pachymetrii ve snaze minimalizovat faktory vnášející do výsledků měření chyby.

Dle mnoha studií je centrální tloušťka rohovky jedním z hlavních faktorů [1, 2, 3, 4, 5, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 19, 20] ovlivňujících měření IOP a současně i použitá metoda stanovení CCT má vliv na její hodnotu [4]. Hojněji používaná ultrazvuková pachymetrie je považována za přesnější, s menší variabilitou měření. Hodnoty získané optickou pachymetrií jsou o něco nižší. V meta-analýze z klinických studiích je uváděna průměrná hodnota CCT 544 µm ± 34 µm měřených ultrazvukovou pachymetrií, při měření optickou metodou na štěrbinové lampě pak CCT 530 µm ± 29 µm [4]. V naší studii jsme použili běžnější ultrazvukovou pachymetrii.

Je známo, že rohovková tloušťka narůstá do periferie, kde má téměř dvojnásobnou hodnotu. Pro klinické hodnocení výše IOP u rohovek bez jizev, edému či jiné patologie postačí hodnota centrální [4, 8]. Centrální tloušťka rohovky uváděná v klinických studiích se pohybuje mezi 540–560 µm [3, 4], u dětí ve věku 7–17 let je 554 ± 33 µm [12]. Průměrná hodnota CCT v našem souboru byla 572 ± 46 µm, což je hodnota oproti jiným studiím vyšší. Do studie byly záměrně zařazeny oči s větší pozitivní či negativní odchylkou od 550 µm centrální tloušťky rohovky s cílem vytvořit soubor s co největším a pokud možno homogenním rozpětím hodnot CCT. Do souboru bylo zařazeno též 19 pacientů, kteří byli na naši kliniku odesláni s podezřením na glaukom po naměření zvýšeného nitroočního tlaku bezkontaktním tonometrem, u kterých byly následně zjištěny silnější rohovky. Tento fakt vysvětluje vyšší průměrnou centrální tloušťku rohovky v naší studii.

Cílem studie bylo stanovit a kvantifikovat závislost nitroočního tlaku na centrální tloušťce rohovky. Byla prokázána pozitivní korelace IOP na CCT u všech námi použitých tonometrických metod. Pozitivní korelace této závislosti je potvrzena v mnoha studiích [1, 2, 3, 4, 5, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 19, 20], avšak přesný vztah této závislosti nebyl dosud stanoven [18].

V naší studii byly použity tonometrické metody běžně dostupné v klinické i ambulantní praxi.

Ve shodě s jinými pracemi zkoumajícími závislost IOP na CCT při Goldmannově aplanační tonometrii jsme získali srovnatelné výsledky. V naší studii zjištěná změna 2,5 mmHg na 100 µm CCT je obdobná s výsledky uváděnými ve studiích v intervalu 1,1–2,8 mmHg na 100 µm CCT [1, 11, 12, 15, 19], ačkoliv v některých publikacích jsou uváděny i výrazně vyšší nárůsty IOP o 6,6 mmHg na 100 µm CCT [2] nebo o 4–7 mmHg na 100 µm CCT [10]. Při použití Tonopenu byly výsledky závislosti IOP na CCT v jednotlivých studiích rovněž podobné. Změna 2,2 mmHg na 100 µm CCT je srovnatelná s těmito pracemi, kde činí 1,0–3,1 mmHg na 100 µm [1, 14, 19, 20]. Publikované hodnoty pozitivní korelace CCT a IOP při použití bezkontaktní tonometrie jsou podobně jako v naší studii (5,6 mmHg na 100 µm) ve srovnání s AT i TP vyšší a pohybují se od 2,8 mmHg do 4,6 mmHg na 100 µm CCT [10, 11, 19, 20].

Při srovnání průměrných hodnot IOP v závislosti na CCT je v našem souboru

Oftalmologie 5-6-011 19.1.2012 11:08 Str. 157
proLékaře.cz | 19.12.2026

patrna těsná korelace při měření Goldmannovou aplanační tonometrií a Tono-Penem Avia (p = 0,54), zatímco BT vykazuje signifikantně vyšší pozitivní korelaci IOP vůči CCT při srovnání s AT (p = 0,0024) i s TP (p = 0,0009). Studie potvrdila klinickou zkušenost naší stejně jako dalších autorů, že zejména bezkontaktní tonometr nadhodnocuje hodnoty IOP u silnějších rohovek [19, 20].

Věkové rozpětí subjektů v naší studii je 7–77 let s průměrem 34,3 roku. Děti v České republice ve věku od 7 do 17 let však mají hodnoty CCT a IOP srovnatelné s výší hodnot CCT a IOP dospělých [12]. U dospělých osob bílé rasy, výhradně zastoupené v naší studii, nemá věk patrný vliv na CCT [3, 4].

ZÁVĚR

V našem souboru byla nejvýraznější pozitivní korelace nitroočního tlaku k centrální tloušťce rohovky u bezkontaktní tonometrie při nárůstu o 5,6 mmHg na 100 μm, zatímco u Goldmannovy aplanační tonometrie činí tento nárůst 2,5 mmHg na 100 μm a u tonometrie Tono-Penem 2,0 mmHg na 100 μm centrální tloušťky rohovky.

LITERATURA

1. **Bhan, A., Browning, AC., Shah, S. et al.:** Effect of corneal thickness on intraocular pressure measurements with the pneumotonometer, Goldmann applanation tonometer, and Tono-Pen, Invest Ophthalmol Vis Sci, 43, 2002; 5: 1389–1392.
2. **Broman, A.T., Congdon, N.G., Bandeen-Roche, K. et al.:** Influence of corneal structure, corneal responsiveness, and other ocular parameters on tonometric measurement of intraocular pressure, J Glaucoma, 16, 2007; 7: 581–588.
3. **Douhgty, M.J., Laiquzzaman, M., Müller et al.:** Central Corneal Thickness in European (White) Individuals, Especially Children and the Elderly, and Assessment of its Possible Importance in Clinical Measures of Intra-ocular Pressure, Ophthal Physiol Opt., 22; 2002: 491–504.
4. **Doughty, M.J., Zaman, M.L.:** Human Corneal Thickness and Its Impact on Intraocular Pressure Measures: A review and Metaanalysis Approach, Survey of Ophthal, 44, 2000: 367–407.
5. **Doyle, A., Lachkar,Y.:** Comparison of Dynamic Contour Tonometry with Goldmann Applanation Tonometry Over a Wide Range of Central Corneal Thickness, J Glaucoma, 14; 2005: 288-104.
6. **Filous, A., Osmera, J., Hlozanek, M. et al.:** Central corneal thickness in microphthalmic eyes with or without history of congenital cataract surgery, Eur J Ophthalmol, 21, 2011; 4: 374–378.
7. **Filous, A., Osmera, J., Hlozanek, M.:** The influence of corneal changes on the measurement of intraocular pressure in pediatric glaucomas, Acta Ophthalmol., 84, 2006; Suppl 238, 44.
8. **Filouš A., Ošmera J., Hložánek M.:** Význam pachymetrie rohovky dětí, Folia strabol. et neuroophthalmol., IX, 2006, suppl. I: 31–35.
9. **Marini, M., Da Pozzo, S., Accardo, A. et al.:** Comparing applanation tonometry and rebound tonometry in glaucomatous and ocular hypertensive eyes, Eur J Ophthalmol., 21, 2011; 3: 258–263.
10. **Molina, N., Milla, E., Bitrian, E. et al.:** Comparison of Goldmann tonometry, pneumotonometry and the effect of the central corneal thickness, Arch Soc Esp Oftalmol., 85, 2010; 10: 325–328.
11. **Murase, H., Sawada, A., Mochizuki, K. et al.:** Effects of corneal thickness on intraocular pressure measured with three different tonometers, Jpn J Ophthalmol. 53, 2009; 1: 1–6.
12. **Ošmera, J., Filouš, A., Hložánek, M.:** Centrální tloušťka rohovky, nitrooční tlak a jejich vzájemný vztah u zdravých českých dětí ve věku 7 až 17 let, Čes a slov Oftal., 65, 2009; 1: 19–23.
13. **Pakrou, N., Gray, T., Mills, R. et al.:** Clinical comparison of the Icare tonometer and Goldmann applanation tonometry, J Glaucoma, 17, 2008; 1: 43–47.
14. **Sahin, A., Basmak, H., Yildirim, N.:** The influence of central corneal thickness and corneal curvature on intraocular pressure measured by tonopen and rebound tonometer in children, J Glaucoma, 17, 2008; 1: 57–61.
15. **Sahin, A., Niyaz, L., Yildirim, N.:** Comparison of the rebound tonometer with the Goldmann applanation tonometer in glaucoma patients, Clin Experiment Ophthalmol., 35, 2007; 4: 335–339.
16. **Salvetat, M.L., Zeppieri, M., Tosoni, C. et al.:** Comparisons between Pascal dynamic contour tonometry, the TonoPen, and Goldmann applanation tonometry in patients with glaucoma, Acta Ophthalmol Scand., 85, 2007, 3: 272–279.
17. Terminology and guidelines for glaucoma, European Glaucoma society, 2nd edition, Dogma, 2003; Ch 1–4.
18. Terminology and guidelines for glaucoma, European Glaucoma society, 3rd edition, Dogma, 2008; 64.
19. **Tonnu, P.A., Ho, T., Newson, T. et al.:** The influence of central corneal thickness and age on intraocular pressure measured by pneumotonometry, non-contact tonometry, the Tono-Pen XL, and Goldmann applanation tonometry, Br J Ophthalmol, 89, 2005; 7: 851–854.
20. **Yildirim, N., Sahin, A., Basmak, H. et al.:** Effect of central corneal thickness and radius of the corneal curvature on intraocular pressure measured with the Tono-Pen and noncontact tonometer in healthy schoolchildren, J Pediatr Ophthalmol Strabismus, 44, 2007; 4: 216–222.