Oftalmologie 6-09 14.12.2009 15:37 Str. 223
proLékaře.cz | 3.11.2026

Aberace vyššího řádu u zdravé populace nad 40 let

Čermáková S., Skorkovská Š.

Klinika nemocí očních a optometrie Lékařské fakulty Masarykovy univerzity v Brně a Fakultní nemocnice u svaté Anny v Brně, přednosta doc. MUDr. Svatopluk Synek, CSc.

SOUHRN

Aberace vyššího řádu lidského oka mají velký vliv na kvalitu vidění. Význam znalosti aberací vyššího řádu spočívá v možnosti jejich ovlivnění wavefront-guided laserovou ablací či volbou umělé nitrooční čočky při chirurgii katarakty. Studie hodnotí výskyt aberací vyššího řádu u zdravé populace nad 40 let věku a jejich korelaci s věkem, výší refrakční vady a nejlépe korigovanou zrakovou ostrostí (NKZO). Výsledky prokázaly růst sférické aberace Z(4,0) a středního kvadratického průměru (RMS) aberací 3.-4. řádu s věkem. Dále byla nalezena negativní korelace mezi NKZO a sekundárním astigmatismem Z(4,2) a mezi NKZO a vertikálním coma Z(3,-1). Také byla zjištěna pozitivní korelace mezi výší hypermetropie a RMS aberací 3.-4. řádu, Z(4,0) a horizontálním coma Z(3,1).

Klíčová slova: aberace vyššího řádu, wavefront analýza, věk

SUMMARY

Higher-order Aberrations in Healthy Population over 40 Years of Age

Quality of vision is greatly influenced by higher order aberrations (HOAs). Knowledge of the HOAs of the human eye is useful because they can be managed by means of wavefront-guided laser ablation or by an appropriate artificial intraocular lens choice in cataract surgery. The study evaluates HOAs in healthy population over 40 years of age and their correlation with age, refractive error and best corrected visual acuity (BCVA). The results showed increase in spherical aberration Z(4,0) and increase in root mean square (RMS) of the 3rd and 4th order aberrations with age. Further there was a negative correlation between BCVA and secondary astigmatism Z(4,2), and between BCVA and vertical coma Z(3,-1). A positive correlation between hyperopia and RMS of the 3rd and 4th order aberrations, Z(4,0) and horizontal coma Z(3,1) was found.

Key words: higher order aberrations, wavefront analysis, age

Čes. a slov. Oftal., 65, 2009, No. 6, p. 223–226

ÚVOD

Kvalita lidského vidění je limitována různými faktory – rozptylem světla při jeho průchodu optickými médii, difrakcí, velikostí fotoreceptorů, šumem v optické nervové dráze či optickými aberacemi [14, 21].

Optické aberace se dělí na chromatické, podmíněné rozdílným indexem lomu pro elektromagnetické záření různých vlnových délek, a monochromatické. Monochromatické aberace lze dále rozlišit na aberace nižšího a vyššího řádu. Aberace nižšího řádu (prvního a druhého) zahrnují sférické a cylindrické refrakční vady a lze je dobře korigovat brýlemi či kontaktními čočkami. Naproti tomu aberace vyššího řádu (třetího a vyššího) běžnými optickými pomůckami korigovat nelze. Jejich majoritním zdrojem jsou dvě nejvýznamnější refrakční prostředí oka – rohovka a čočka. Vlivem lokálních změn tvaru a indexu lomu v různých místech rohovky a čočky pak dochází k aberaci světelných paprsků. Přítomnost aberací vyššího řádu může silně ovlivnit kvalitu vidění, a to i při velmi dobré zrakové ostrosti. Mezi negativní projevy způsobené aberacemi vyššího řádu patří snížená kontrastní citlivost, glare, halo (kruhy) kolem světel, ghosts („duchy“ okolo předmětů) nebo monokulární diplopie až polyplopie.

Aberace vyššího řádu se projevují zejména při široké zornici, proto ovlivňují kvalitu vidění nejvíce za zhoršených světelných podmínek. Zvyšují se s věkem, po rohovkových refrakčních zákrocích a po nitroočních operacích, vzrůstají se zakalováním oční čočky a při patologických procesech na rohovce, například při ektatických onemocněních, nebo při změnách slzného filmu.

Jednotlivé typy monochromatických optických aberací mohou být popsány matematicky pomocí tzv. Zernikeho polynomů Z^f_n nebo Z(n,f), které jsou funkcí dvou proměnných – radiálního řádu n a kruhové frekvence f. Řád polynomu určuje charakter křivky vzniklé radiálním řezem plochy daného typu aberace, a frekvence je dána počtem oscilací pro jeden cirkulární průchod světelných paprsků.

Teoreticky lze definovat aberace libovolného vyššího řádu, klinický význam však mají aberace zhruba do čtvrtého řádu. Hodnoty aberací pátého až šestého, maximálně desátého řádu, bývají uváděny ve studiích souhrnně, bez jejich konkrétního rozlišení. Nejvýznamnější aberací vyššího řádu je sférická aberace Z (4,0).

Aberace vyššího řádu lze souhrnně vyjádřit jako tzv. střední kvadratický průměr (root mean square, RMS). Je vyjádřen jako odmocnina z variace odchylky tvaru vlnoplochy. Jeho hodnota však nemusí spolehlivě vypovídat o kvalitě vidění, protože i při vysoké hodnotě RMS se může vliv jednotlivých aberací vzájemně kompenzovat, popřípadě jejich kombinace může kvalitu vidění i zvýšit [2, 4].

Metoda měření aberací vyššího řádu se nazývá aberometrie neboli wavefront analýza a slouží k ní různé typy aberometrů.

Význam zkoumání aberací vyššího řádu spočívá v tom, že v dnešní době je lze korigovat pomocí wavefront-guided laserové ablace nebo volbou typu umělé nitrooční čočky při chirurgii katarakty či nitroočním refrakčním zákroku.

Cílem práce je zmapovat výskyt aberací vyššího řádu u zdravé populace starší 40 let a posoudit jejich vztah k věku, zrakové ostrosti a refrakční vadě.

proLékaře.cz | 3.11.2026

METODIKA

Do souboru bylo zařazeno 96 očí 20 mužů a 34 žen – zaměstnanců a náhodně vybraných pacientů naší kliniky. Tyto osoby byly ve věku 40 – 69 let (průměr 53,5 roku), s čirou oční čočkou a nebyla u nich diagnostikována žádná oční patologie ani závažné celkové choroby.

Pacienti byli nejprve vyšetřeni na projekčních optotypech Zeiss SZP 350, a za pomoci korekčních skel byla u každého oka stanovena nejlépe korigovaná zraková ostrost (NKZO). Poté byla do vyšetřovaného oka aplikována mydriatika (0,5% tropikamid, 10% fenylefrin), a po dosažení šíře zornice minimálně 5x5 mm bylo přistoupeno k wavefront analýze. Použit byl aberometr WASCA firmy Zeiss, což je aberometr Shack-Hartmannova typu. Diodový laser tohoto aberometru emituje svazek paralelních světelných paprsků, který je fokusován na sítnici, kde vytváří světelný bod. Tyto paprsky emitované diodou tvoří dokonalou rovinnou (v případě akomodace sférickou) vlnoplochu. Po odrazu od sítnice je vystupující vlnoplocha deformována ve vnitřní části oka, nevystupuje z něj tedy již jako ideální rovinná či sférická plocha, nýbrž je určitým způsobem aberována. To znamená, že vlivem drobných lokálních změn refrakce v jednotlivých optických médiích dojde někde ke zpoždění, jinde k urychlení procházejících paprsků. Vlnoplocha po výstupu z oka prochází maticí mikročoček a je zachycena CCD kamerou. CCD obraz je přenášen na počítač, který data zaznamená, uloží a vyhodnotí. Po každém měření se na monitoru zobrazí barevná mapa aberované vlnoplochy a tabulka udávající následující parametry [1]:

Aberace druhého řádu (sféra a cylindr v dioptriích, osa cylindru v úhlovém stupni).

Šířka zornice v milimetrech.

Průměr analyzované vlnoplochy v milimetrech (nastaveno na 5 mm).

RMS OPD – střední kvadratická hodnota optického dráhového rozdílu vypočtená z Zernikeho koeficientů 3.–4. řádu.

Aberace 3. až 4. řádu v mikrometrech.

Hodnota jednotlivých aberací může mít buď kladné nebo záporné znaménko, přičemž kladná hodnota znamená urychlení paprsků a dochází zde k elevaci vlnoplochy, což je v topografické mapě znázorněno teplými barvami. Záporná hodnota vyjadřuje naopak zpoždění – depresi vlnoplochy a je vykreslena studenými barevnými odstíny.

Ve studii byly hodnoceny jednotlivé aberace 3. a 4. řádu a RMS aberací 3. a 4. řádu optického systému oka. Hodnoty byly počítány pro zornici širokou 5 mm, což je obvyklá fyziologická šířka zornice za mezopických až skotopických podmínek u osob zkoumané věkové skupiny. Navíc u většiny pacientů nebylo možno dosáhnout větší mydriázy. Konečná hodnota každé aberace byla stanovena jako průměr ze tří provedených měření. Dále byla sledována hodnota NKZO a subjektivní refrakce. U všech těchto parametrů byla testována jejich korelace s věkem. Kromě toho jsme sledovali, zda aberace vyššího řádu souvisí s výší refrakční vady. Statistické hodnocení bylo vypracováno za pomoci aplikace Statistica 6.0 a byly použity metody popisné statistiky (průměr, medián, směrodatná odchylka), Spearmanův korelační koeficient a testy normality (Liliefors, Shapiro-Wilks, Kolmogorov-Smirnov).

VÝSLEDKY

Hodnoty sledovaných parametrů pro celý soubor ukazuje tabulka 1.

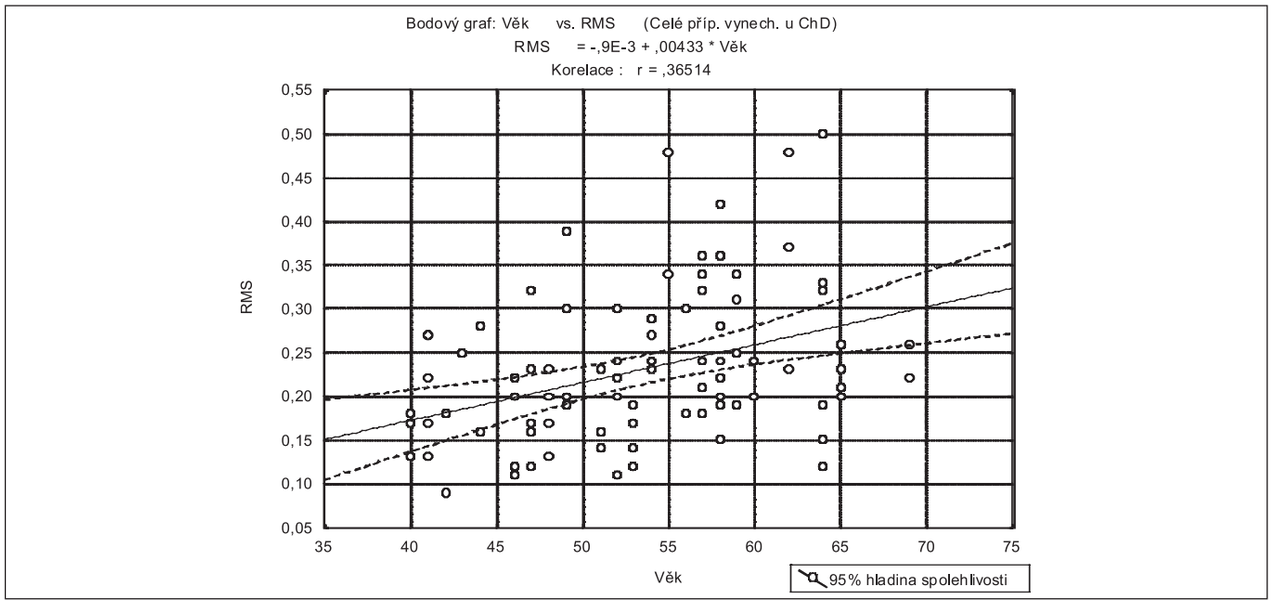
Obecně platí, že klinicky významná hodnota aberací vyššího řádu, při které se v případě refrakčního zákroku doporučuje přistoupit k wavefront guided laserové ablaci, činí pro RMS aberací 3. a 4. řádu 0,30 mm a pro jednotlivé Zernikeho koeficienty 3. a 4. řádu 0,50 mm. Tyto údaje se ovšem vztahují k zornici široké 5,5 mm, což při přepočtu na pětimilimetrovou zornici, pro kterou jsou platné naše údaje, představuje hodnotu zhruba 0,25, respektive 0,33 mm. Pro zajímavost zde ještě uvádíme, že 6 očí v souboru mělo sférickou aberaci Z(4,0) negativní. Nejmladší z těchto šesti pacientů měl 42 let, nejstarší 51.

Tab. 1. Aberace 3. a 4. řádu pro 5 mm širokou zornici, NKZO a sférický ekvivalent (SE) subjektivní refrakce ve studovaném souboru

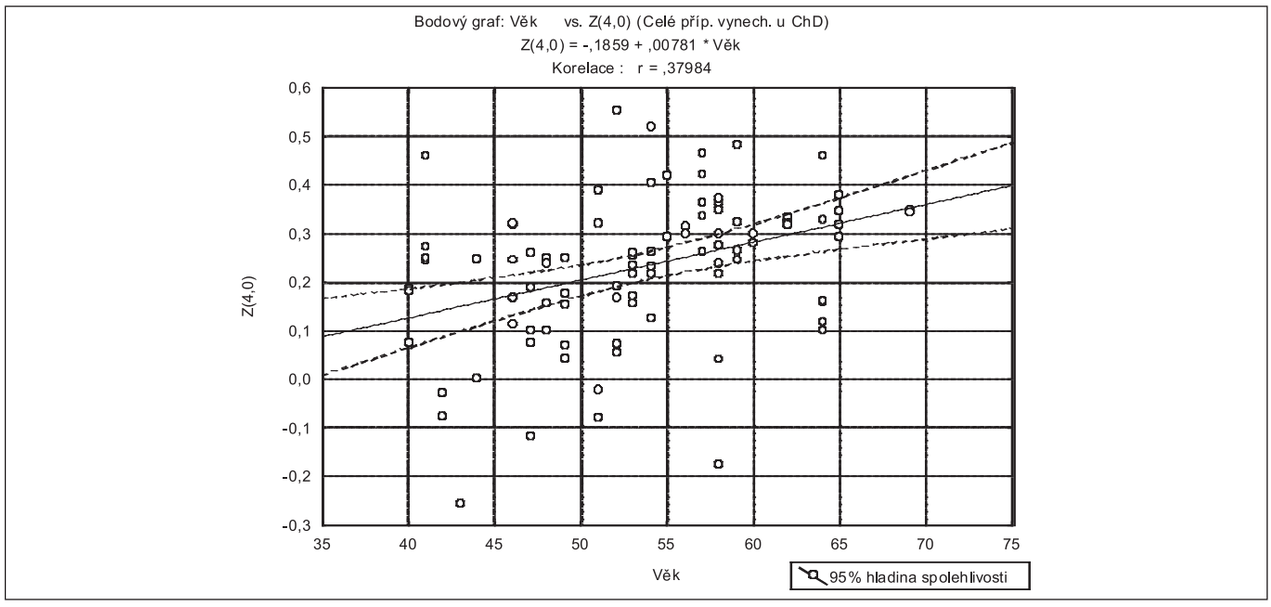
n=96	Medián	Minimum	Maximum
RMS aberací 3.-4. řádu [Ūm]	0,22	0,09	0,50
Z (4,0) [μm]	0,253	-0,256	0,593
Z (4,2) [μm]	0,019	-0,264	0,371
Z (4,-2) [μm]	0,000	-0,246	0,160
Z (4,4) [μm]	0,030	-0,207	0,274
Z (4,-4) [μm]	-0,011	-0,264	0,188
Z (3,1) [μm]	-0,075	-1,112	0,826
Z (3,-1) [μm]	-0,029	-0,873	0,350
Z (3,3) [μm]	0,160	-0,321	1,039
Z (3,-3) [μm]	0,024	-0,654	0,393
NKZO	1,25	1,0	1,6
SE [D]	+0,75	-5,5	+5,5

Byla nalezena pozitivní korelace RMS aberací 3.-4. řádu a sférické aberace Z(4,0) s věkem na hladině významnosti $p < 0,05$ (graf 1 a 2). Ostatní sledované aberace, NKZO ani sférický ekvivalent s věkem nekorelují. Navíc byla prokázána negativní korelace mezi NKZO a sekundárním astigmatismem Z(4,2) a mezi NKZO a vertikálním coma Z(3,-1). Dále byla zjištěna pozitivní korelace mezi výší hypermetropie a RMS aberací 3.–4. řádu, výší hypermetropie a Z(4,0) a vyšší hypermetropie a horizontálním coma Z(3,1). Korelace mezi výší myopie a sledovanými aberacemi vyššího řádu nalezena nebyla.

proLékaře.cz | 3.11.2026



Graf 1. Korelace RMS aberací 3.-4. řádu s věkem



Graf 2. Korelace sférické aberace Z (4,0) s věkem

DISKUSE

V dostupné literatuře není k dispozici srovnatelná studie týkající se výhradně osob nad 40 let věku, autoři zabývající se problematikou aberací vyššího řádu u zdravých očí vyšetřovali obvykle soubor mladších pacientů.

V souladu s ostatními studiemi byl zjištěn růst sférické aberace Z(4,0) a RMS aberací vyššího řádu s věkem [3, 5, 10, 13, 17, 20, 22, 23]. Průměrné hodnoty jednotlivých typů aberací nejsou klinicky významné, protože existuje obrovská variabilita v hodnotách téměř všech aberací s výjimkou sférické aberace a středního kvadratického průměru. Výsledky jednotlivých výzkumů se též liší podle toho, zda byly aberace analyzovány pro zornici o šířce 4, 5 nebo 6 mm. V naší studii jsme pro výpočet zvolili průměr zornice 5 mm, což je obvyklá fyziologická šířka zornice za mezopických až skotopických podmínek u osob námi studovaného souboru, ve kterém průměrný věk činil 53,5 roku. Jiné studie na rozdíl od naší prokázaly nárůst i některých dalších aberací s věkem, zejména coma [3, 5, 10, 13, 20, 22, 23]. Především Wangova práce [22] je zajímavá pro velký pokusný soubor 532 očí. McLellan [17] naopak zjistil vysokou variabilitu hodnot coma nekorelující s věkem. Salmon a van de Pol [20] uvádějí též korelaci sekundárního astigmatismu a tetrafoilu s věkem. Celkově se autoři shodují, že nejvýznamnější aberace vyššího řádu jsou sférická aberace, coma a trefoil, což potvrzují i naše výsledky. Někteří dokonce studovali, jak jednotlivé typy aberací ovlivňují vidění. Chalita [8] uvádí, že sférická aberace Z(4,0) se významně podílí na vnímání halo kolem světel, zatímco coma je podle něj asociováno s monokulární diplopií.

Oftalmologie 6-09 14.12.2009 15:37 Str. 226
proLékaře.cz | 3.11.2026

McLellan [17] potvrdil souvislost růstu aberací vyššího řádu se snižující se transparencí čočky.

V naší studii nebylo možné hodnotit aberace rohovky, avšak i ty se mohou zvyšovat s věkem vinou snížené tvorby slz [16] a zhoršené stability slzného filmu [19]. Dle obecně uznávané teorie si normální lidská rohovka si po celý život udržuje konstantní, pozitivní sférickou aberaci, která je v mládí kompenzována negativní sférickou aberací čočky. Vlivem biochemických změn ve stárnoucí čočce se její negativní sférická aberace zmenšuje a dále mění v pozitivní. Pozitivní sférická aberace oka se ve vyšším věku podílí na snížení kontrastní citlivosti, naopak zvyšuje hloubku ostrosti. Nezávislost sférické aberace rohovky na věku potvrdil Amano [3] v souboru 79 pacientů. Naopak prokázal zvyšování hodnoty coma s věkem, přičemž zjistil pozitivní korelaci celkového a rohovkového coma. To ukazuje, že se patrně jedná o aberaci převážně způsobenou rohovkou. Naopak Guirao [11] v souboru 59 pacientů uvádí i nárůst sférické aberace rohovky s věkem, zatímco ve Fujikadově [10] studii nebyly změny rohovkových aberací pozorovány vůbec.

Podobně jako v naší studii prokázal Bisneto [5] pozitivní korelaci mezi výší hypermetropie a sférickou aberací a středním kvadratickým průměrem aberací vyššího řádu. Marcos [15] uvádí, že aberace vyššího řádu rostou s myopií od -7 D, takoví pacienti se však v naší studii nevyskytli. Paquin [18] udává, že vysoká myopie je obvykle spojená s vyšší hodnotou coma, a He [12] zjistil, že u myopů se ve zvýšené míře objevují aberace 4. a vyššího řádu. Naopak Cheng [9] nenašel korelaci mezi refrakční vadou a aberacemi vyššího řádu.

Zelichowska [23] a Calver [7] na velkých souborech pacientů prokázali existenci protektivního efektu často zmiňované „age-related miosis“, když zjistili, že u starších lidí je při dilatované zornici nárůst aberací vyššího řádu markantnější než u lidí mladých.

Velmi zajímavou studii provedl Brunette [6], kdy vyšetřováním pacientů již od 5 let věku zjistil, že během dětství a mladé dospělosti se celková aberace snižuje a teprve od 4. dekády zvyšuje.

Žádná citovaná studie neuvádí souvislost mezi nejlépe korigovanou zrakovou ostrostí a některou z aberací vyššího řádu. Zda námi zjištěná negativní korelace NKZO se sekundárním astigmatismem a vertikálním coma skutečně existuje a má-li klinický význam, by bylo možno nejlépe stanovit například vyšetřením pacientů, kteří podstoupili laserový refrakční zákrok.

ZÁVĚR

Naše práce zmapovala výskyt aberací vyššího řádu optického systému oka u zdravých osob ve věku nad 40 let. Ukázalo se, že celková hodnota aberací 3.-4. řádu a hodnota sférické aberace Z(4,0) se s věkem významně zvyšují, zatímco ostatní aberace se nemění. Kromě toho bylo zjištěno, že sekundární astigmatismus a vertikální coma negativně ovlivňují nejlépe korigovanou zrakovou ostrost, a že RMS aberací 3.–4. řádu, sférická aberace a horizontální coma narůstají s hypermetropií. Cílem dalších studií bude hodnocení změn rohovkových aberací v závislosti na věku.

LITERATURA

1. Carl Zeiss Meditec: WASCA Analyzer. Návod k obsluze v českém jazyce
2. **Agarwal, A., Soosan, J., Agarwal, A.:** „Aberropia“ identifies new refractive error based on higher-order aberrations. Ocular Surgery News Europe/Asia – Pacific Edition, 2007 [Online]: http://www.osnsupersite.com/view.aspx?rid=22966#
3. **Amano, S., Amano, Y., Yamagami, S. et al.:** Age-related changes in corneal and ocular higher-order wavefront aberrations. Am J Ophthalmol, 2004, 137: 988–992
4. **Applegate, R.A., Thibos, L.N., Hilmantel, G.:** Optics of aberroscopy and super vision. J Cataract Refract Surg, 2001, 27: 1093-1107
5. **Bisneto, O.S., Temporini, O.R., Arieta, C.E. et al.:** Relationship between high-order aberrations and age and between high-order aberrations and refraction errors. Arq Bras Oftalmol, 2007, 70: 290–297
6. **Brunette, I., Bueno, J.M., Parent, M. et al.:** Monochromatic aberrations as a function of age, from childhood to advanced age. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2003, 44: 5438–5446
7. **Calver, R.I., Cox, M.J., Elliott, D.B.:** Effect of aging on the monochromatic aberrations of the human eye. J Opt Soc Am, 1999, 16: 2069–2078
8. **Chalita, M.R., Xu, M., Krueger, R.R.:** Correlation of aberrations with visual symptoms using wavefront analysis in eyes after laser in situ keratomileusis. J Refract Surg, 2003, 19: 682–686
9. **Cheng, X., Bradley, A., Hong, X. et al.:** Relationship between refractive error and monochromatic aberrations of the eye. Optom Vis Sci, 2003, 80: 43–49
10. **Fujikado, T., Kuroda, T., Ninomiya, S. et al.:** Age-related changes in ocular and corneal aberrations. Am J Ophthalmol, 2004, 138: 143–146
11. **Guirao, A., Redondo, M., Artal, P.:** Optical aberrations of the human cornea as a function of age. J Opt Soc Am, 2000, 17: 1697–1702
12. **He, J.C., Sun, P., Held, R. et al.:** Wavefront aberrations in eyes of emmetropic and moderately myopic school children and young adults. Vis Res, 2002, 42: 1063–1070
13. **Jahnke, M., Wirbelauer, C., Pham, D.T.:** Influence of age on optical aberrations of the human eye. Ophthalmologe, 2006, 103: 596–604
14. **Lawless, M.A., Hodge, C.:** Wavefront's role in corneal and refractive surgery. Clin Experiment Ophthalmol, 2005, 33: 199–209
15. **Marcos, S., Moreno-Barriuso, E., Llorente, L. et al.:** Do myopic eyes suffer from large amounts of aberrations? In: Proceedings of the VIII International Congress on Myopia, 2008, 8: 118–121
16. **Mathers, W.D., Lane, J.A., Zimmerman, M.B.:** Tear film changes associated with normal aging. Cornea, 1996, 15: 229–234
17. **McLellan, J.S., Marcos, S., Burns, S.A.:** Age-related changes in monochromatic wave aberrations of the human eye. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2001, 42: 1390–1395
18. **Paquin, M.P., Hamam, H., Simonet, P.:** Objective measurements of optical aberrations in myopic eyes. Optom Vis Sci, 2002, 79: 285–291
19. **Patel, S., Farrell, J.C.:** Age-related changes in precorneal tear film stability. Optom Vis Sci, 1989, 66: 175–178
20. **Salmon, T.O., van de Pol, C.:** Normal-eye Zernike coefficients and root-mean-square wavefront errors. J Cataract Refract Surg, 2006, 32: 2064–2074
21. **Schwiegerling, J.:** Theoretical limits to visual performance. Surv Ophthalmol, 2000, 45: 139 MUDr. Sabina Čermáková 146
22. **Wang, L., Koch, D.D.:** Ocular higher-order aberrations in individuals screened for refractive surgery. J Cataract Refract Surg, 2003, 29: 1896–1903
23. **Zelichowska, B., Rekas, M., Kryx-Jachym, K. et al.:** Higher order aberrations in physiological optical system – own experience. Klin Oczna, 2007, 109: 121–126

Do redakce doručeno dne 22. 6. 2009
Do tisku přijato dne 26. 10. 2009

MUDr. Sabina Čermáková
Klinika nemocí očních a optometrie
Fakultní nemocnice u svaté Anny v Brně
Pekařská 53
656 91 Brno
sabina.cermakova@fnusa.cz