

OBJEKTIVNÍ MĚŘENÍ ÚNAVY FREKVENCÍ MRKÁNÍ

Richard Rokyta¹, Jiří Pučelík², Jan Dudák^{1,3}, Anna Yamamotová¹

¹Univerzita Karlova v Praze, 3. lékařská fakulta,

Ústav normální, patologické a klinické fyziologie, Praha

²Program Projekt s.r.o., Plzeň

³České vysoké učení technické v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství,

Katedra přírodovědných oborů, Praha

Abstrakt

Byla vyvinuta nová metoda měření únavy pracující na principu snímání odrazu infračerveného záření od povrchu oční bulvy. Přístroj zaznamenává frekvenci mrkání, která slouží jako objektivní indikátor únavy. Z výsledků jednoznačně vyplývá, že v nočních hodinách se frekvence mrkání zrychluje ve srovnání s frekvencí mrkání ve dne. Je podrobně popsána aparatura, která umožňuje jednoduché snímání frekvence mrkání. Popsaná metoda může být využita u řidičů, kteří při určité zvýšené frekvenci mrkání budou upozorněni akustickými signály na nebezpečí usnutí.

Klíčová slova

monitorování mrkání, únava, řidiči

Abstract

In the article, the new possibility of registration of fatigue is described. The optoelectronic apparatus records the eye-blink rate which serves as an objective indicator of person's fatigue, especially at night. The results show that frequency of eye-blink rate is faster in the night than in the day. Described method can be used in drivers, which will be informed by warning acoustic signal about the risk of falling asleep when the frequency of eye-blink will reach individually critical level.

Keywords

eye-blink rate monitoring, fatigue, car drivers

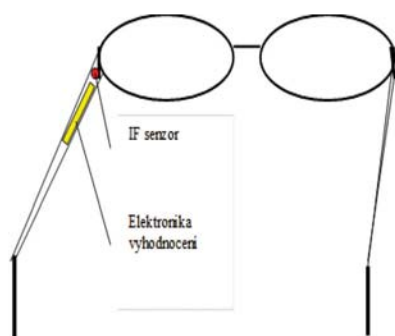
Úvod

Rozvoj automobilismu na celém světě je příčinou velkého množství dopravních nehod končících mnohdy smrtí, které mohou být důsledkem nadměrné únavy řidiče s následnou možností vzniku mikrospánku. Několik výzkumných pracovišť a automobilový průmysl se v posledních desetiletích snažily objektivizovat únavu. Nejčastěji to bylo prostřednictvím snímání EEG a měření autonomních funkcí (Faber, Novák 2011; Faber et al. 2011, Macaš et al. 2009; Sýkora et al. 2012). Přestože jsou tyto výsledky velice nadějně, jsou technicky nesmírně náročné a prozatím v praxi obtížně použitelné. Hledali jsme proto jiný způsob a vyšli jsme z pozorování, že při únavě se zvyšuje frekvence mrkání

(Stern et al. 1994; Heitmann et al. 2001; Boverie, Girard 2008). V literatuře jsou popsány změny parametrů mrkání jako měřítko ospalosti (Verset, Zaidel 2000; Lal, Craig 2001; Caffier et al. 2003; Barbato et al. 2007). Snažili jsme se o zhotovení jednoduchého přístroje, který by frekvenci mrkání monitoroval. Jedná se o Optoelektronický únavový senzor (OPTUS).

Návrh a konstrukce měřicí aparatury

Provedení optoelektronického únavového senzoru (dále jen OPTUS) je v podobě brýlí, kde pohyb víčka je opticky snímán optoelektronickým snímačem umístěným spolu s další elektronikou v ruce brýlí (obr. 1).



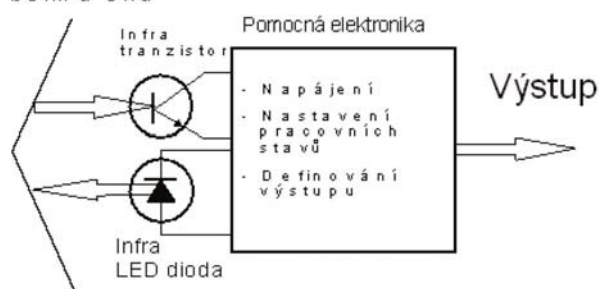
Obr. 1: Znázornění provedení optoelektronického únavového senzoru OPTUS.

Součástí elektroniky je i mikroprocesor s vyhodnocovacím programovým vybavením. Úkolem senzoru je snímat frekvenci mrkání řidiče a na základě analýzy frekvence detekovat jeho stav bdělosti. V případě kritické frekvence mrkání bude řidič varován akustickým signálem.

Optoelektronický snímač pohybu víčka lidského oka

Pro dosažení výše uvedených podmínek funkce optického snímače byla zvolena infračervená oblast elektromagnetického spektra. Optický snímač je tvořen infračervenou LED diodou a dále fototranzistorem snímajícím záření v oblasti infračerveného spektra. LED dioda vyzářuje na boční stranu bělma oka v blízkosti koutku infračervený paprsek nízké intenzity. Změny odrazu paprsku v závislosti na pohybu víčka jsou následně snímány fototranzistorem. Toto je základní princip snímače navrženého a použitého pro měřicí systém, který bude použit u finálního provedení aparátu OPTUS. Uvedené dvě základní optoelektronické součástky jsou doplněny dalšími součástkami zajišťujícími jejich napájení, pracovní nastavení a výstup (obr. 2).

O drazová plocha
bělma oka



Obr. 2: Znázornění základního principu optoelektronického únavového senzoru OPTUS.

Popis experimentální měřicí soustavy

Pro zjištění důležitých statistických údajů o pohybu víčka oka v závislosti na únavě byl navržen měřicí systém, který navazuje na výstup z bloku pomocné

elektroniky znázorněné na obr. 2. Pro záznam jednotlivých měření a jejich vyhodnocení byl zvolen notebook. Z důvodu zajištění kompatibility měřených hodnot s USB vstupem počítače bylo nutné mezi výstup bloku pomocné elektroniky a vstup notebooku vložit další blok vyhodnocovací jednotky.

Vyhodnocovací jednotka

Vestavěný mikroprocesor umožňuje na výstupu z bloku pomocné elektroniky konfigurovat zesílení, nastavení nulové úrovně a provádí vlastní měření. Mikroprocesor měřicího systému je z rodiny AVR firmy Atmel. Program v mikroprocesoru je napsán v jazyce C. Použitý překladač je AVR-GCC.

Naměřená data jsou digitálně filtrována plovoucím průměrem pro odstranění rušení vzniklých při měření. Naměřená data jsou přenášena přes USB 1.1 rozhraní do PC k dalšímu zpracování. Parametry měření jsou uvedeny v tabulce 1. Napájení měřicího systému a sond je z USB rozhraní. To poskytuje napětí 5 V o maximálním zatížení 500 mA. Napětí potřebné pro vyhodnocovací jednotku je (± 12 V) a je vytvořeno DC/DC měničem z napětí 5 V.

Tab. 1:

Softwarové parametry	
Programovací jazyk	Java
Systémové požadavky minimální	CPU 500MHz, 128MB RAM, 50 MB volného místa na HDD, USB 1.1, OS: Windows 98, 2000, XP, JRE 1.4.2 a vyšší
Systémové požadavky doporučené	CPU 1GHz nebo vyšší, 256MB RAM, 50MB volného místa na HDD, USB 1.1, OS: Windows 98, 2000, XP, JRE 1.4.2. a vyšší
Užité knihovny	Java Comm API, Swing

Software pro notebook

Data jsou zaznamenávána a ukládána počítačovým programem vytvořeným v jazyce Java. Pro správnou činnost vyžaduje nainstalovaný Java Runtime Environment verze 1.4.2 a vyšší. Po spuštění počítače program sám detekuje připojení měřicího systému. Není-li systém nalezen, program se spustí v demonstračním režimu umožňujícím prohlížení již naměřených dat. Nastavitelné parametry jsou: doba měření, rozsah naměřených hodnot a nulová úroveň.

Software zajišťuje měření s rozlišením 10 bitů s vzorkovací frekvencí 100 Hz. Filtraci naměřených hodnot

zajišťuje mikroprocesor AVR pracující na frekvenci 11 MHz. Minimální systémové požadavky jsou uvedeny v tabulce 1.

Metodika měření

Byly provedeny dvě série měření s odstupem půl roku. V první sérii byla nasnímana data skupiny deseti subjektů, ve druhé sérii skupiny dvaceti subjektů. Měřenými subjekty byli dobrovolníci z řad studentů FBMI ČVUT ve věku 20–27 let, 11 žen, 19 mužů.

Každý subjekt se dostavil k měření dvakrát. První fáze měření probíhala mezi 13. a 16. hodinou, kdy se předpokládala plná bdělost subjektů. Druhá fáze pak mezi 2. a 4. hodinou ranní, kde byla předpokladem únava a rozespálost subjektů. Z každé fáze měření bylo získáno 25 minut záznamu mrkání. Tedy 25 minut při stavu svěžesti a 25 minut ve stavu únavy. Z důvodu softwarového omezení byla měření prováděna v pěti-minutových cyklech, navazujících na sebe v časovém odstupu 30 sekund. V této pauze mezi dvěma měřeními byla ukládána nasnímaná data.

Měřený subjekt seděl uvolněně v křesle se snímací jednotkou OPTUS upevněnou na hlavě. Křeslo bylo umístěno ve vzdálenosti 3 m od bílé stěny a natočeno tak, aby měřený subjekt byl čelem ke stěně. Úkolem bylo uvolněně sledovat stěnu před sebou mírně nad úroveň výšky očí a neměnit směr pohledu. Vlastní snímání bylo zahájeno deset minut po usazení subjektu do křesla, aby se mohl přizpůsobit aktuálním podmínkám. Při měření v odpoledních hodinách bylo využíváno pouze denní světlo, při snímání v nočních hodinách žárovkové osvětlení.

Pro vyhodnocení nasnímaných dat byla vytvořena jednoduchá aplikace v jazyce C. Jejím úkolem je zaznamenávat čas každého mrknutí a vyhodnotit průměrnou frekvenci mrkání v naměřeném signálu. Byla srovnávána frekvence mrkání subjektů ve dne a v nočních hodinách.

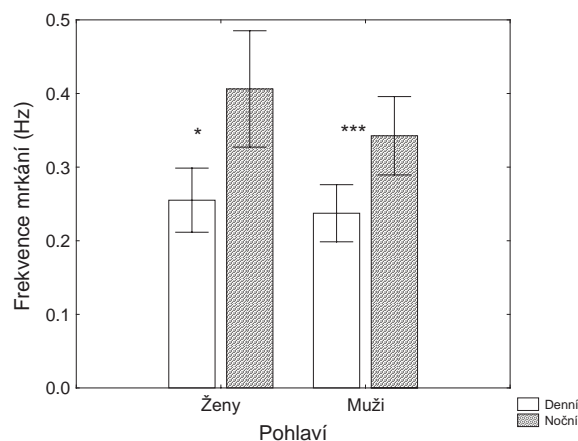
Statistická analýza dat

Rozdíly ve frekvenci mrkání ve dne a v noci byly hodnoceny párovým Studentovým t-testem. Rozdíly ve frekvenci mrkání u mužů a u žen byly hodnoceny dvouvýběrovým t-testem na střední hodnotu.

Výsledky analýzy mrkání

Denní doba a pohlavní rozdíly

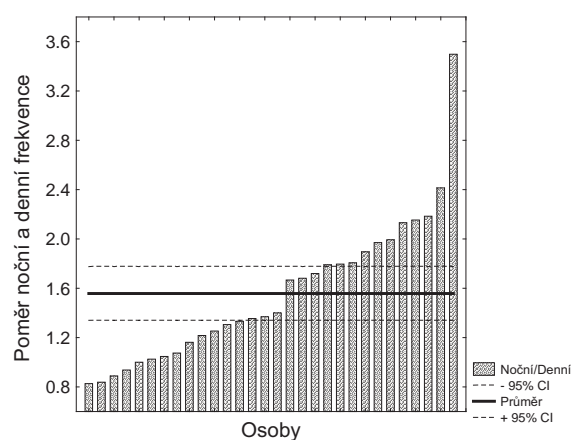
Frekvence mrkání je vyšší v nočních hodinách ($0,37 \pm 0,24$ Hz) než v denních ($0,24 \pm 0,16$ Hz) u obou pohlaví shodně (ženy: $t = 2,23$, $p = 0,038$; muži $t = 2,1$, $p = 0,0002$) (obr. 3).



Obr. 3: Frekvence denního a nočního mrkání z hlediska pohlavních rozdílů. Data představují průměr \pm SEM; * $p < 0,05$, *** $p < 0,001$.

Průměrná frekvence se nelišila u žen a mužů ani ve dne ($t = 2,05$, $p = 0,77$) ani v noci ($t = 2,05$, $p = 0,50$).

Na relativně velkou interindividuální variabilitu frekvence mrkání poukazuje obr. 4, který představuje poměr noční a denní frekvence mrkání. Noční frekvence byla v průměru 1.56 krát vyšší než denní frekvence. Z výsledků vyplývá, že přestože většina ze zkoumaných subjektů má vyšší frekvenci v noci, individuálně se mohou lišit 2-3 násobně.

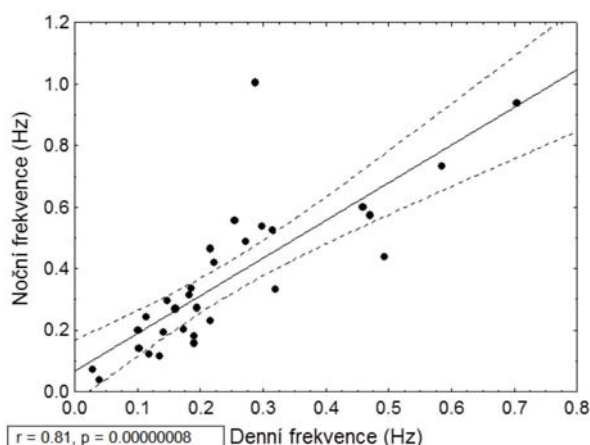


Obr. 4: Poměr noční a denní frekvence mrkání u všech testovaných osob. Plná čára představuje průměr celého souboru, tečkovaně je vyjádřen 95% interval spolehlivosti průměru.

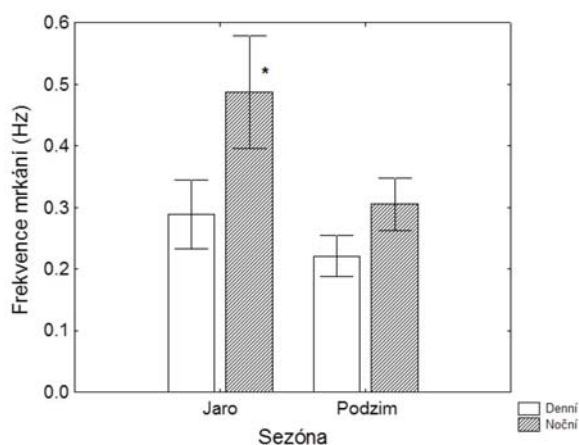
Z hlediska intraindividuálních rozdílů je frekvence mrkání pro daného jedince relativně stabilní, o čem svědčí významná pozitivní korelace ($r = 0,81$, $p < 0,00001$) mezi frekvencí mrkání ve dne a v noci (obr. 5).

Roční období

Frekvence mrkání ve dne se neliší na jaře a na podzim ($t = 2,05$, $p = 0,28$), zatímco noční frekvence byla vyšší na jaře než na podzim ($t = 2,05$, $p = 0,049$) (obr. 6).



Obr. 5: Korelace mezi denní a noční frekvencí mrkání.



Obr. 6: Vliv roční doby na denní a noční frekvenci mrkání. Data představují průměr \pm SEM; * $p < 0.05$.

Diskuse a závěry

Naše výsledky potvrzují nálezy ostatních autorů (Barbato et al. 2000) o vyšší frekvenci mrkání ve večerních a nočních hodinách než v denních hodinách. Na základě tohoto zjištění je nutné stanovit individuální mezní frekvenci indikující nebezpečnou únavu, která spouští výstražný akustický signál.

Vyšší noční frekvenci mrkání na jaře než na podzim si můžeme pravděpodobně vysvětlit komplexem fenoménu „jarní únavy“ (zejména vitaminovým, nutričním nebo imunitním deficitem po zimním období) nebo rozdílnou dopaminergní aktivitou, u které byl prokázán sezónní efekt (Eisenberg et al. 2010). Zvýšená frekvence mrkání může odrážet aktivaci dopaminergního systému, který působí proti usínání (Barbato et al. 2007).

Vzhledem ke značným individuálním rozdílům ve frekvenci mrkání u různých osob, bude při prvním spuštění OPTUSu stanovena referenční frekvence mrkání v bdělém stavu. Tato úroveň zůstává v paměti elektroniky. K ní je vztaženo statisticky významné

zvýšení frekvence, odpovídající nebezpečné úrovni únavy. Při dosažení nebezpečné úrovně únavy řidiče reaguje systém výstražnými signály pozorujícími na riziko mikrosnání. Pokud řidič jízdu nepřeruší a neodpočine si, bude únavový senzor řidiče opakovaně výstrahou upozorňovat na nebezpečí usnutí. Vypnutí únavového senzoru se provede sejmutím brýlí z očí. Jeho zapnutí je provedeno automaticky nasazením brýlí s únavovým senzorem na oči. Základní koncepcí únavového senzoru ve finálním provedení je upozornění řidiče na možné nebezpečí a je pouze na něm, jak se dále rozhodne.

OPTUS je funkční za tmy i za plného denního i umělého světla. Jeho funkce není ovlivňována vnějšími vlivy, jako jsou teplota, vlhkost a také nočním osvětlením světlých protijedoucích vozidel.

Pro praktické využití bylo zapotřebí ověřit subjektivní pozorování o tom, že frekvence mrkání je před usínáním častější než v bdělém stavu. Velmi důležité bylo stanovit hranici, kdy se tato frekvence blíží kritické hodnotě signalizující usínání. Pro ověření budou provedena další pozorování s využitím varující akustické stimulace s individuálně zvolenou hranicí násobku spontánní frekvence mrkání.

Poděkování

Práce byla podpořena programem PRVOUK P34.

Literatura

1. Barbato, G., De Padova, V., Paolillo, A. R., Arpaia, L., Russo, E., Ficca, G. *Increased spontaneous eye blink rate following prolonged wakefulness*. *Physiology & Behavior* 2007; 90:151–154.
2. Barbato, G., Ficca, G., Muscettola, G., Fichele, M., Beatrice, M., Rinaldia, F. *Diurnal variation in spontaneous eye-blink rate*. *Psychiatry Research* 2000; 93:145–151.
3. Boverie, S., Giralt, A. *Driver vigilance diagnostic based on eyelid movement observation*. Proceedings of the 17th World Congress, The International Federation of Automatic Control Seoul, Korea, 2008; 12831–12836.
4. Eisenberg, D. P., Kohn, P. D., Baller, E. B., Bronstein, J. A., Masdeu, J. C., Berman, K. F. *Seasonal effects on human striatal presynaptic dopamine synthesis*. *J Neurosci*. 2010; 30:14691–14694.
5. Faber, J., Pěkný, J., Pieknik, R., Tichý, T., Faber, V., Bouchner, P., Novák, M. *Simultaneous recording of electric and metabolic brain activity*, *Neural Network World* 2010; 20:539–557.
6. Faber, J., Novák, M. *Thalamo-cortical reverberation in the brain produces alpha and delta rhythms as iterative convergence of fuzzy cognition in a stochastic environment*. *Neural Network World* 2011; 21:169–192.
7. Heitmann, A., Guttkuhn, R., Aguirre, A., Trutschel, U., Moore-Ede, M. *Technologies for the monitoring and prevention of driver fatigue*. Proceedings of the First International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design 2001; 81–86.
8. Lal, S. K. L., Craig, A. *A critical review of the psychophysiology of driver fatigue*. *Biological Psychology* 2001; 55:173–194.

9. Macaš, M., Vavrečka, M., Gerla, V., Lhotská, L. *Classification of the emotional states based on the EEG signal processing*, Proceedings of 9th International Conference on Information Technology and Applications in Biomedicine [CD-ROM]. Piscataway: IEEE, 2009.
10. Philipp, P., Caffier, P. P., Erdmann, U., Ullsperger, P. *Experimental evaluation of eye-blink parameters as a drowsiness measure*. Eur J Appl Physiol 2003; 89:319–325.
11. Stern JA, Boyer D, Schroeder D. Blink rate: A possible measure of fatigue. Human Factors 1994; 36:285-297.
12. Sýkora, O., Novotný, S., Bouchner, P. *Objective Assessment of Drivers Performance Impaired by Drowsiness*. In: Advances in Sensors, Signals, Visualization, Imaging and Simulation. Athens: WSEAS Press, 2012, vol. 1, p. 259-263.
13. Verwey, W. B., Zaidel, D. M. *Predicting drowsiness accidents from personal attributes, eye blinks and ongoing driving behaviour*. Personality and Individual Differences 2000; 28:123-142.

Prof. MUDr. Richard Rokyta, DrSc.
Univerzita Karlova v Praze, 3. lékařská fakulta
Ústav normální, patologické a klinické fyziologie
Ke Karlovu 4
120 00 Praha 2

E-mail: richard.rokyta@lf3.cuni.cz
Tel.: 224 923 928