zlom Oftal 15.3.2006 11:31 Stránka 110
proLékaře.cz | 13.2.2026

Korelace vstupní rány a výsledného uložení kovového nitroočního tělesa pomocí počítačového modelování

Došková H.[1], Kršek P.[2]

[1]Oftalmologická klinika LF MU a FN, Brno Bohunice,
přednosta prof. MUDr. Eva Vlková, CSc.
[2]Ústav počítačové grafiky a multimedií FIT VUT, Brno,
vedoucí ústavu doc. Dr. Ing. Pavel Zemčík

Souhrn

Cíl: cílem práce bylo podle stanovených parametrů vstupní rány a výsledného uložení kovového nitroočního tělesa stanovit korelační závislost obou veličin.
Materiál a metodika: do retrospektivní studie bylo zařazeno 50 pacientů (50 očí) s otevřeným poraněním oka a přítomným kovovým nitroočním tělesem. Klinicky zjištěná data vstupní rány a výsledného uložení cizího nitroočního tělesa (CNT) byla převedena do trojrozměrně definovaných parametrů pomocí počítačového modelu. Oba parametry byly statisticky zpracovány metodou korelační analýzy se stanovením korelačního koeficientu a koeficientu determinace.
Výsledky: mírou korelace mezi dvěma proměnnými je tzv. koeficient korelace. Koeficient nabývá hodnot od -1 do +1. Čím je jeho hodnota bližší plus nebo minus jedné, tím více jsou veličiny korelované. Koeficient determinace nabývá hodnot od 0 do +1. Čím více se výsledky blíží hodnotě +1, tím lépe model popisuje závislost mezi dvěma veličinami. Výsledky zpracované korelační analýzou prokázaly nejvyšší hodnoty korelačního koeficientu, resp. koeficientu determinace 0,454, resp. 0,6411.
Závěr: z výsledků provedené korelační analýzy vyplývá, že pomocí znalosti souřadnic vstupu nedokážeme predikovat konečné souřadnice tělesa v oku. Tyto dvě proměnné jsou navzájem nekorelované a proto přesná predikce konečné polohy tělesa v oku není možná. Na výsledné umístění kovového CNT po vstupu do oka mají zřejmě vlivy biofyzikální faktory, které nebyly zahrnuty do studie.

Klíčová slova: otevřená poranění oka, kovové nitrooční těleso, korelační analýza, počítačové modelování

Summary
Computer Modeling Correlation between the Entering Wound and the Final Position of the Metallic Intraocular Foreign Body

Aim: The aim of this study was to establish the correlation coefficient between given parameters of the entering wound and final position of the metallic intraocular foreign body. Material and methods: fifty patients (50 eyes) with a penetrating injury of the eye and present metallic intraocular foreign body were included in this study. Clinically found data of the entering wound and final position of the intraocular foreign body (IFB) as well were transformed with a computer model into the three-dimensional parameters. Both

zlom Oftal 15.3.2006 11:31 Stránka 111
proLékaře.cz | 13.2.2026

parameters were statistically evaluated by means of correlation analysis, and correlation coefficient and determination coefficient were calculated.
Results: The extent of correlation between two variables is called correlation coefficient. The coefficient values range between -1 to +1. The closer is the calculated value to ranges (to -1 or to +1) the more are the two variables more correlated. The coefficient of determination values range from 0 to +1. The closer the results are to +1, the better the model describes the dependence between the two variables. The results obtained by means of correlation analysis were for the correlation coefficient 0.454, and for the coefficient of determination 0.6411 respectively.
Results: Results of the correlation analysis show that the knowledge of coordinates of the entering wound has no prediction value for final position of the foreign body in the eye. These two variables are not correlated and so the accurate final position of the foreign body cannot be predicted. The final position of the intraocular metallic foreign body is probably influenced by biophysical factors not included in this study.

Key words: penetrating injury of the eye, metallic intraocular foreign body, correlation analysis, computer modeling

Čes. a slov. Oftal., 62, 2006, No. 2, p. 110–118

ÚVOD

Penetrující poranění oka jsou jednou z častých příčin trvalé ztráty zraku ve všech věkových skupinách. Mezi nejčastější příčiny otevřených poranění oka patří cizí nitrooční tělesa [7, 9, 16, 17]. Mezi hlavní faktory, ovlivňující rozsah poškození cílové tkáně, jsou na jedné straně parametry cizího tělesa a na druhé straně vlastnosti tkání cílového objektu. Jedny z nejdůležitějších parametrů cizího tělesa jsou jeho kinetická energie, tvar, materiál a hustota tělesa [24, 25, 26]. Na druhé straně neméně důležitou roli hrají biomechanické vlastnosti cílové tkáně [2, 6, 21, 22, 23, 28]. V případě otevřených poranění oka, způsobených kovovým nitroočním tělesem, je odhad rozsahu poranění limitován tím, že některé z výše uvedených fyzikálních faktorů nelze retrospektivně stanovit. Zatímco biomechanické vlastnosti stěny bulbu byly několikrát v experimentu definovány, fyzikální faktory letícího kovového tělesa jsou natolik variabilní, že je nelze zobecňovat.

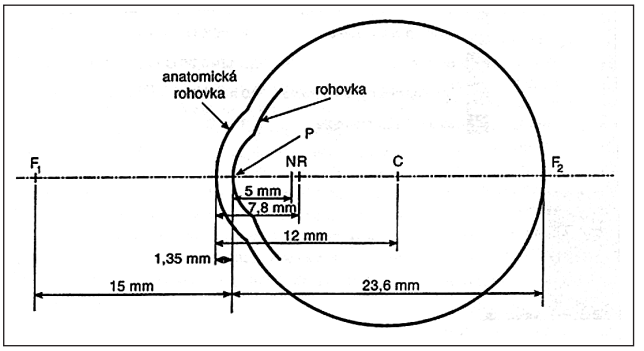
METODIKA A SOUBOR

V období let 2000 až 2003 bylo na Oftalmologické klinice LF MU v Brně Bohunicích chirurgicky ošetřeno 50 očí s diagnózou penetrujícího poranění s kovovým cizím nitroočním tělesem. Místo vstupní rány bylo stanoveno klinicky (rohovka, skléra, oblast korneosklerální), přítomnost cizího nitroočního tělesa byla ověřena RTG vyšetřením a UZV zobrazením, v případě transparentních optických médií i oftalmoskopicky. Místo výsledného uložení kovového tělesa bylo verifikováno RTG lokalizační metodou dle Comberga-Baltina. Všechna tělesa byla extrahována chirur-

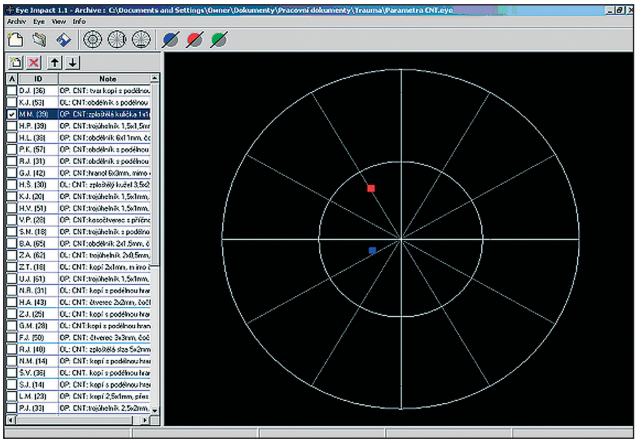
zlom Oftal 15.3.2006 11:31 Stránka 112
proLékaře.cz | 13.2.2026

gicky, operační technikou pars plana vitrektomie, a výsledné uložení tělesa bylo porovnáno s výsledky dosaženými RTG lokalizační Comberg-Baltinovou metodou.

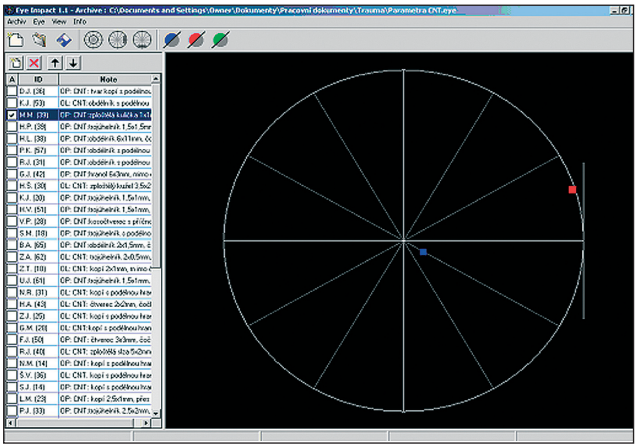
Ke zhodnocení korelace vstupní rány a výsledného uložení CNT a následnému statistickému zpracování bylo nutné klinicky získaná data převést do trojrozměrného systému souřadnic podle osy x, y a z. K tomuto účelu byl vytvořen schematický souřadnicový model oka [13]. Model vychází z redukovaného Gullstrandova oka, axiální délka oka v modelu byla stanovena na 24 mm, a průměr rohovky na 12 mm, viz obr. 1 [41]. Obrázek 2 ukazuje základní část ovládacích prvků modelu. V horní části obrázku jsou definovány možnosti práce se zadaným souborem (archive – soubor, možnost vytvoření nového souboru, otevření zadaného souboru, uložení zadaného souboru a přenosu zadaných parametrů do výstupního tvaru). Dále model umožňuje zobrazení zadaných parametrů ve třech projekcích (řez dle os XY, YZ a XZ). Parametry vstupní rány jsou označeny červeným bodem (pro další statistické zpracování jsou označeny Input) a zadávají se v základní XY projekci. Při zadávání je možno ovládací myší s bodem pohybovat, přičemž automaticky dochází k měření vstupní rány od centra rohovky v milimetrech. Centrální kružnice označuje rozsah rohovky, dále do periferie od centrální kružnice se nachází oblast skléry. Pro umístění výsledného uložení CNT je používán modrý bod (v dalším zpracování označen názvem Bullet). Opět analogicky je možno myší bodem pohybovat, ale v základní projekci XY je tělesu zadán jen úhel uložení,



Obr. 1. Redukovaný model Gullstrandova oka

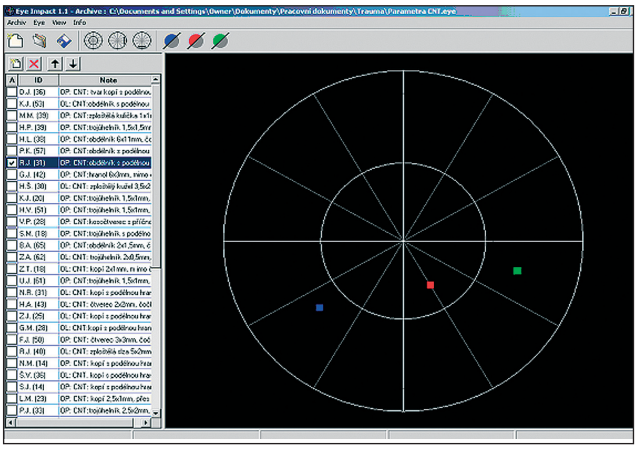


Obr. 2. Základní část ovládacích prvků modelu

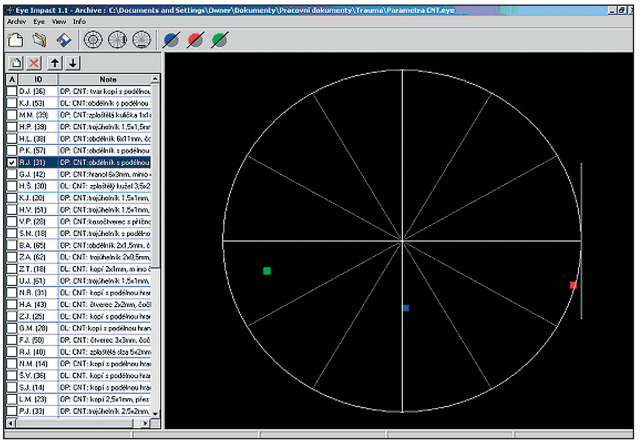


Obr. 3. Projekce YZ

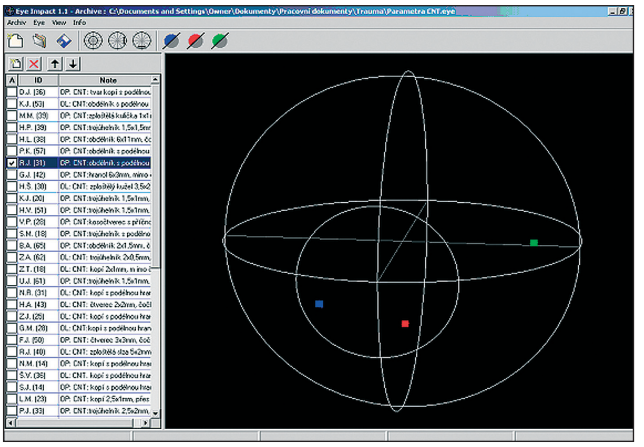
zlom Oftal 15.3.2006 11:31 Stránka 113
proLékaře.cz | 13.2.2026



Obr. 4. Vstupní rána, výsledné uložení CNT a jeho odraz v retině (řez XY)



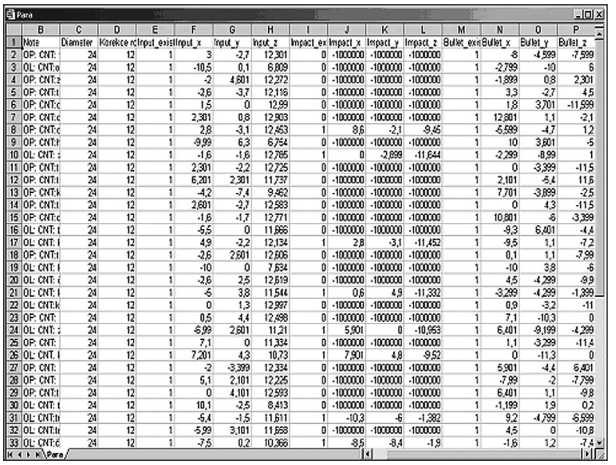
Obr. 5. Vstupní rána, výsledné uložení CNT a jeho odraz v retině (řez YZ)



Obr. 6. Prostorové zobrazení zadaných parametrů

získaný z Combergovy-Baltinovy lokalizace CNT. Jako poslední možnost model umožňuje zohlednit i místo odrazu CNT od retiny. Tento bod je znázorněn zeleně a je označen jako Impact. I v tomto případě základní řez XY slouží pouze k zadání úhlu, ve kterém se odraz v oblasti retiny nacházel. Pro zadání souřadnicových os CNT je nutné dále přejít do projekce YZ, kde je pak pohybem myši nastaveno uložení CNT do předem stanovené vzdálenosti od limbu rohovky (stanoveno opět z Combergovy-Baltinovy lokalizace). Podobně v případě zjištěného odrazu od sítnice je bod Impact automaticky přenesen v této projekci až na sítnici. Projekci YZ znázorňuje obrázek 3. Obrázky 4 a 5 zahrnují místo vstupní rány, výsledného uložení i odrazu od retiny jak v řezu XY, tak v řezu YZ. Ve všech řezech je možno získat prostorový náhled o všech zadaných parametrech stisknutím pravého tlačítka myši, viz obrázek 6. Pravá část základního zobrazovacího panelu modelu je vyhrazena identifikací zadávaných případů, kde v části „Note“ – poznámka, je možno dále pro statistické zpracování uvádět bližší detaily popisovaných případů (oko pravé, levé, tvar a velikost tělesa, dráha přes či mimo čočku). Veškerá zadaná data, týkající se trojrozměrné definice vstupní rány, výsledného uložení i příp. odrazu od sítnice, je možné přenést ke zpracování v programu Excel. Takto získaná data jsou uvedena na obrázku 7.

zlom Oftal 15.3.2006 11:31 Stránka 114
proLékaře.cz | 13.2.2026



	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Note	Diameter	Korekce	nclnput_exist	Input_x	Input_y	Input_z	Impact_ex	Impact_x	Impact_y	Impact_z	Bullet_exi	Bullet_x	Bullet_y	Bullet_z
2	OP: CNT:	24	12	1	3	-2,7	12,301	0	-1000000	-1000000	-1000000	1	-8	-4,599	-7,599
3	OL: CNT:o	24	12	1	-10,5	0,1	6,809	0	-1000000	-1000000	-1000000	1	-2,799	-10	5
4	OP: CNT:z	24	12	1	-2	4,801	12,272	0	-1000000	-1000000	-1000000	1	-1,899	0,8	2,301
5	OP: CNT:t	24	12	1	-2,6	-3,7	12,116	0	-1000000	-1000000	-1000000	1	3,3	-2,7	4,5
6	OP: CNT:c	24	12	1	1,5	0	12,99	0	-1000000	-1000000	-1000000	1	1,8	3,701	-11,599
7	OP: CNT:c	24	12	1	2,301	0,8	12,903	0	-1000000	-1000000	-1000000	1	12,801	1,1	-2,1
8	OP: CNT:c	24	12	1	2,8	-3,1	12,453	1	8,6	-2,1	-9,45	1	-5,589	-4,7	1,2
9	OP: CNT:r	24	12	1	-9,99	6,3	6,754	0	-1000000	-1000000	-1000000	1	10	3,801	-5
10	OL: CNT:	24	12	1	-1,6	-1,6	12,785	1	0	-2,899	-11,644	1	-2,299	-8,99	1
11	OP: CNT:t	24	12	1	2,301	-2,2	12,725	0	-1000000	-1000000	-1000000	1	0	-3,399	-11,5
12	OP: CNT:t	24	12	1	6,201	2,301	11,757	0	-1000000	-1000000	-1000000	1	2,101	-5,4	11,5
13	OP: CNT:k	24	12	1	-4,2	-7,4	9,462	0	-1000000	-1000000	-1000000	1	7,701	-3,899	-2,5
14	OP: CNT:t	24	12	1	2,801	-3,7	12,583	0	-1000000	-1000000	-1000000	1	0	4,3	-11,5
15	OP: CNT:c	24	12	1	-1,6	-1,7	12,771	0	-1000000	-1000000	-1000000	1	10,801	-6	-3,399
16	OL: CNT:	24	12	1	-5,5	0	11,666	0	-1000000	-1000000	-1000000	1	-9,3	6,401	-4,4
17	OL: CNT:	24	12	1	4,9	-2,2	12,134	1	2,8	-3,1	-11,452	1	-9,5	1,1	-7,2
18	OP: CNT:t	24	12	1	-2,6	2,601	12,606	0	-1000000	-1000000	-1000000	1	0,1	1,1	-7,99
19	OL: CNT:	24	12	1	-10	0	7,634	0	-1000000	-1000000	-1000000	1	-10	3,8	-6
20	OL: CNT:	24	12	1	-2,6	2,5	12,619	0	-1000000	-1000000	-1000000	1	4,5	-4,299	-9,9
21	OL: CNT:	24	12	1	-5	3,8	11,544	1	0,6	4,9	-11,332	1	-3,299	-4,299	-1,399
22	OL: CNT:k	24	12	1	0	1,3	12,997	0	-1000000	-1000000	-1000000	1	0,9	-3,2	-11
23	OP: CNT:	24	12	1	0,5	4,4	12,498	0	-1000000	-1000000	-1000000	1	7,1	-10,3	0
24	OL: CNT:	24	12	1	-5,99	2,601	11,21	1	5,901	0	-10,953	1	6,401	-9,199	-4,299
25	OP: CNT:	24	12	1	7,1	0	11,334	0	-1000000	-1000000	-1000000	1	1,1	-3,299	-11,4
26	OL: CNT:	24	12	1	7,201	4,3	10,73	1	7,901	4,8	-9,52	1	0	-11,3	0
27	OP: CNT:	24	12	1	-2	-3,399	12,334	0	-1000000	-1000000	-1000000	1	5,901	-4,4	6,401
28	OP: CNT:	24	12	1	5,1	2,101	12,225	0	-1000000	-1000000	-1000000	1	-7,99	-2	-7,799
29	OP: CNT:t	24	12	1	0	4,101	12,593	0	-1000000	-1000000	-1000000	1	6,401	1,1	-9,8
30	OL: CNT:	24	12	1	10,1	-2,5	8,413	0	-1000000	-1000000	-1000000	1	-1,199	1,9	0,2
31	OL: CNT:n	24	12	1	-5,4	-1,5	11,611	1	-10,3	-6	-1,382	1	9,2	-4,799	-5,599
32	OL: CNT:n	24	12	1	-5,99	3,101	11,958	0	-1000000	-1000000	-1000000	1	4,5	0	-10,8
33	OL: CNT:c	24	12	1	-7,5	0,2	10,366	1	-8,5	-8,4	-1,8	1	-1,8	1,2	-7,4

Obr. 7. Zobrazení zadaných dat v programu Excel

Tab. 1. Statistické zpracování 50 očí

	Levé oko			Pravé oko		
N=50	Přes čočku	Mimo čočku	Součet	Přes čočku	Mimo čočku	Součet
Impact=0	8	5	13	16	6	22
Impact=1	6	4	10	4	1	5
Součet v sloupci	14	9	23	20	7	27

Tab. 2. Korelační matice pro levé a pravé oko

Levé oko:

	Bullet x	Bullet y	Bullet z
Input x	0,205	0,022	0,183
Input y	–0,158	0,181	–0,396
Input z	0,454	–0,063	–0,257

Pravé oko:

	Bullet x	Bullet y	Bullet z
Input x	–0,384	–0,323	0,020
Input y	–0,011	0,222	–0,115
Input z	–0,237	–0,183	–0,020

Tab. 3. Stanovení koeficientu determinace

Závisle proměnná	Koeficient determinace (levé oko)	Koeficient determinace (pravé oko)
Bullet x	0,5474	0,213
Bullet y	0,6411	0,154
Bullet z	0,3455	0,141

STATISTICKÉ METODY A VÝSLEDY

Trojrozměrně definované parametry vstupní rány, výsledného uložení CNT, popř. odrazu od sítnice, byly zpracovány statisticky metodou korelační analýzy. Korelace je závislost hodnot jedné proměnné na hodnotách jiné proměnné, vyšetřené na stejných prvcích studovaného souboru. Mírou korelace mezi proměnnými je tzv. koeficient korelace. Koeficient nabývá hodnot od –1 do +1. Čím je jeho hodnota bližší plus nebo minus jedné, tím více jsou veličiny korelované. Dále byly vytvořeny lineární regresní modely, kdy souřadnice Bullet x, Bullet y a Bullet z byly vyjádřeny jako lineární funkce Input x, Input y a Input z. V těchto případech byl stanoven koeficient determinace. Ten nabývá hodnot od 0 do +1. Čím více se výsledky blíží hodnotě +1, tím lépe model popisuje závislost mezi dvěma veličinami. Do statistického zpracování bylo zahrnuto všech 50 očí s otevřeným poraněním oka a přítomným nitroočním kovovým tělesem. Popisnou statistiku uvádí tabulka 1. V první části analýzy byly analyzované pravé a levé oči odděleně a do studie byly zahrnuty pouze ty případy u nichž nedošlo k odrazu od sítnice (Impact = 0). Počet zkoumaných levých očí byl celkem 13, počet pravých oči celkem 22. Nejdříve byla zpracována vzájemná korelace vstupních a konečných souřadnic (v kartézském systému souřadnic). Korelační matici pro každé oko zvlášť uvádí tabulka 2. Z uvedených výsledků korelačních koeficientů vstupní rány (Input x, y, z) a vý-

zlom Oftal 15.3.2006 11:31 Stránka 115
proLékaře.cz | 13.2.2026

sledného uložení CNT (Bullet x, y, z) je patrno, že tyto dvě veličiny nejsou spolu korelované. Při stanovení koeficientu determinace, který nabývá hodnot od 0 do +1 (čím blíže hodnoty +1, tím lépe popisuje model závislost mezi dvěma veličinami), byly dosaženy po zpracování výsledky, které jsou shrnuty do tabulky 3. Použitá rovnice modelu pro Bullet x (a podobně pro Bullet y a Bullet z) byla:

Bullet x = a0 + a1*Input x + a2*Input y+a3*Input z +a4*Input x*Input y + a5*Input z*Input y + a6*Input z*Input x + epsilon. Odhady koeficientů a0.....a6 u všech modelů jsou součástí detailního statistického zpracování, a proto nejsou zde uváděny.

Z výše uvedených výsledků zpracovaného koeficientu determinace vyplývá, že jak pravé, tak levé oko mají koeficienty determinace nízké.

Další součástí analýzy bylo modelovat obě oči dohromady (celkový počet očí n = 50), včetně těch, u nichž došlo k odrazu (Impac = 1). V úvahu byl zahrnut vliv, zda CNT prošlo čočkou (proměnná = čočka) a dále o které oko se jedná (proměnná = levé oko). Do modelu byly zahrnuty všechny dvojné interakce. Obdržené koeficienty determinace pro tyto případy byly: Bullet x: 0,4; Bullet y: 0,23; Bullet z: 0,15. I zde jsou koeficienty determinace příliš nízké. Přesto však byl tímto ověřen předpoklad, že nelze analyzovat dohromady případy, u nichž došlo k odrazu a ty, u kterých odraz nebyl.

Na závěr byly analyzovány jen ty případy, kde nedošlo k odrazu (Impact = 0). Počet očí byl n = 35. Modely se všemi dvojnými interakcemi měly koeficienty determinace v těchto případech již podstatně vyšší: 0,59, 0,42 a 0,49.

ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ STATISTICKÉ ANALÝZY

Z obdržených výsledků analýzy vyplývá, že pomocí znalosti souřadnic vstupu nedokážeme predikovat konečné souřadnice tělesa v oku. Tyto dvě proměnné jsou navzájem nekorelované. Souřadnice CNT lze popsat modely, které mají koeficient determinace nejvýše kolem 0,5 a proto přesná predikce konečné polohy tělesa v oku není možná. Na výsledné umístění kovového CNT po vstupu do oka mají zřejmě vlivy biofyzikální faktory, které nebyly zahrnuty do studie.

DISKUSE

Otevřená poranění oka, způsobená kovovým nitroočním tělesem, patří mezi časté příčiny trvalé ztráty zraku ve všech věkových skupinách [18, 40, 47]. K poranění dochází nejen v zaměstnání, ale i při domácích činnostech, sportu, a v neposlední řadě i v rámci válečných polytraumat [39]. Studium účinku kovového nitroočního tělesa na cílový objekt tvoří složitý komplex, zahrnující několik navzájem působících biofyzikálních faktorů (fyzikální parametry tělesa a vlastnosti tkání cílového objektu). Jedny z nejdůležitějších parametrů cizího tělesa jsou jeho kinetická energie, tvar, materiál a hustota tělesa [11, 44], a v neposlední řadě i balistické vlastnosti dráhy letu. Neméně důležitou roli hrají biomechanické vlastnosti cílové tkáně [2, 3, 21, 22, 23, 46, 49, 50]. Hjortdal [22] v roce 1996 publikoval výsledky týkající se elasticity rohovkové tkáně. V experimentu in vitro vystavil celkem 18 intaktních lidských rohovek rozdílným hodnotám (2–100 mm Hg) meridiánově i obvodově tangen-

zlom Oftal 15.3.2006 11:31 Stránka 116
proLékaře.cz | 13.2.2026

ciálního působení mechanického tlaku. Hodnotil vliv tlaku na oblast v centru rohovky, dále pak paracentrálně, v periferii a v oblasti limbu. Pro každou ze zkoumaných oblastí byl sestaven Youngův modul elasticity. Výsledky pokusů ukázaly, že hodnoty elastického modulu byly nejvyšší v centrální a paracentrální oblasti rohovky při meridiánovém působení tlaku, zatímco při obvodovém působení tlaku byl modul elasticity nejvyšší při limbu.

Obdobné studie byly věnovány biomechanickým vlastnostem skléry. Battaglioli a kol. [2] zkoumal mechanické vlastnosti sklerální tkáně, vystavené působení tlaku. Výsledky prokázaly, že elastický modul při působení radiálně orientované síly stlačení byl vyšší než u cirkumferenčně orientované síly stlačení, ale po ukončení působící síly se vzorky skléry navrátily do svého původního stavu. Experiment tedy prokázal, že skléra nejeví permanentní deformaci. Obdobné studie, týkající se biomechanických vlastností rohovky a skléry, publikovali Buzard [3], Hoeltzel [23] a Shin [46].

Stěžejní práci pro posouzení mechanismu účinku kovového tělesa vůči oční stěně publikoval v roce 1999 Uchio [51]. Při pokusech s cizími tělesy, které byly „vystřeleny“ proti povrchu rohovky a skléry, použil Uchio tělesa ve tvaru desetiúhelníku, jejichž hmotnost se pohybovala v rozmezí od 0,05 do 0,30 g a velikost od 0,5 do 3,0 mm. Tělesa opakovaně vystřeloval proti rohovce a skléře různými rychlostmi. Zjistil, že hraničními hodnotami pro penetraci rohovky jsou rychlost 30 m/s při velikosti tělesa 1,95 mm a 0,82 mm při rychlosti 60 m/s. Pro penetraci skléry jsou tyto hodnoty 0,95 mm pro rychlost 30 m/s a 0,75 mm pro rychlost 60 m/s. Hodnoty rychlostí byly odvozeny z případů průmyslových poranění, ke kterým došlo během broušení nebo řezání skla. Stroje, které se používají k těmto a podobným profesím, obsahují rotující části, od kterých často odletí kousky opracovávaného materiálu. Podle příslušných specifikací strojů, které udává výrobce, byly maximální rychlosti, kterými je částice materiálu „katapultována“, odvozeny od maxima počtu otáček stroje za minutu a od průměru stroje. Pro zjednodušení byl zanedbán parametr úhlového zrychlení. Rychlost takto „katapultované“ částice se pak nejčastěji pohybovala v rozmezí 56 až 62 m/s.

K určení fyzikálních a mechanických podmínek nárazu kovového tělesa na stěnu bulbu byl vytvořen počítačový model oka. Simulace nárazu kovových částic o různé velikosti byla vyhodnocena analýzou (Finite Element Analysis – FEA) programem PAM-CRASH (Nihon ESI, Tokyo). Model oka byl složen ze 3 vrstev: zevní (povrchové vrstvy rohovky a skléry), střední (hluboké vrstvy rohovky a skléry, dále pak, duhovka, řasnaté těleso, cévnatka a sítnice) a vnitřní (komorová tekutina, čočka a sklivec). Rohovka a skléra byla modelována jako membranózní vrstva, čočka jako rigidní struktura a sklivec jako solidní masa s hydrostatickým tlakem 20 mm Hg. Tvar experimentálních těles byl desetiúhelník, jehož vrchol a základna měla tvar čtverce a strana horního čtverce byla 1/3 strany základny. V experimentu byla použita tělesa, jejichž hmotnost se pohybovala od 0,05 do 0,30 g. Pro zjednodušení však nebyl brán v úvahu úhlový moment tělesa. Z výsledků vyplynulo, že k ruptuře rohovky došlo při vystavení napětí 18 %, k ruptuře skléry při napětí 6,8 %. Při testování obou tkání na odolnost vůči tlaku bylo zjištěno, že k dehiscenci obou tkání v plné tloušťce dochází shodně při tlaku 9,4 MPa. Zajímavých výsledků bylo dosaženo při analýze rychlosti a velikosti kovových těles s ohledem na vznik ruptury rohovky či skléry. Bylo prokázáno, že rohovkovou penetraci způsobí těleso velikosti 1,95mm při rychlosti 30m/s, resp. 0,82 mm při rychlosti 60 m/s. Při stejných rychlostech je velikost tělesa 0,95mm (rychlost 30/s), resp. 0,75 mm (rychlost 60 m/s). Práci na podobné téma se zaměřením na mechanické účinky airbagu na oko s implantovanou nitrooční čočkou publikoval Uchio v roce 2004 [52].

Prognóza penetrujících poranění s cizím nitroočním tělesem je stále diskutova-

zlom Oftal 15.3.2006 11:31 Stránka 117
proLékaře.cz | 13.2.2026

nou otázkou [7, 16, 17, 28, 45]. Jako hlavní faktory výsledného funkčního i anatomického stavu orgánu jsou diskutovány rozsah vstupní rány, její lokalizace, rozvoj sekundární infekce, typ a velikost CNT, přítomnost krvácení v oblasti sklivce, „timing“ (načasování) chirurgického výkonu [12, 20, 29, 31] a rozvoj proliferativní vitreoretinopatie [4]. V minulosti se někteří autoři se zabývali velikostí CNT jako stěžejním prognostickým faktorem. Percival [43] předpokládal, že s narůstající velikostí CNT se snižuje prognóza zrakové ostrosti. Velikostí CNT, jako prognostickým faktorem, jsme se v našem souboru nezabývali, stejně tak ani velikostí vstupní rány, přítomností traumatické katarakty či načasováním chirurgického výkonu spojeného s extrakcí CNT. Jako dva analyzované parametry byly zvoleny místo vstupní rány a místo výsledného uložení kovového nitroočního tělesa. Předpokladem práce bylo stanovit, že pouze tyto dva parametry jsou navzájem korelující s ohledem na dráhu letu uvnitř oka. Z výsledků vyplynulo, že zadané parametry nekorelují a nelze tedy pouze na základě těchto definovaných hodnot určit dráhu letu CNT. Ta je zřejmě ovlivněna multifaktoriálním podílem a souhrou ještě dalších fyzikálních parametrů, které nelze retrospektivně určit. Na konečné poloze CNT v oku při penetrujícím poranění se podílejí i další velmi individuálně variabilní faktory, jako např. rychlost tělesa, úhel při dopadu tělesa na stěnu oka, sklon oční osy v okamžiku penetrace a rotace tělesa před okamžikem penetrace a po jeho vstupu do oka. Z dostupné literatury není zatím známo, že by byl v experimentu navržen model oka, který by tyto fyzikální faktory zahrnoval.

ZÁVĚR

Otevřená poranění oka způsobená kovovým nitroočním tělesem jsou problematikou závažnou nejen pro své funkční, ale i vzhledem k velmi omezené predikci výsledného stavu orgánu. Toto omezení je dáno velkou variabilitou rozsahu poranění v závislosti na koincidenci mnoha navzájem působících biofyzikálních faktorů. Mnohé z nich lze retrospektivně zjistit (tvar, materiál a velikost cizího nitroočního tělesa, určení vstupní rány, výsledné uložení nitroočního tělesa a poškození nitroočních tkání). Rozsah devastace nitroočních tkání tím, zda-li těleso změní či nezmění dráhu uvnitř oka, nelze retrospektivně stanovit, protože změna dráhy letu závisí na dalších fyzikálních faktorech, které nelze retrospektivně stanovit a jsou individuálně variabilní (rychlost tělesa, jeho rotace během letu, sklon oční osy v okamžiku průniku tělesa a úhel dopadu na oční stěnu).

LITERATURA

1. **Battaglioli, J. L., Kamm, R. D.:** Measurements of the compressive properties of scleral tissue. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci., 25, 1984: 59–65.
2. **Buzard, K. A.:** Introduction to biomechanics of the cornea. Refract. Corneal Surg., 8, 1992, 2: 125–126.
3. **Cardillo, J. A. et al.:** Post-traumatic proliferative vitreoretinopathy. The epidemiologic profile, onset, risk factors, and visual outcome. Ophthalmology, 104, 1997, 7: 1166–1173.
4. **Delori, F., Pomerantozeff, O., Cox, M. S.:** Deformation of the globe under high speed impacts, its relations to contusion injuries. Invest. Ophthalmol., 1969, 8: 290–301.
5. **Chiquet, C., Zech, J. C., Gain, P., et al.:** Visual outcome and prognostic factors after magnetic extraction of posterior segment foreign bodies in 40 cases. Br. J. Ophthalmol., 82, 1998, 801–806.

zlom Oftal 15.3.2006 11:31 Stránka 118
proLékaře.cz | 13.2.2026

6. **Chow, D. R. et al.:** External versus internal approach to the removal of metallic intraocular foreign bodies. Retina, 20, 2000, 4: 364–369.
7. **Došková, H., Vlková, E., Vysloužilová, D.:** Korelace vstupní perforace a výsledného umístění CNT v oku. 70. In Kniha abstrakt 9. výročního sjezdu České oftalmol. společnosti. Galén, Brno, 2001, 200 s.
8. **Došková, H., Vlková, E.:** Výsledky odložených extrakcí CNT. 70. In Kniha abstrakt 9. výročního sjezdu České oftalmol. společnosti. Galén, Brno, 2001, 200 s.
9. **Došková, H., Kršek, P.:** Trojrozměrná analýza dráhy kovového nitroočního tělesa. 63. In Sborník abstrakt XII. výročního sjezdu Čs. oftalmol. společnosti. Univerzita Palackého v Olomouci, Ostrava, 2004, 171 s.
10. **El-Asrar, A. M., Al-Amro, S. A., Khan, N. M., et al.:** Visual outcome and prognostic factors after vitrectomy for posterior segment foreign bodies. Eur. J. Ophthalmol., 10, 2000, 4: 304–311.
11. **Greven, C. M., Engelbrecht, N. E., Slusher, M. M., et al.:** Intraocular foreign bodies: management, prognostic factors and visual outcomes. Ophthalmology, 107, 2000, 3: 608–612.
12. **Griffiths, M. L., Lee, G. A.:** Retained intraocular foreign body. Clin. Exp. Optom., 87, 2004, 1: 34–36
13. **Heimann, K.:** Principles for successful management of ocular trauma, part I. Highlights of Ophthalmogy, 23, 1995, 8: 30–38.
14. **Heys, J. J., Barocas, V. H., Taravella, M. J.:** Modeling passive mechanical interaction between aqueous humor and iris. J. Biomech. Eng., 123, 2001, 6: 540–547.
15. **Hjortdal, J. O.:** Regional elastic performance of the human cornea, J. Biomech., 29, 1996, 7: 931–942.
16. **Hoeltzel, D. A., Altman, P., Buzard, K., et al.:** Strip extensiometry for comparison of the mechanical response of bovine, rabbit and human corneas. J. Biomech. Eng., 114, 1992, 2: 202–215.
17. http://sweb.cz/radek.jandora/f04.htm: Mechanika tuhého tělesa.
18. http://sweb.cz/radek.jandova/f01.htm: Kinematika hmotného bodu.
19. http://sweb.cz/radek.jandova/f03.htm: Mechanická práce, výkon, energie.
20. **Jonas, J. B., Knorr, H. L. J., Budde, W. M.:** Prognostic factors in ocular injuries caused by intraocular or retrobulbar foreign bodies. Ophthalmology, 107, 2000, 5: 823–828.
21. **Jonas, J. B., Budde, W. M.:** Early versus late removal of retained intraocular foreign bodies. Retina, 19, 1999, 3: 193–197.
22. **Karel, I., Diblík, P.:** Management of posterior segment foreign bodies and long-term results. Eur. J. Ophthalmol., 5, 1995, 2: 113–118.
23. **McCormack, P.:** Penetrating injury of the eye. Br. J. Ophthalmol., 83, 1999, 10: 1101–1102.
24. **Mester, V., Kuhn, F.:** Ferrous intraocular foreign bodies retained in the posterior segment: management options and results. Int. Ophthalmol., 22, 1998, 6: 355–362.
25. **Mikš, A.:** Zobrazovací vlastnosti Gullstrandova modelu oka. Jemná mechanika a optika, 45, 2000, 2: 51–53.
26. **Percival, S. P. B.:** A decade of intraocular foreign bodies. Br. J. Ophthalmol., 56, 1972: 454–461.
27. **Potts, A. M., Distler, J. A.:** Shape factor in the penetration of intraocular foreign bodies. Am. J. Ophthalmol., 100, 1985, 1: 183–187.
28. **Punnamen, E., Laatikainen, L.:** Prognosis of perforating eye injuries with intraocular foreign bodies. Acta Ophthalmol., 67, 1989, 483–491.
29. **Shin, T. J. et al.:** The distribution of strain in the human cornea. J. Biomechanics., 30, 1997, 5: 497–503.
30. **Strmeň, P., Krásnik, V., Vavrová, K.:** Cudzie vnútroočné telesá v zadnom segmente oka. Čs. a slov. Oftal., 56, 2000, 2: 75–83.
31. **Taber, L. A.**: Large deformation mechanics of the enucleated eyeball. J. Biomech. Eng., 106, 1984, 3: 229–234.
32. **Tilbet, C. W., Rose, H. W., Herget, C.:** High speed photographic study of perforating ocular injury by the BB. Am. J. Oph., 54, 1962, 675–688.
33. **Uchio, E., Ohno, S., Kudoh, J., et al:** Simulation model of an eyeball based on finite element analysis on a supercomputer. Br. J. Ophthalmol., 83, 1999, 10: 1106–1111.
34. **Uchio, E., Kadanoso, K., Matsuoka, Y., et al.:** Simulation of air-bag impact on an eye with transsclerally fixate posterior chamber intraocular lens using finite element analysis. J. Cataract Refract. Surg., 30, 2004, 2: 483–490.

MUDr. Hana Došková, PhD.
Oční klinika LF MU
Jihlavská 20
656 00 Brno - Bohunice