

VLIV HLUKU NA NĚKTERÉ FUNKCE KARDIOVASKULÁRNÍHO A RESPIRAČNÍHO SYSTÉMU

Mjr. MUDr. Jiří CHALOUPKA, CSc.
Vojenská lékařská akademie JEP, Hradec Králové
(rektor: plk. prof. MUDr. Josef Fusek, DrSc.)

Úvod

Mechanismy řízení oběhových funkcí organismu představují velice komplikovaný systém. Funkce kardiovaskulárního systému jsou neustále kontrolovány řadou nervových a hormonálních pochodů, které působí celkově i místně v periferních oblastech (1). Složitě vztahy existují mezi různými centry v centrálním nervovém systému, baroreceptory a chemoreceptory, vegetativním nervovým systémem i psychickými a somatickými vlivy na organismus. Celý složitý systém je možno narušit například opakovaným působením stresových faktorů na organismus (2). Konečným výsledkem potom může být narušení funkce kontrolního systému řízení oběhových funkcí se vznikem onemocnění kardiovaskulárního aparátu (3). Jedním z nejrozšířenějších stresových faktorů je hluk, který kromě primárního působení na akustický aparát ovlivňuje sekundárně i činnost nervového systému. Hlukovou stimulaci jsme proto použili jako faktor, který nespecificky prostřednictvím vegetativního nervového systému může ovlivnit funkce kardiovaskulárního systému a způsobit změny jeho činnosti, které jsou velice diskrétní a dosud užívanými vyšetřovacími metodikami jen těžko hodnotitelné. Cílem našeho sledování bylo tedy v experimentálních podmínkách ověřit citlivost nově zaváděné metodiky záznamu R-R intervalů a jeho vyhodnocení pomocí klasických ukazatelů - průměru a rozptylu hodnot, ale také nově studovanou metodou frekvenční a amplitudové analýzy při sledování vlivu působení málointenzivních faktorů životního prostředí na organismus. Další otázkou, na kterou jsme hledali touto cestou odpověď, je nalezení a vývoj metodiky vhodné pro včasnou detekci osob zvýšeně citlivých na hlukovou expozici.

Metodika

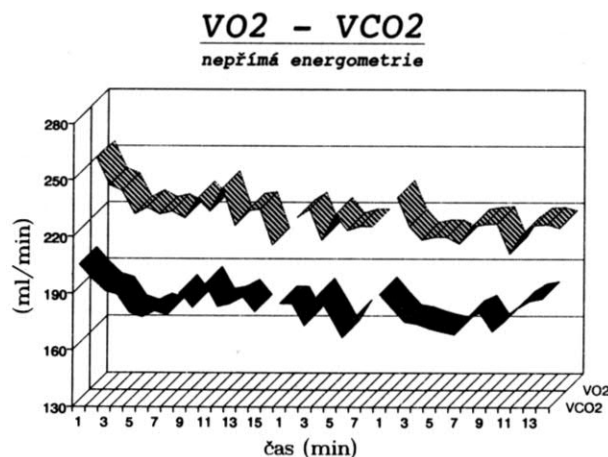
Sledování se zúčastnilo 10 zdravých dobrovolníků, 5 žen a 5 mužů, průměrného věku $40,2 \pm 9,4$ let, hmotnosti $77,2 \pm 14,9$ kg a hodnoty BMI $24,8 \pm 3,6$ kg/m². V den sledování byli všichni nalačno nebo minimálně 3 hodiny po posledním jídle. Před zahájením sledování byli všichni seznámeni s vyšetřovacím protokolem. R-R intervaly byly snímány modifikovaným EKG systémem. Kolem hrudníku jim byly gumovým pásem připevněny EKG elektrody pro neklidové podmínky v 5. mezižebří vlevo i vpravo v axilárních čarách s indierentní elektrodou v levé skapulární čáře. Signál byl veden do tranzistorového kardiografu, zesílen a přes digitální kardiograf VTS MON veden dále do osobního počítače doplněného speciální elektronickou kartou a vybaveného programem pro záznam a vyhodnocení R-R intervalů. Současně se záznamem R-R intervalů jsme

prováděli vyšetření spotřeby kyslíku a výdeje oxidu uhličitého nepřímým kalorimetrem DELTATRAC firmy DATEX (Finsko), který pracuje pomocí canopy systému. Současný záznam R-R intervalů a klidového energetického výdeje zahrnoval 15 minut úplného klidu, 6 minut hlukové stimulace a následujících 15 minut sledování uklidňovací reakce. Hluk byl aplikován binaurikálně do sluchátek. Použili jsme čistý tón 125 Hz při hladině intenzity 80 dB. Zdrojem hluku byl velký klinický audiometr MA 30 Pracitronic (NDR).

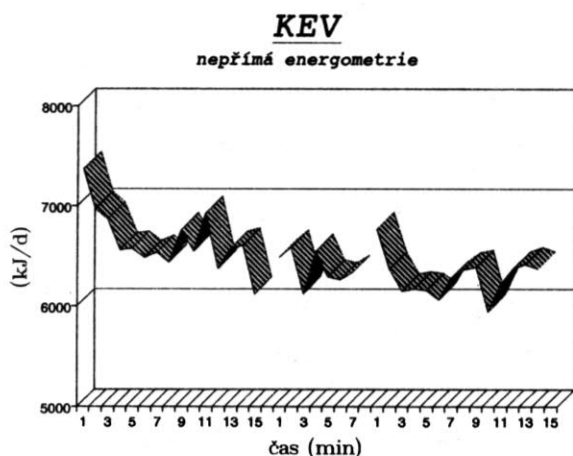
U minutových úseků záznamu R-R intervalů jsme hodnotili průměrné hodnoty časové vzdálenosti mezi sousedními R kmity EKG záznamu a jejich rozptyly. Pomocí rychlé Fourierovy transformace jsme prováděli orientačně analýzu spektrálního složení amplitud a frekvencí vyskytujících se v záznamu. Ze spotřeby O₂ a výdeje CO₂ jsme počítali respirační kvocient a klidový energetický výdej metodou dle Weira (4). Všechny naměřené hodnoty jsme vzájemně proti sobě statisticky hodnotili párovým t-testem, průměrné hodnoty pak dvouvýběrovým t-testem.

Výsledky

Jak je patrné z obrázku č. 1, spotřeba kyslíku a výdej oxidu uhličitého v prvních 3-5 minutách sledování pozvolna klesají. Po celou následující dobu je kromě drobných výkyvů, které jsou ve fyziologickém rozmezí, patrný vyrovnaný trend těchto veličin snad s nepatrným náznakem pozvolného trvalého snižování naměřených hodnot. Podobný charakter má i vývoj hodnot klidového energetického výdeje (obr. 2). Zde však můžeme výrazněji sledovat náhlé zvýšení hodnoty KEV v okamžiku začátku a konce hlukové stimulace. Hodnoty respiračního kvocientu kolísají nepravidelně kolem počáteční hodnoty. Žádné z popsaných veličin nevykazují statisticky významné změny hodnot naměřených v průbě-



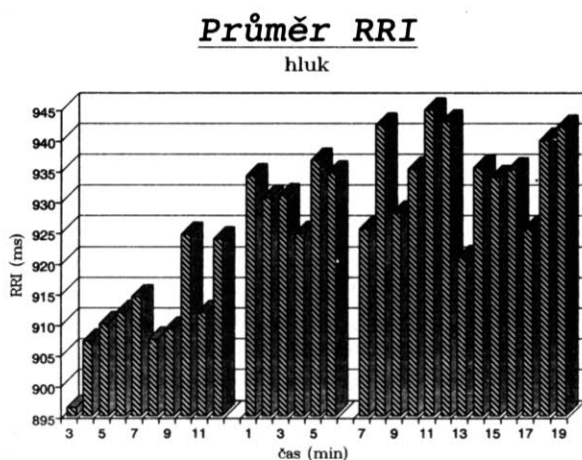
Obr. 1 Vývoj spotřeby kyslíku a výdeje kyslíčnicku uhličitého



Obr. 2 Vývoj hodnot klidového energetického výdeje

hu hlukové stimulace vzhledem k hodnotám naměřeným před zahájením i po skončení hlukové stimulace.

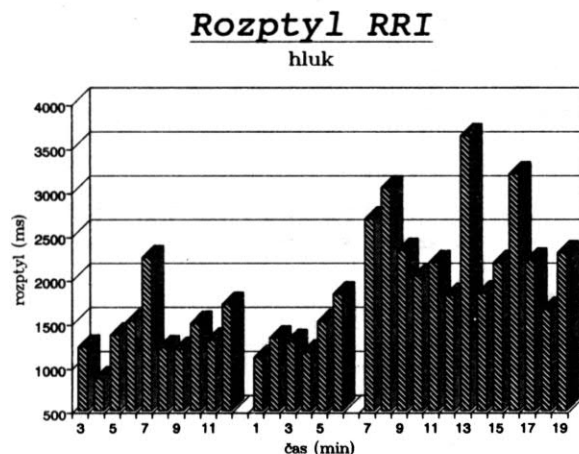
Průměrná délka R-R intervalů v minutových úsecích jeví trend k lehkému vzestupu v průběhu hlukové stimulace (obr. 3). Průměrné hodnoty R-R intervalů



Obr. 3 Průměrné hodnoty R-R intervalů

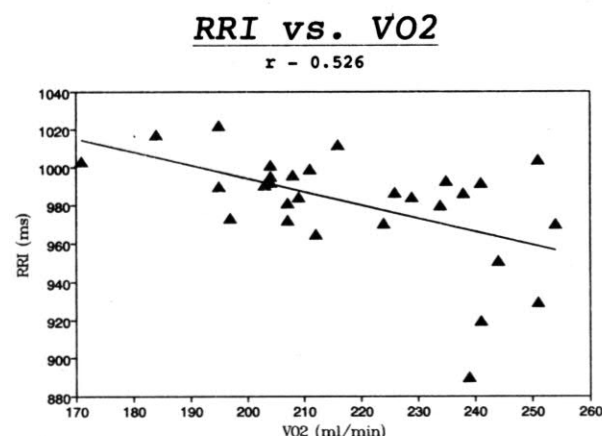
naměřených za klidových podmínek se však statisticky významně neliší od průměrných hodnot naměřených při hlukové stimulaci. V počáteční fázi hlukové stimulace se lehce snižuje rozptyl naměřených hodnot R-R intervalů, který po skončení hlukové stimulace opět stoupá (obr. 4). Statisticky významně se neliší hodnoty rozptylu naměřené v klidu a při hlukové stimulaci, od obou těchto hodnot se však významně odlišuje průměrná hodnota rozptylu naměřená v ukliďovací fázi sledování.

Kromě analýzy vývoje průměrných hodnot R-R intervalů a jejich rozptylu nás rovněž zajímalo, zda mezi oběma veličinami existuje vzájemný vztah. Užítím regresní analýzy jsme se přesvědčili, že mezi průměrnou hodnotou R-R intervalů a jejich rozptylem vnitřní vztahy nejsou. Existuje však



Obr. 4 Rozptyl hodnot R-R intervalů

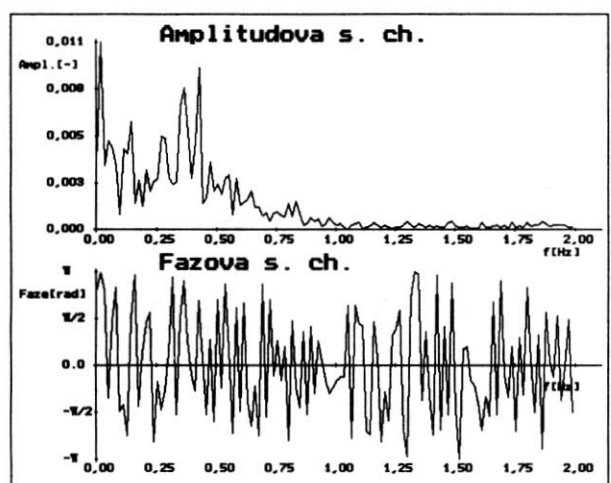
významná lineární závislost mezi průměrnou hodnotou R-R intervalů v minutových úsecích a minutovou spotřebou kyslíku a mezi hodnotou R-R intervalů a velikostí minutového klidového energetického výdeje u jednotlivých osob (obr. 5).



Obr. 5 Regresní analýza vztahu R-R intervalů a spotřeby kyslíku

V celém souboru bez závislosti na konkrétních osobách není tato závislost vyjádřena.

U všech záznamů R-R intervalů jsme prováděli rovněž frekvenční a amplitudovou analýzu v klidových podmínkách ve 3.-6. minutě záznamu, při hlukové stimulaci v 1.-4. minutě a při ukliďování v 10.-13. minutě po skončení hlukové stimulace. Z analýzy autokorelační spektrální charakteristiky výkonového spektra (obr. 6) vyplývá závěr, že v uvedeném sledovaném období je zastoupení frekvencí v záznamech jedné osoby pro tuto osobu charakteristické a nemění se vlivem aplikované hlukové stimulace. Nejvyšší zastoupení v záznamech mají peaky odpovídající velmi nízkým frekvencím, dále vlny v oblasti 0,07-0,12 Hz a konečně vlny s frekvenční charakteristikou 0,25-0,50 Hz. Velikost amplitudy těchto vln není konstantní a závisí na řadě faktorů.



Obr. 6 Amplitudová a fázová spektrální charakteristika záznamu R-R intervalů (J. P., 3.-6. minuta)

Diskuse

Přestože byla stanovena dostatečně dlouhá doba na uklidnění osob před vlastním zahájením sledování, projevuje se jak v naměřených hodnotách spotřeby kyslíku a výdeje oxidu uhličitého, tak i v naměřené průměrné délce R-R intervalů a tedy v hodnotách srdeční frekvence v počáteční fázi sledování změna hodnot, kterou je možno vysvětlit postupným uklidňováním sledované osoby. Určitou negativní roli zde může sehrát vliv nového cizího prostředí, neznámé vyšetřovací metodiky nebo i tzv. předstartovní stav popsané i řadou dalších autorů (5) v různých typech sledování fyziologických funkcí. Svůj vliv zde snad uplatní i pocit očekávání neznámého hluku, který může poněkud zvýšit sympatiku vyšetřovaných jedinců (6). Abychom omezili vliv těchto artefaktů při vyhodnocování naměřených dat, zpracovali jsme do podoby výsledků vždy data počínající 3. minutou od počátku sledování, kdy už dochází ke stabilizaci hodnot. Výraznější změny především v hodnotě klidového energetického výdeje lze pozorovat v intervalech bezprostředně následujících po počátku a ukončení hlukové stimulace. Vysvětlit tento jev je možné zvýšením tonu sympatického nervového systému s následným zvýšením ventilace. Tomuto vysvětlení nasvědčuje i snížení rozptylu hodnot R-R intervalů po zahájení hlukové expozice.

Příčin, proč se vliv hlukové expozice výrazněji neprojevil ve změnách fyziologických ukazatelů, může být celá řada (7). Byl zvolen nízký tón o nepříliš vysoké intenzitě, který se ukázal být poměrně slabým stimulem pro větší aktivaci sympatického nervového systému (8). Jeho monotónní působení mohlo vést k navození mikrospánku u některých vyšetřovaných osob. Tomu by odpovídal i vyšší rozptyl R-R intervalů i pokles výdeje oxidu uhličitého v poslední fázi stimulace. A konečně samotné spuštění hlukové expozice může pro některé osoby znamenat uklidňující prvek, když poznají, že užitá hladina a intenzita hluku nepůsobí nikterak nepříjemně a nemusejí

se už ničeho dalšího obávat. Může se uplatnit i návyk a tolerance tohoto typu nepříliš rušivého hluku (9). Všechny tyto faktory působí na rovnováhu sympatického a parasympatického nervového systému a rozvoj adaptační reakce organismu (10). Důsledkem jejich vlivu je popsán jev vyššího působení změn, tj. spuštění a vypnutí hlukové stimulace, které ovlivní vegetativní nervový systém více než stabilní kontinuální hluková expozice.

Existence negativní korelace mezi hodnotou R-R intervalu, která představuje převrácenou hodnotu srdeční frekvence, a hodnotou spotřeby kyslíku a z ní odvozenou hodnotou klidového energetického výdeje je potvrzením funkčního propojení činnosti kardiovaskulárního a respiračního systému. Těsná závislost mezi hodnotou srdeční frekvence a spotřeby kyslíku je častěji popisována při fyzické aktivitě. Při nízkých klidových hodnotách srdeční frekvence není tato závislost vyjádřena tak výrazně jako při práci, protože se do ní rušivě promítá řada jiných vlivů. Jsou jimi psychické a emoční reakce, metabolické procesy, termoregulační pochody a další vlivy (11). Vyjádřením tohoto složitějšího působení komplexu faktorů je vysoká interindividuální variabilita, kdy stejné hodnotě srdeční frekvence u různých osob odpovídá rozdílná hodnota spotřeby kyslíku a rozdílná hodnota klidového energetického výdeje.

Spektrální analýzou cyklických dějů v organismu se na úrovni základního výzkumu zabývá několik zahraničních i našich pracovišť (12, 13). Jejich zásluhou je klasifikace základních opakujících se rytmů i stanovení jejich původu. Askelrod a další uvádějí, že největší vliv na vznik rytmických procesů vznikajících při činnosti kardiovaskulárního systému mají vegetativní nervový systém a systém renin-angiotenzinový (12). Odpověď parasympatického nervového systému přitom trvá mnohem kratší dobu než odpověď sympatického nervového systému. Zatímco obě složky vegetativního nervového systému jsou schopny modulovat kolísání srdeční frekvence v nízkofrekvenčním pásmu, pouze parasympatický nervový systém reaguje dost rychle, aby mohl ovlivnit vysokofrekvenční (dýchací) nebo středněfrekvenční kolísání rytmu. Systém renin-angiotenzin ovlivňuje hlavně amplitudu jednotlivých vln svým působením na periferní vazomotorický tonus (12).

Frekvenční analýza rozlišuje 3-4 hlavní frekvenční pásma rytmů kardiovaskulárního systému (14). Prvním pásmem jsou vlny o frekvenční charakteristice 0,03 až 0,06 Hz. Tato nízkofrekvenční oblast vynikne při vyhodnocení delšího záznamu (20 minut) a je způsobena změnami krevního tlaku zprostředkovanými baroreflexy, vlivem vazomotorického a kardiinhibičního centra centrální nervové soustavy a pomalými změnami v hloubce a frekvenci dýchání.

Další oblast středních frekvencí představuje frekvenční rozmezí 0,07-0,12 Hz. Tento takzvaný "10 - s rhythm" odpovídá respirační arytmií a je vyšší u osob s vyšším tonusem parasympatiky. Může být používán jako indikátor kvality spánku. Ruší ho zvýšená aktivita sympatického nervového systému, nebyl pozorován u hypertoniků, v časných fázích po infarktu myokardu nebo po aplikaci betablokátorů. Zvýrazněn je při vyšší dechové frekvenci, mizí u osob dýchajících pomalu. Mechanismy

původu respirační arytmie jsou centrální i periferní (12). Uplatňuje se baroreflex způsobený dýchacími pohyby hrudníku a pravděpodobně i stimulací receptorů v srdečních síních. Reflexně je inhibováno kardiinhibiční centrum vzruchu z mechanoreceptorů uložených ve stěně hrudníku a v plicích. Uplatňuje se i iradiace aktivity z dýchacího do kardiinhibičního centra.

Konečně oblast vysokých frekvencí reprezentuje pásmo 0,13-0,50 Hz. V této oblasti se zaznamenávají hlavně dýchací vlny a má blízké spojení s pásmem respirační arytmie.

Přestože stresové faktory vyvolávající zvýšený tonus sympatického nervového systému ruší a mění výrazné cyklické prvky v analýze záznamu srdeční frekvence, popsání hlukové stimulace byla příčinou hlavně změny amplitud při velmi stabilním frekvenčním zastoupení zaznamenaných vln. Stresující účinek aplikovaného hluku nebyl natolik intenzivní, aby se projevil významnými změnami frekvenčních charakteristik záznamu.

Závěr

Uvedená práce je prvním komplexním příspěvkem při zavádění metodiky snímání a vyšetřování kardiovaskulárních rytmů ve spojení s dalšími fyziologickými vyšetřovacími metodami. Metodika snímání a hodnocení R-R intervalů neinvazivně a bez zvýšené zátěže pro pacienta doplňuje vyšetřovací spektrum v oblasti hodnocení vegetativních funkcí osob. Z naznačených výsledků vyplývá, že při vhodně zvolených experimentálních podmínkách se může tato užitá kombinace metod stát citlivým a vhodným nástrojem ke sledování vlivu působení málointenzivních faktorů zevního prostředí na organismus. Uvedené výsledky jsou úvodem do dalšího širšího sledování fyziologických funkcí organismu při užití různých druhů hluku o rozdílném frekvenčním složení a při různých intenzitách. Plánujeme také sledování za působení rozdílných dalších málointenzivních faktorů zevního prostředí.

Souhrn

U deseti zdravých dobrovolníků jsme sledovali, jak se projeví vliv hlukové stimulace 125 Hz 80 dB v rovnováze vegetativního nervového systému ovlivňující kardiovaskulární činnost a spotřebu kyslíku. V klidu, při šesti-minutové stimulaci a opět v klidu jsme zaznamenávali délku všech R-R intervalů EKG záznamu, spotřebu kyslí-

ku a výdej CO_2 v minutových intervalech. Největší odchylky od klidových hodnot byly naměřeny na počátku a po skončení hlukové stimulace. Existuje vzájemný vztah mezi délkou R-R intervalů a spotřebou kyslíku u jednotlivých osob. V celém souboru bez závislosti na konkrétních osobách však tato závislost chybí. Ve sledovaném období je zastoupení jednotlivých frekvencí při spektrální analýze rytmů srdeční činnosti pro danou osobu charakteristické a nemění se po celou dobu sledování. Velikost amplitudy jednotlivých vln však závisí na řadě faktorů.

Při vhodně zvolených experimentálních podmínkách může být popsána metoda citlivým neinvazivním nástrojem přispívajícím k hodnocení vlivu málointenzivních faktorů zevního prostředí na organismus.

Literatura

1. GUYTON, A. C. - COLEMAN, T. G. - GRANGER, H. J.: Circulation: overall regulation. *Ann. Rev. Physiol.*, 34, 1972, 66-72.
2. MARTINÍK, K.: Vybrané kapitoly z hygieny. Učební text, sv. 251. Hradec Králové, VLA JEP 1989. 242 s.
3. MARTINÍK, K. - OPLTOVÁ, L. - VOPLATEK, V.: Nespecifické působení hluku na organismus. *Acta hyg. epidemiol. microbiol.*, příloha č. 19, 1988, s. 14-15.
4. WEIR, J. B. W.: New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J. Physiol.*, 109, 1949, s. 1-9.
5. BEAVER, W. L. - WASSERMANN, K.: Transients in ventilation at start and end of exercise. *J. appl. Physiol.*, 29, 1970, s. 283-293.
6. ARGUELLES, A. E. et al.: Pituitary - adrenal stimulation by sound of different frequencies. *J. clin. Endoc.*, 1972, č. 22, s. 846.
7. DISK, F. J. M. van - ETTEMA, J. H.: Non auditory effects of noise in industry. *Int. Arch. occup. environ. Hlth*, 58, 1986, č. 4, s. 321-323.
8. MARTINÍK, K. - CHALOUPKA, J.: Nespecifická odpověď organismu na působení hluku. *Inform. Zprav. VLVDÚ JEP Hradec Králové*, 28, 1987, č. 4, s. 5-46.
9. BATTIG, K.: A field study on vegetative effects of aircraft noise. *Arch. environ. Hlth*, 35, 1980, č. 4, s. 228.
10. MEERSON, F. Z.: Adaptation, stress and prophylaxis. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo 1984. 330 s.
11. ASTRAND, P. O. - RODAHL, K.: Textbook of work physiology. New York, McGraw-Hill 1970.
12. ASKELROD, S. et al.: Powerspectrum analysis of heart rate fluctuation: A quantitative probe of beat - to - beat cardiovascular control. *Science*, 213, 1981, s. 220-222.
13. HONZÍKOVÁ, N.: Spectral analysis of circulatory rhythms. In: Sborník prací LF MU Brno. 105. Brno 1990, s. 5.
14. SWENNE, et al.: The cardiac rhythm as a measure for the neuro-humoral control of the heart. In: *Proc. Biosignal 90*, Brno 1990, s. 94-97.

Klíčová slova: Nepřímá kalorimetrie; EKG; R-R intervaly; Frekvenční analýza; Hluk.