

Přenosný etalon určený na kalibraci kontaktních a bezkontaktních očních tonometrů

Jan Rybář¹
Miroslav Chytil²
Stanislav Ďuriš³

¹ Slovenská technická univerzita, Strojnícká fakulta; Náměstí svobody 17, 812 31, Bratislava 1, Slovenská republika; jan.rybar@stuba.sk

² Slovenský metrologický ústav; Karloveská 63, 842 55, Bratislava 4, Slovenská republika; chytil@smu.gov.sk

³ Slovenská technická univerzita, Strojnícká fakulta; Náměstí svobody 17, 812 31, Bratislava 1; Slovenská republika; stanislav.duris@stuba.sk

Grant: KEGA 039STU-4/2017.

Název grantu: Zavádění progresivních metod pro zvyšování úrovně vzdělávacího procesu předmětu metrologie teploty.

Oborové zaměření: JB - Senzory, čidla, měření a regulace.

© GRANT Journal, MAGNANIMITAS Assn.

Abstrakt Příspěvek se zabývá realizací a následným využitím měřicí aparatury k měření nitroočního tlaku, a to na kontaktních a bezkontaktních očních tonometrech, pomocí tlakového pístu. Navržená měřicí aparatura poskytuje hodnoty pro metrologické zabezpečení očních tonometrů. Tento inovativní návrh umožňuje provádět rychlé a správné kontroly očních tonometrů. Správná kalibrace těchto přístrojů zabezpečí přesné stanovení nitroočního tlaku a napomůže k diagnostice glaukomových onemocnění u pacientů přichozících k oftalmologovi.

Klíčová slova Glaukom, kalibrace, měřicí aparatura, oční tonometr, přenosný etalon.

1. ÚVOD

Oční tonometry slouží k diagnostice nitroočního tlaku. Této správné diagnostiky dosáhneme realizací přenosného etalonu (modelu oka) určeného na kalibraci očních tonometrů. Navržená měřicí aparatura poskytuje hodnoty pro metrologické zabezpečení očních tonometrů. Nitrooční tlak je důležitým parametrem, který dokáže signalizovat začínající, ale i pokročilé glaukomové onemocnění. Glaukom je jedna z hlavních příčin oslepnutí ve světě. Když je nitrooční tlak vyšší, než je obvyklé, je nejdůležitějším a zároveň jediným léčitelným faktorem pro předcházení této nemoci.

2. NITROOČNÍ TLAK

V oku je tzv. nitrooční tlak, který je důležitým parametrem pro určování patologických jevů (glaukomových onemocnění). Hodnota nitroočního tlaku udává poměr mezi rychlostí tvorby a odtokem nitrooční tekutiny. Normální nitrooční tlak je tehdy, když v posuzovaném stavu nedojde k poškození zrakového nervu za konstantního udržení prostředí uvnitř oka. V případě, že dynamika nitrooční tekutiny v oku neudrží stabilní objem, a tedy nitrooční tlak není stabilní, dochází ke stavu špatné propustnosti odtokových cest a k hromadění nitrooční tekutiny, což má za následek zvyšování nitroočního tlaku. [4, 8]

Standardně se hodnoty nitroočního tlaku u dospělého jedince pohybují v rozmezí 11 – 21 mm Hg. Hodnoty nad 21 mm Hg se považují za suspektní. Rizikem tohoto onemocnění je především to, že pacient dlouhou dobu nepocítuje žádné změny ve vidění. V oční ordinaci tedy oftalmolog odhalí během prohlídky pacienta často již závažné glaukomové změny. [4, 5, 9]

2.1 Nitrooční tlak jako rizikový faktor; měření nitroočního tlaku

Glaukomovými onemocněními charakterizujeme chronickou, progresivní, ireverzibilní neuropatii zrakového nervu, většinou v souvislosti s rostoucím nitroočním tlakem. Historie glaukomu pochází z roku 400 před našim letopočtem, kdy Hippokrat – nejznámější lékař starověku, nazývaný též „otec medicíny“ a zakladatel racionálního lékařství, popsal nazelenalou barvu pupily po glaukomovém záchvatu jako tzv. „glaukosis“. [5]

Hodnoty nitroočního tlaku, resp. glaukom nelze vyléčit. Vznik glaukomu je ireverzibilní a cílem pro léčbu tohoto onemocnění je snižování nitroočního tlaku, aby se zabránilo progresi neuropatie zrakového nervu. Léčba je konzervativní, chirurgická nebo laserová. Základní léčbou pro snížení hodnot nitroočního tlaku je aplikace očních kapek. [5]

K tomu, abychom mohli definovat správně nitrooční tlak, používáme oční tonometry, které jsou kontaktní nebo bezkontaktní. Přístrojů pro měření je dnes na trhu celá řada. V praxi se nejčastěji používají přístroje bezkontaktní, kdy speciální vzduchový tonometr proti oku vypustí (foukne) proud vzduchu. Ten svým tlakem oplošťuje rohovku a dle naměřených parametrů přístroj určí nitrooční tlak. Vyšetření není pro pacienta nijak náročné, je velmi rychlé, bez kontaktu s okem a je bezbolestné. Nás ovšem zajímá, zda tyto přístroje z hlediska metrologického zabezpečení měří správně. [5, 10]

Víme, že na hodnoty nitroočního tlaku má vliv několik faktorů, jako například: věk a pohlaví jedince, zátěž, etnický původ, refrakční vady, oběhové poruchy, motorika očí a očních víček, onemocnění, centrální tloušťka rohovky a jiné. Glaukom samotný je často asociován se zvýšeným nitroočním tlakem. Pro léčbu se uplatňují

farmaka, která nitrooční tlak dokáží snížit, lze využít i laserové ošetření nebo chirurgické drenážní operace. Než však tyto farmaka lékař naordinuje, musí mít přesně naměřené hodnoty nitroočního tlaku a k přesným hodnotám je nutné mít přístroj, který měří správně. [4, 5, 9]

3. OČNÍ TONOMETRY

Nejjednodušší způsob, jak si orientačně vyšetřit nitrooční tlak, je palpáce přes oční víčko, kdy srovnáváme střídavě tlak vyvíjený na prsty a porovnáváme jeho rozdíl mezi pravým a levým okem. V našem případě se nitrooční tlak měří tonometry. Nepřímo je odvozen z výše tlaku potřebného k deformaci centrální plochy rohovky, deformace se dosáhne oploštěním nebo impresí. Skutečný nitrooční tlak uvnitř oka nejsme schopni změřit neinvazivní metodou. [4, 9]

Tonometry dělíme na kontaktní a bezkontaktní, tedy dotýkající se oka a nedotýkající se oka, resp. oční rohovky. Metody kontaktní jsou aplanační, impresní a jiné. Metody bezkontaktní (bezkontaktní oční tonometry) využívají k měření rychlý proud vzduchu, jedná se o tzv. pneumotonometry. Měří se zde čas od vypuštění proudu vzduchu až do doby dosažení aplanače rohovky, jedná se o nepřímý způsob měření nitroočního tlaku. [1, 4]

Samotné měření nitroočního tlaku prochází neustálým vývojem, cílem je stanovení výše nitroočního tlaku v závislosti na mnoha okolnostech. Jedna vyšší naměřená hodnota nitroočního tlaku ovšem ještě neznamená glaukomové onemocnění, jedná se pouze o rizikový faktor, který je nutné vždy zohlednit a monitorovat i v budoucnu, při dalších vyšetřeních pacienta. Výši nitroočního tlaku lékař vždy hodnotí v korelaci s ostatními nálezy, resp. celkovým stavem pacienta. [1, 4]

4. KONSTRUKCE PŘENOSNÉHO ETALONU

Přenosný etalon určený na kalibraci očních tonometrů se skládá z:

- kufříku s tlakovým písmem, včetně sady závaží (nastavení velikosti tlaku) a dalšího příslušenství,
- propojovací hadičky,
- stojánku ve tvaru písmene „T“ s dvěma šrouby pro přesné uchycení modelu oka,
- výškově nastavitelného modelu oka s vyměnitelným materiálem pro simulaci oční rohovky, včetně doplňujícího příslušenství.



Obrázek 1: Přenosný etalon určený na kalibraci očních tonometrů. [7]

Pro samotné měření platí podmínky určené danou laboratoří, v praxi oftalmologickou ambulancí. Konstrukce měřicí aparatury je přenosná a neklade prakticky žádné požadavky pro realizaci daného měření. Pomocí závaží jsme schopni realizovat potřebný tlak v modelu oka, který porovnáváme s naměřenou hodnotou na očním

tonometru. Měření je možné realizovat na kontaktním, tak i na bezkontaktním očním tonometru. Výhodou našeho modelového oka je, že oproti lidskému oku máme „ideální“ zakřivení rohovky, stejnou tloušťku rohovky (podle použitého materiálu) a stejné „biomechanické“ vlastnosti rohovky.



Obrázek 2: Přenosný etalon určený na kalibraci očních tonometrů – měření na kontaktním (aplačním) tonometru. [7]



Obrázek 3: Přenosný etalon určený na kalibraci očních tonometrů – měření na bezkontaktním tonometru NIDEK. [7]

5. MĚŘENÍ

Pro samotné naměření hodnot na očních tonometrech pracujeme s jednotkami $1 \text{ torr} = 1 \text{ mm Hg} \approx 133,322 \text{ Pa}$. Jeden torr je tlak, který odpovídá hydrostatickému tlaku vyvolanému jedním milimetrem rtuťového sloupce. Oční tonometry tedy udávají hodnoty v milimetrech rtuťového sloupce (mm Hg). Pro přepočítání tlaku v naší měřicí aparatuře, která nám indikuje tlak v modelu oka, pracujeme s jednotkou Pascal (Pa) a s jejími násobky (kPa). Kontrolu správnosti měřicího zařízení (očního tonometru) tedy přepočítáváme. Hodnoty získané pomocí měřicí aparatury dále slouží k vyhodnocení měření, včetně stanovení nejistot měření. Finálním výstupem je kalibrační protokol (protokol o kalibraci očního tonometru), k jehož zpracování potřebujeme hodnoty kontrolovaného očního tonometru ověřit pomocí vytvořeného přenosného kalibračního etalonu. V následujících tabulkách

(Tabulka 1, Tabulka 2) uvádíme první výsledky z měření (prvotní hodnoty) pro srovnání nastaveného s naměřeným. [2, 3]

Na přenosném etalonu jsme nastavili (uložili) závaží o hodnotě 3 kPa, což po přepočtu na milimetry rtuťového sloupce odpovídá přibližně 22,5 mm Hg. Následně jsme na modelu oka realizovali 10 měření, jak na kontaktním tonometru, tak i na bezkontaktním tonometru. Zpracování naměřených hodnot do grafu prezentuje Graf 1 a 2.

Přepočet mezi přenosným etalonem na kalibraci očních tonometrů a hodnotou, kterou vykazují přístroje na měření nitroočního tlaku, tedy námi posuzované tonometry (v milimetrech rtuťového sloupce) je následující: $3 \text{ kPa} = 3000 \text{ Pa}$, $3000 \text{ Pa}/133,322 \text{ Pa} = 22,502$. Při zatížení na přenosném etalonu 3 kPa očekáváme tedy hodnotu 22,502 mm Hg. Obdobně přepočítáváme při nižším nebo vyšším zatížení.

Tabulka 1: Naměření prvotních hodnot – komparace přenosného

Nastavená hodnota na přenosném etalonu	Naměřená hodnota (aplanačním – kontaktním tonometrem)	Průměrná hodnota nitroočního tlaku z naměřených hodnot
3 kPa ≈ 22,5 mm Hg	23,3 mm Hg	23,4 mm Hg
	23,6 mm Hg	
	23,6 mm Hg	
	23,6 mm Hg	
	23,7 mm Hg	
	23,7 mm Hg	
	24 mm Hg	
	22,5 mm Hg	
	23,2 mm Hg	
	22,8 mm Hg	

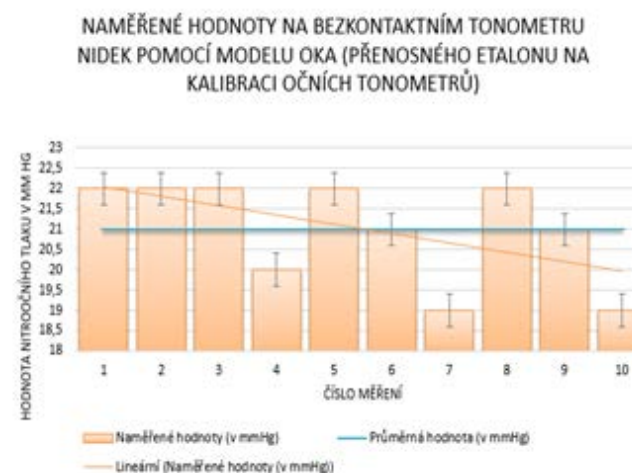
etalonu určeného na kalibraci očních tonometrů s aplanačním tonometrem. [2, 6]

Tabulka 2: Naměření prvotních hodnot – komparace přenosného etalonu určeného na kalibraci očních tonometrů s bezkontaktním

Nastavená hodnota na přenosném etalonu	Naměřená hodnota (bezkontaktním tonometrem NIDEK)	Průměrná hodnota nitroočního tlaku z naměřených hodnot
3 kPa ≈ 22,5 mm Hg	22 mm Hg	21 mm Hg
	22 mm Hg	
	22 mm Hg	
	20 mm Hg	
	22 mm Hg	
	21 mm Hg	
	19 mm Hg	
	22 mm Hg	
	21 mm Hg	
	19 mm Hg	

tonometrem NIDEK. [2, 6]

Graf 1 a 2: Zpracování hodnot do grafu (z Tabulky 1 a z Tabulky 2)



Do kalibračního protokolu přístroje se uvádí statisticky zpracovaná hodnota – standardní nejistota určená metodou typu A, která je výsledkem provedených měření, včetně zdrojů standardních nejistot určených metodou typu B (vliv teploty, vlhkosti, neúplná stabilita tlaku, nevhodně zvolený postup při měření, vliv zaokrouhlování, chyba přístroje, subjektivní vliv obsluhy, nedodržení shodných podmínek při opakovaných měřeních, chyba manipulace, atd.), z nejistot určených metodou typu A a B se určí kombinovaná standardní nejistota. K samotnému výsledku potom přiřazujeme celkovou nejistotu s určeným pravděpodobnostním pokrytím skutečné hodnoty. [2]

6. ZÁVĚR

Cílem tohoto příspěvku bylo představit přenosný etalon určený na kalibraci očních tonometrů. V příspěvku byla představena jeho realizace – využití na kontaktním a bezkontaktním tonometru. Inovativní návrh měřicí aparatury poskytuje hodnoty pro metrologické zabezpečení očních tonometrů přímo na místě, kde se tonometr nachází. Následně lze z těchto hodnot dané měření vyhodnotit a určit měřicí správnost přístroje, včetně jeho nejistot

měření, které tvoří součást kalibračního protokolu. Správná kalibrace pomocí přenosného etalonu nám u těchto tonometrů zabezpečí přesné stanovení nitroočního tlaku a napomůže k diagnostice případných glaukomových onemocnění, což je i jeden z dílčích cílů programu „Horizont H2020“ – napomoci rychle a efektivně řešit problémy současnosti, zabezpečit dlouhodobý udržitelný růst a zajistit konkurenceschopnost Evropy.

Poděkování

Autoři příspěvku děkují Slovenské technické univerzitě, Strojnické fakultě, Ústavu automatizace, měření a aplikované informatiky a grantovým agenturám APVV projekty číslo APVV 15-0295, APVV 15-0164, VEGA projekty číslo 1/0604/15, 1/0748/15, KEGA projekty číslo 014STU-4/2015, 039STU-4/2017 (Zavádění progresivních metod pro zvyšování úrovně vzdělávacího procesu předmětu metrologie teploty.) za jejich podporu při psaní tohoto příspěvku. Dále děkujeme Slovenskému metrologickému ústavu v Bratislavě a Univerzitě Palackého v Olomouci, Přírodovědecké fakultě, Katedře optiky za umožnění provést řadu zkušebních měření nitroočního tlaku pomocí realizovaného přenosného etalonu určeného na kalibraci očních tonometrů.

Zdroje

1. HORNOVÁ, J. a BAXANT, A. Současné možnosti měření nitroočního tlaku. *Česká a slovenská oftalmologie* [online]., 175-180 [cit. 2017-11-16]. Dostupné z: http://www.prolekare.cz/ceska-slovenska-oftalmologie-clanek/soucasne-moznosti-mereni-nitroocniho-tlaku-47139?confirm_rules=1
2. CHUDÝ, V.; PALENČÁR, R.; KUREKOVÁ, E.; HALAJ, M. *Meranie technických veličín*. 1. vyd. Bratislava: STU v Bratislave, 1999. 688 s. ISBN 80-227-1275-2.
3. Jednotky – tlak (převody jednotek). [online]. © 2002-2017 jednotky.cz. [cit. 2017-09-19]. Dostupné z: <https://www.jednotky.cz/tlak/torr/>
4. KUČHYNKA, Pavel a kol. *Oční lékařství*. 2., přepracované a doplněné vydání. Praha: Grada Publishing, 2016. xx, 903 stran. ISBN 978-80-247-5079-8.
5. MAŠEK, Petr; CHOLEVÍK, Dalibor a NĚMČANSKÝ, Jan. *Oftalmologie a diagnostické metody a přístroje v oftalmologii: studijní opora*. Vyd. 1. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2014. 96 s. ISBN 978-80-7464-569-3.
6. Microsoft Excel. [.xlsx]. Tabulkový procesor, 2013.
7. RYBÁŘ, Jan: Fotografie. [obrázek JPEG]. Olomouc: Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta, Katedra optiky, 2017; Bratislava: Slovenská technická univerzita, Strojnická fakulta, Ústav automatizace, měření a aplikované informatiky, 2017.
8. ŘEHŮŘEK, J.; ŠPICAROVÁ, R. a VANČUROVÁ, J. *Fyziologické hodnoty nitroočního tlaku u dětí* [online]., 361-365 [cit. 2017-11-26]. Dostupné z: <http://www.prolekare.cz/ceska-slovenska-oftalmologie-clanek/fyziologicke-hodnoty-nitroocnihotlaku-u-deti-27875>
9. SYNEK, Svatopluk; SKORKOVSKÁ, Šárka. *Fyziologie oka a vidění*. 2., dopl. a přeprac. vyd. Praha: Grada, 2014, 96 s., xi s. obr. příl. ISBN 978-80-247-3992-2.
10. Špičková technika pro Vaše oči. (Tonometr – měření nitroočního tlaku). [online]., Copyright © 2008-2017. NeoVize – Oční klinika. [cit. 2017-12-25]. Dostupné z: <https://www.neovize.cz/spickova-technika-pro-vase-oci/tonometr-mereni-nitroocniho-tlaku/>