

617.7-001:621.375.826:347.823.4

ZASAŽENÍ PILOTA ZA LETU LASEROVÝM PAPRSKEM

Josef CHALOUPKA, Jiří ŠULC
Ústav leteckého zdravotnictví, Praha

Souhrn

V posledních letech byla zaznamenána řada případů náhodného i záměrného ozáření posádky letounu laserovým paprskem. Jedná se sice o nepříliš častou, ale pro bezpečnost letu i zdraví letce závažnou událost. Piloti, jejichž zrakový orgán byl během letu zasažen laserem, by měli být poučeni o nutnosti odborného vyšetření útvary lékařem a následně leteckým oftalmologem i v případě, že nemají subjektivní obtíže.

Klíčová slova: Laser; Poranění oka; Situační vědomí.

Pilots Hit In-Flight with Laser Beams

Summary

Recently a number of accidental or intentional illuminations of flight crews with laser beams have been recorded. These are, no doubt, rare but serious events both for flight safety and for the aviators' health. Pilots whose visual organs were hit with a laser during a flight, should be informed of the necessity of a special examination first by a flight surgeon and then by an aviation ophthalmologist even if they have no complaints.

Key words: Laser; Eye injury; Situation awareness.

Úvod

Lasery jsou optické kvantové generátory nebo zesilovače světla vlnových délek od ultrafialové až po infračervenou oblast. Široce se uplatňují jak ve vojenském, tak v civilním letectvu, například v přístrojích pro osvětlení a označování cílů, v dálkoměrech, radiolokátorech a dalších komunikačních zařízeních. Jde vesměs o lasery s velkým energetickým výkonem (tj. 3. a 4. třídy), které mohou způsobit závažná funkční a organická poškození organismu. V minulosti se pozornost soustřeďovala především na ochranu leteckého technického personálu a dělníků ve výrobních a opravárenských závodech, zatímco riziko nebezpečného ozáření posádky letadla bylo hodnoceno jako malé (2, 4, 5, 8, 10). Laserové zdroje se však mezitím rozšířily v mnoha dalších, obtížně kontrolovatelných provozech, jakými jsou zábavní parky, velká příměstská nákupní centra nebo příležitostně pořádaná světelná show. Proto nepřekvapuje, že v posledních letech bylo jenom v USA zaznamenáno několik desítek případů ozáření letadel laserovým paprskem, při nichž byl zasažen zrakový orgán pilota nebo jiného člena posádky (1, 6). Postižení byli jak civilní, tak vojenská letci. Některé expozice byly náhodné, jiné záměrné. Nelze podceňovat riziko zneužití vysoce výkonných laserů fanatickými sektami a teroristy, kteří by je mohli použít jako účinnou protiletadlovou

vou zbraň (6). Proto by všichni lékaři – nejen letečtí či vojenští – měli mít alespoň základní znalosti o nebezpečích, která člověku tento technický prostředek přináší.

Ozáření letové posádky laserem

První ucelenou informaci o náhodném ozáření pilotů laserem v průběhu letu přednesl na bruselské konferenci NATO/AGARD v roce 1995 nestor leteckých oftalmologů Ivan (6). Referoval o výsledcích screeningu zrakových funkcí mezi stíhacími piloty letecké základny, v jejíž blízkosti byl vybudován zábavní park vybavený laserovými reflektory. Bezprostředním impulsem pro zmíněné šetření bylo oslnění jednoho z pilotů během poslední fáze přistání paprskem reflektoru vzdáleného od prahu dráhy několik mil. Pilot utrpěl trvalou ztrátu centrálního vidění na jednom oku. Depistážní akce vedla k zajímavému poznání: za letu bylo laserem oslněno celkem 21 % letců. Protože jejich potíže rychle ustoupily, nepovažovali za nutné navštívit útvary lékaře. Při podrobném oftalmologickém vyšetření však u 8 % z nich byly zjištěny přetrvávající defekty barevného vidění.

O 5 let později na 71. konferenci Americké společnosti leteckého a kosmického lékařství v Houstonu představitel Federálního leteckého úřadu USA

M. J. Antuñano prezentoval podrobně 6 případů zasažení civilních letců laserem (1). Prvořadý význam jeho studie je v tom, že zdokumentoval při-

pady záměrného oslňování posádek a demonstroval účinnost laserového záření na vzdálenost až několika desítek kilometrů.

Tabulka 1

Zasažení posádky civilních letadel laserovým paprskem

Typ letounu	Člen letové posádky	Okolnosti ozáření	Charakteristika postižení
Dopravní	Palubní inženýr	Zásah kabiny laserovým paprskem zepředu ze vzdálenosti 3 mil ve výšce 700 stop	Oslepení obou očí na 3–5 sekund. Později bolest očí a lehké prosáknutí spojivek. Bez trvalých následků.
Dopravní	Kapitán	Opakovaný (5x) záměrný zásah modrým laserovým paprskem ze vzdálenosti 5 mil ve výšce 6000 stop ve fázi závěrečného přiblížení	Pilot oslepen na pravém oku. Později přetrvávající neostře vidění, pálení oka, profuzní slzení. Objektivně: mnohočetné povrchní popálení rohovky. Zhojen bez trvalých následků.
?	Kapitán	Ozáření kabiny laserem ze vzdálenosti 8 mil ve výšce 10 000 stop	Pilot oslepen na 2–4 sekundy, po následujících 15 sekund měl problémy se zaostřením do blízka. Bolest oka trvající asi 2 minuty. Bez trvalých následků.
Dopravní	Kapitán + 2. pilot	Zásah kabiny zprava laserovým paprskem ze vzdálenosti 3 mil ve výšce 500 stop	Oslepení obou pilotů na 5–10 sekund. Při oftalmologickém vyšetření 2. pilota zjištěno subkonjunktivální krvácení a léze epitelu temporálního segmentu pravého oka. Bez trvalých následků.
Dopravní	Pilot	Záměrný zásah zeleným laserovým paprskem ze vzdálenosti 15 mil ve výšce 13 000 stop	Pilot hlásil intenzivní slzení obou očí následované reziduálními paobrazy a ztíženou akomodací. Bez trvalých následků.
Vrtulník	Pilot	Zásah laserovým paprskem ve výšce 1000 stop	Pilot policejního vrtulníku oslněn na 5–15 sekund. Později bolesti hlavy a nauzea.

Účinky laserového záření

Z hlediska poškození zdraví jsou kritickými orgány oko a kůže. Termické účinky laseru na kůži jsou vzhledem k pojednávanému tématu bezvýznamné.

Primární účinek záření laserů spočívá v tepelném a fotochemickém působení (2, 3). Tepelný účinek je výsledkem rychlé absorpce značného množství energie ozářenou tkání. Jeho intenzita závisí na velikosti (objemu) zasažené plochy a na podmínkách pro odvod tepla do okolí (prokrvení). Zcela krátké expozice vyvolané záblesky záření o vysokém obsahu energie způsobí v tkáni prudké odpaření vody v podobě „mikroexploze“ (9). Takové poškození pak mívá větší rozsah, než by odpovídalo velikosti ozářené plochy. Na tvaru a rozsahu vzniklé léze se mohou současně podílet ultrazvukové kmity, vyvolávající posuny okolní tkáně. Ultrazvukové vlny ve sklivci narušují hydrodynamiku nitrooční tekutiny.

Fotochemické účinky jsou způsobeny interakcí záření s molekulami ozářených tkáňových struktur. Uplatňují se především při ozáření sítnice viditelným zářením a zářením blízkým infračervené oblasti (3). Podrobnosti tohoto procesu nejsou zatím dostatečně objasněny.

O tom, v které části oka bude záření absorbováno, rozhoduje vlnová délka záření. Infračervené záření o vlnové délce větší než 1400 nm téměř úplně zachytí rohovka a komorová voda. Absorbovaná energie může vyvolat akutní konjunktivitidu, popálení rohovky a ohřátí čočky. Záření v rozsahu vlnových délek viditelného světla a krátkovlnného infračerveného záření, tj. 400–1400 nm, poškozuje sítnici. Je třeba mít na paměti, že optická soustava oka zvyšuje výkonovou hustotu záření dopadajícího na sítnici až 100 000krát ve srovnání s energií paprsku na povrchu oka. Podél dráhy laserového paprsku vznikají ionizované částice; není zcela prozkoumáno, jaký je patofyziologický důsledek tohoto děje.

Zrak může být ozářením poškozen dočasně, nebo trvale. Z hlediska aktuální výkonnosti posádky v okamžiku jejího zasažení laserovým paprskem je ale nejdůležitější psychovizuální aspekt alterace operační způsobilosti letce. Kromě úleku i jen několikasekundová ztráta zrakové kontroly letu závažným způsobem narušuje situační vědomí letce, vyvolává jeho dezorientaci a tím bezprostředně ohrožuje bezpečnost letu (7).

Tabulka 2

Přechodné a trvalé účinky ozáření oka laserem

Dočasné účinky	Trvalé účinky
Povrchové popáleniny rohovky (zhojení během 48 hodin)	Hluboké popáleniny rohovky (pigmentace a tečkovité zákaly ve stromatu)
Oslepení jednoho oka nebo obou očí v řádu sekund až desítek sekund	Termická katarakta čočky, termické léze centrální a periferní části sítnice
Oslnění s pocitem pálení očí, slzením, přecitlivělostí na světlo v řádu minut	Absolutní skotom, zvětšení vertikálního rozměru slepé skvrny, zúžení rozsahu zorného pole
Ztráta adaptace na noční vidění (až na 45 minut)	Poruchy barvocitu
Paobrazy (jiskření, světelné kruhy) v zorném poli v řádu minut	Uzurace pupilárního okraje duhovky
Bolest hlavy a očí, nauzea v řádu desítek minut až hodin	Regionální změny hemocirkulace a poruchy hydrodynamiky nitrooční tekutiny
	Trofické změny spojivek

Ochrana a postup letce a lékaře po ozáření

Klíčovým opatřením při ochraně zraku a situačního vědomí letce je zábrana energeticky významného ozáření oka laserem. Zdálo by se, že alespoň u „legálně“ provozovaných zdrojů bude možno riziko zásahu posádek laserovým paprskem eliminovat, např. sladěním provozu laserového zdroje s pohyby letadel v kritickém vzdušném prostoru. V praxi je ale něco podobného prakticky neřešitelné, jak ukazují opakované případy oslnění pilotů světly majáků. Pověstný je zejména maják letiště v Mekce (6). Na periférii velkoměst, kde se nacházejí civilní i vojenská letiště, se nedaří účinně bránit výstavbě obchodních a zábavních center s výkonným světelným parkem, včetně laserových „děl“. V obou uvedených případech nezbyvá, než aby posádky při přípravě na let počítaly s možným výskytem laserových paprsků a v rizikovém prostoru volily bezpečnou trajektorii letu. Musí se rovněž vyvarovat přímému pohledu do zdrojového nebo odraženého paprsku. Tato taktika spolu s okamžitou změnou směru letu je zároveň jedinou ochranou pilota při cíleném zásahu z neznámého zdroje.

Spolehlivou ochranu ve všech případech poskytuje sluneční štítek pilotní přilby z polymethylmetakrylátu plněný světlezeleným pigmentem. Standardní sluneční brýle proti laserovému paprsku s energií nad 100 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ dostatečně nechrání, účinné jsou však speciální brýle z temperovaného skla typu KG-3 (5).

Letci by měli být poučeni, že po ozáření laserem se mají neprodleně dostavit ke svému lékaři. Ten posoudí, zda je nutné ošetření zevního segmentu oka

a stanoví dočasnou nezpůsobilost k létání minimálně na 24 hodin. Jak po jednorázovém, tak po opakovaném ozáření oka laserem by měl pilota podrobně vyšetřit letecký oftalmolog (5, 6). Poruchy barvocitu přetrvávají řádově i několik měsíců a při jejich zjištění musí být posouzena významnost nálezu z hlediska operační výkonnosti letce při práci s barevnými symboly.

Závěr

Ozáření posádky letounu laserovým paprskem je sice nepříliš častou, ale z hlediska bezpečnosti letu i zdraví letce závažnou událostí. Piloti, jejichž zrakový orgán byl během letu zasažen laserem, by měli být poučeni o nutnosti odborného vyšetření útvary lékařem a následně leteckým oftalmologem i v případě, že nemají subjektivní obtíže.

Literatura

1. ANTUNANO, MJ. Effects of Inflight Exposure to Outdoor LASERS. 71st AsMA Annual Scientific Meeting, Houston 15.–18. 5. 2000
2. BEATRICE, ES., et al. Laser Hazards: Biomedical Threshold level investigation. *Mil. Med.*, 1977, vol. 142, no. 11, p. 889–891.
3. CIKRT, M. – MÁLEK, B. (Ed.). *Pracovní lékařství I. Hygiena práce*. Praha, CIVOP, 1995.
4. FOWLER, BJ. Accidental Industrial Laser Burn of Macula. *Ann. Ophthalmol.*, 1983, vol. 15, no. 3, p. 481–483.
5. CHISUM, GT. Laser Eye Protection for Flight Personnel. *Aviat. Space Environ. Med.*, 1979, vol. 50, no. 3, p. 239–242.

6. IVAN, D. *Laser Threat or Fancy*. NATO/AGARD Conference "Situation Awareness: Limitation and Enhancement in the Aviation Environment". Brusel 24.–27. 4. 1995.
7. JONES, DG. – ENDSLEY, MR. Sources of situation awareness errors in aviation. *Aviat. Space Environ. Med.*, 1996, vol. 67, no. 6, p. 507–512.
8. RIBAK, J. – RAYMAN, RB. – FROOM, P. (Ed.). *Occupational Health in Aviation: Maintenance and Support Personnel*. San Diego, Academic Press, 1995. 237 p.
9. SCHMIDT, RE. – TABOADA, J. – BUTCHER, WI. Suprathreshold Retinal Damage due to Single 6 picosecond 1060 nm Laser Light Pulses. *Aviat. Space Environ. Med.*, 1979, vol. 50, no. 8, p. 788–791.
10. WOLFE, JA. Laser Retinal Injury. *Mil. Med.*, 1985, vol. 150, no. 3, p. 177–185.

Korespondence: MUDr. Josef Chaloupka
Ústav leteckého zdravotnictví
Generála Píky 1
160 41 Praha 6

Do redakce došlo 20. 3. 2003