

UTILIZATION OF BIOFEEDBACK FOR EXAMINATION OF DIFFERENCES IN REACTION TO WORKLOAD BETWEEN INCHOATIVE PILOTS AND CHOSEN STUDENTS OUTSIDE OF TRAINING PROGRAM

VYUŽITÍ BIOLOGICKÉ ZPĚTNÉ VAZBY PŘI MĚŘENÍ ROZDÍLU REAKCE NA PRACOVNÍ ZATÍŽENÍ ZAČÍNÁJÍCÍCH PILOTŮ A VYBRANÝCH STUDENTŮ MIMO VÝCVIK

Adam Novák
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
novak.adam305@seznam.cz

Iveta Škvareková
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
skvarekova@fpedas.uniza.sk

Abstract

Paper describes research applications of biofeedback on psychological resistance analysis. Using scientific methods paper evaluated influence of stress and mental resistance of probands: pilots in training so-called cadets and volunteers not involved in piloting of any kind, so-called „nonpilots“. Devices Muse 2 and CorSence Elite are used to examine R-R intervals, sympathetic/parasympathetic activity ratio and brain activity during each examination sessions. Theses also aim at answering two core hypotheses. Do the pilots have greater mental resistance against stress due to training and frequent exposure to a highly stressful environment? And, are we able to find the answer to the previous question using the biofeedback examination method? Nonpilot group had 2,47 times thinner R-R interval than the pilot group and also had SNS index 1,77 times higher than the one in the pilot group. Unusual data can be observed once we look at the PNS index. According to data calculations, the final PNS index in the pilot group is 0,816 and the nonpilot group 0,7075 This situation can be described by the known effect of physical subsystems which can deviate these indexes. Significant differences between examined values verify hypothesis which says frequent exposure to highly stressful environment causes high mental resistance against stress for pilots. It is also safe to say that cardiologic biofeedback is a reliable tool for complex examination of induces stress levels. It wasn't managed to verify MUSE 2 technology due to inconclusive data. It is believed that distortion of data from MUSE 2 is a consequence of a hygienic face mask. This exposure of its weakness shows brand new information for using such technologies.

Keywords

Electroencephalograph, Heart rate variability, stress, pilots, R-R interval, sympathetic, parasympathetic

1. Úvod

Letecká doprava, potažmo role pilota je hodnocena jako jedna z psychicky nejnáročnějších pracovních pozic na světě. Tuto skutečnost dokazují nejen zkušenosti pilotů, ale také všeobecné postupy a nároky při přijímání pilotů do výcviku. Vrcholná prestiž a společenský respekt povolání letce je sklouben s jistou dávkou exkluzivity. Proto se při výběru práce pilota přihlíží k mnoha specifickým aspektům budoucího povolání. Lze jednoznačně konstatovat, že při výběru tohoto povolání musí uchazeč vykazovat perfektní fyzický i psychický stav. Bez tohoto požadavku nelze vůbec o pozici pilota uvažovat.

V současných podmínkách jsou piloti pravidelně podrobováni testování jak fyzických tak psychických předpokladů.

Výkon pilotů a uchazečů se může v průběhu času vyvíjet a měnit. Co hraje důležitou roli v této oblasti? Stres a psychická odolnost.

Práce, která je zde představena, se zabývá výzkumem psychické odolnosti v kontextu měření pomocí metody biofeedbacku. Tato metoda je známá od 60. let 20. století z výzkumů Joela Kamiyo. Cíl práce se zaměřuje na měření, porovnávání, analyzování

a hodnocení vlivu stresu a psychické odolnosti dvou skupin probandů: začínající piloti ve výcviku „tzv. kadeti „a vybraná skupina studentů mimo pilotní výcvik: „tzv. nepiloti“.

Na základě verifikace dvou hypotéz ověřujeme data naměřená v kontextu zjištění odpovědí na otázky: Mají piloti díky výcviku a pravidelnému vystavování se prostředí s vysokou psychickou zátěží vyšší rezistenci proti stresu než ostatní probandi? A druhou, zda je možné pro nalezení odpovědi využít metodu měření biologické zpětné vazby. Byl vymezený pojem biofeedback (dále BFB), stres, EEG, fenomén Heart Rate Variability(dále HRV) konkrétně vývoj R-R intervalů a poměr aktivity sympatických a parasympatických nervů v čase při simulovaných zátěžových situacích. Použitými přístroji jsou Muse 2 a CorSence Elite jež umožnily naměření.

2. Biofeedback

„Zpětná vazba, anglicky „feedback“ je pojem, který se stal technickým termínem před 60 lety, kdy nastupovala éra kybernetiky. Má téměř stejný význam jako obecnější slovo sebekontrola. I na vyšší hladině nervové činnosti si vědomě

i zcela nevědomě kontrolujeme své chování. Současná moderní elektronika nám dovoluje uvědomovat si své tělesné i psychické stavy lépe než naše vlastní senzorní orgány.“ [8]

Během studií využití biofeedbacku se soustavně klade důraz na spojení určité hodnoty tělesné homeostázy (jejíž udržení je podle BFB zásadní) se schopností učení se, pamatování si a také soustředění.

Lévesque et al. (2006) použili neurofeedback u 20 dětí se syndromem ADHD. Klinický experiment byl doprovázen kontrolní fMRI a Stroopovým testem. Stroopův test je v podstatě test na schopnost potlačovat funkční fixaci, např. slovo „červený“ je napsáno modře. Proband má za úkol říci buď správně barvu, nebo správně přečíst napsané slovo. Tyto dvě informace se díky rozporu mezi barvou písmen a významem slova navzájem pletou. Výsledky byly opět nadějně, latence správné odpovědi se po neurofeedbacku zrychlila. Ukázalo se, že neurofeedback má schopnost zlepšit funkce některých mozkových struktur, např. zvýšit metabolismus horního temenního malého laloku vlevo a přední části již výše jmenovaného gyrus cinguli.“[8]

Výzkumná práce je založena na využití těchto poznatků pro analýzu dysbalance organismu, která je důsledkem reakce na stresovou situaci vůči homeostázi naměřené při klidovém stavu před samotným testem. Pro tyto účely byla použita metoda biofeedbacku z 20. století zvaná vícekanalový biofeedback.

„V současnosti se propojují staré klinické práce i našich neurovědců (Faber, Tuháček, Měšťan, 1973) s klinickými aplikacemi vícekanalového biofeedbacku (EEG + HRV + RSA + EDR + GSR+ EMG), které jsou vedeny s ohledem na individuální psychofyziologický profil klienta.“[8]

Respektive omezenou verzi, při které využijeme EEG (elektroencefalogram) a HRV (heart rate variability).

3. Měřicí přístroje

Práce vyžaduje měření pomocí přesného přístroje, který umožňuje monitorovat mozkovou a srdeční aktivitu probandů v průběhu zátěžových testů. K takovému měření je nezbytné použít systémy elektroencefalogramu (EEG) a elektrokardiogramu (EKG), jež bychom normálně hledali zejména ve specializovaných zdravotnických zařízeních. Vzhledem k povaze práce je pochopitelně nepraktické provádět zátěžové testy v nemocnicích nebo jiných specializovaných zdravotnických institucích, či si pronajímat velice drahá zařízení. Z tohoto důvodu byly ve výzkumné části práce zvoleny přístroje Muse 2 a HRV CorSense Elite.

3.1. MUSE 2

Přístroj Muse 2 je celosvětově rozšířený prostředek pro měření mozkové aktivity, jenž převádí analytické schopnosti EEG do malého zařízení připomínající čelenku. Má široké spektrum využití, od meditační pomůcky, přes tréninkový nástroj ve vrcholových sportech, až po vědecké výzkumy. Právě díky řadě předešlých úspěchů, jednoduché aplikaci a jasně a přesně formulovaných výstupu z měření je Muse 2 ideálním přístrojem pro zaznamenávání, analyzování a vyhodnocování reakce organismu probandů na zátěžové situace.

Z historie zařízení Muse 2 vyplývá, že primárně vzniklo díky úsilí týmu kanadských vědců z technologického institutu Interaxon Inc. Otcem zařízení a také autorem výzkumu měření tělesné aktivity pomocí přístroje Muse 2 je vynálezce a vědec Christopher Allen Aimeone. Muse 2 obsahuje sedm mozkových EEG senzorů. Dva na čele, dva za ušima a tři referenční senzory. Výsledné informace ze zaznamenaných dat se v reálném čase nahrávají do aplikace v telefonním zařízení, kde jsou uloženy, a je možné je dále analyzovat, porovnávat a vyhodnocovat.

3.2. CorSense Elite

Měřicí zařízení CorSense je novinkou na poli měření HRV. Kombinuje nejnovější technologie a znalosti z oboru analýzy srdeční činnosti díky čemuž neinvazivním způsobem získává velice přesná data v reálném čase. Zařízení se pro optimální použití aplikuje na ukazováček, který svírá v oblasti nehtové ploténky a svým tvarem připomíná standardní v medicíně používaný přístroj zvaný oximetr.

Za vývojem CorSense stojí firma HRV Elite založená roku 2017 ve státě Severní Carolina. Společnost se specializuje na vývoj měřicího vybavení a vědeckou činnost v oblasti HRV ve spolupráci s Harvard University, Texas university at Austin a dalšími partnery. Zakladateli jsou Jason Moore, Vivek Menon a Alyssa Moore. CorSense pro měření využívá tři světlené LED vysílače s měnitelnou vlnovou délkou, 5 fotodetektorů viditelného světelného spektra a jeden infračervený detektor. Naměřená data jsou zaznamenávána a uchovávána v přístroji vybaveném kompatibilním softwarem pro další analýzu.

4. EEG

„Z historického hlediska bylo EEG poprvé popsáno v roce 1875 Richardem Catonem, který zaznamenal mozkové vlny u králíků a opic. Caton se u těchto zvířat dále také zabýval studiem lokalizace senzorních částí mozku pomocí světelných záblesků. Předpokládal, že světelné záblesky coby stimuly povedou ke změně mozkové činnosti v oblasti týlního laloku. Z hlediska funkčních stavů centrálního nervového systému a bioelektrické aktivity je důležité, že pro vznik jakéhokoliv elektrického potenciálového rozdílu je rozhodující nerovnoměrné rozložení kationtů a aniontů na rozhraních buňky, respektive mezi vnitřním a zevním prostředím neuronu. Elektrická aktivita mozkové kůry je dána výsledkem sumace především postsynaptických a akčních potenciálů korových neuronů. Významný podíl má aktivita talamických neuronů. Za vznik EEG jsou tedy zodpovědné především korové neurony a talamokortikální okruhy. Mozkovou tkáň si můžeme představit jako určitý prostorový elektrický vodič mající dvě základní vlastnosti, a to stejnosměrný potenciál a impedanci:

Stejný potenciál je dán potenciálovým rozdílem mezi dendrity, axony a těly velkých neuronů. Hodnotí se u něj polarita (+/-) a stabilita.

Impedance představuje odpor mozkové tkáně proti průchodu střídavého proudu. Absolutní hodnota impedance je dána v závislosti na frekvenci střídavého proudu.

Elektroencefalograf je přístroj, který vytváří sumační záznam oscilací elektrické aktivity velkého množství neuronů mozku (s určitým podílem neuroglii). Podle Coloumbova zákona platí, že zaznamenáváme aktivitu především z povrchových

mozkových struktur. Coloumbův zákon vyjadřuje vztah mezi elektrickým nábojem a elektrickou silou. Říká, že velikost elektrické síly, kterou na sebe působí dvě tělesa, je přímo úměrná velikosti nábojů a nepřímo úměrná druhé odmocnině jejich vzdálenosti. Měření EEG se realizuje pomocí elektroencefalografu. Záznamem je elektroencefalogram. Prostřednictvím elektrod, které jsou umístěné na mezinárodně určených místech na povrchu hlavy, se snímá elektrická aktivita mozku, tj. její projevy v podobě mozkových vln. Měřená mozková aktivita z elektrod umístěných na hlavě je pochopitelně nižší než měřená elektrická aktivita elektrod přiložených přímo na povrch mozkové kůry – elektrokortikografie (ECoG). To je dáno tím, že elektrická aktivita musí projít mozkovými plenami, tekutinou – mozkomíšním mokem, kostí a kůží, než se dostane k připojené elektrodě. Elektrokortikogram je měřen v milivoltech (mV), elektroencefalogram v mikrovoltech (μ V). Technicky lze záznam EEG provádět bipolárně a unipolárně. [9]

Pro potřeby výzkumu byl využit bipolární záznam, který poskytuje zařízení Muse 2. Výstupem takového zařízení jsou mozkové vlny, jež znázorňují mozkovou aktivitu. Tyto vlny rozdělujeme podle charakteru situací ve kterých se objevují, nebo jsou zvláště silně aktivní, či naopak potlačené. Pásma vln jsou: Alfa, Beta, SMR, Gama, Delta, Théta, Kappa a Lambda.

Náš zájem při analýze probandů pomocí EEG byl soustředěný na zaznamenání změny mozkové aktivity probandů s důrazem na pomalé vlny alfa a beta. Výstup aplikace poskytnuté týmem vynálezců zařízení MUSE 2 byla frekvenční analýza zaznamenaná do podoby encefalogramu.

Pro vyhodnocení výsledku bylo zásadní zvolit optimální cestu analýzy získaných dat. Standardně jsou získaná data pomocí elektroencefalografu hodnocena čtyřmi způsoby: analýza amplitud vlny, korelační analýza, spektrální analýza a topografické mapování EEG aktivity.

„Analýza amplitud vln je založena na měření průměru amplitud. Můžeme například v testové situaci postupovat takto: po stimulu, na který jedinec reaguje, si změříme velikost každé vlny (resp. vzdálenost od vrcholu k vrcholu – peak to peak) v průběhu 10 sekund a následně spočítáme průměr. To samé však uděláme i v úseku 10 sekund před stimulem, abychom pak mohli dané průměry mezi sebou statisticky porovnat.

Korelační analýza je dalším typem analýzy amplitud vln. Spočívá ve sledování a určení velikosti vztahu (korelace) mezi dvěma či více EEG signály na stejné straně měření v systému 10–20. Dále v tomto zaměření existuje zkřížená korelace, v níž měříme vztahy mezi odlišnými polohami elektrod, například mezi levou a pravou hemisférou mozku.

Spektrální analýza (power spectrum analysis) – je založena na analýze amplitudy a rychlé Fourierově transformaci (FT), jež představuje frekvenční spektrum, které daný signál transformuje do specifických vln funkcí sinusových či kosinusových. Výsledný graf se nazývá výkonově spektrální (power spectrum plot). Spektrální analýza patří mezi nejstarší a nejrozšířenější metody používané při zpracování signálu EEG. Signál získaný z EEG je výrazně nestacionární, a proto je nutné rozdělit ho na kratší časové úseky, které za stacionární lze považovat. Na stacionární úseky již můžeme aplikovat spektrální analýzu, s jejíž pomocí následně transformujeme signál z časové oblasti do frekvenční, což nám umožní určit frekvenční pásma

a jejich zastoupení v signálu. Výstupem může být například uvedené spektrum alfa aktivity.

Topografické mapování EEG aktivity (také brain electrical activity mapping – BEAM) je založeno na simultánním měření a analýze frekvencí EEG a velikosti amplitud evokovaných potenciálů (ERPs) z více umístěných elektrod. Výsledky se pak znázorňují na topografické mapě v podobě barevného označení (hodnoty jsou dány příslušnou barvou), například červená a zelená barva signalizují vysoké frekvence a ostatní barvy, modrá a bílá, signalizují nízké frekvence.“[9]

5. Heart Rate Variability

Princip parametru HRV vychází ze zaznamenání funkce orgánu srdce, určuje hodnoty tlaku v oběhové soustavě a R-R interval srdce. Srdce jako orgán je řízené autonomní nervovou soustavou, která se skládá z nervů sympatických a parasympatických. Nepřímo se do regulace srdeční činnosti zapojují také baroreceptory umístěné v oblouku aorty. Úlohou těchto biologických činitelů je zajišťovat celkovou tělesnou homeostázi. Průběh práce tohoto systému a stejně tak jeho efektivita, není u všech lidí stejná, což dokazuje právě výzkum v oblasti HRV (heart rate variability).

„Každý orgán má vlastní regulaci svého krevního oběhu odvozenou od akutních potřeb dodávky kyslíku a živin a odvodu metabolitu. Jde o regulační mechanismy fylogeneticky nejstarší, nejjednodušší a tedy i nejspolehlivější. Jejich cílem je udržení rovnováhy mezi metabolickými potřebami orgánu a velikostí krevního průtoku orgánem. Látky, jako například kyslík, které jsou nutné pro zajištění metabolismu, nebo naopak vznikající metabolity (především CO₂, ale i kyselina mléčná, adenosin a další) působí na hladké svaly cév buď přímo, nebo častěji přes endotelové receptory a s nimi spojenou produkci NO a tak ovlivňují jejich tonus. Jde tedy o regulaci humorální fungující na principu klasické zpětné vazby- vazodilatace a tedy i zvýšené prokrvení jsou přímým důsledkem zvýšení metabolismu daného orgánu.“[1]

Metabolická regulace je tedy ve svém jádru záležitostí nervových spojů a v tomto případě hrají největší roli nervy sympatiku, které ovlivňují rychlé (krátkodobé) celkové regulační mechanismy. Právě tyto mechanismy budou ve středu zájmu výzkumu..

Pomocí mikropočítačových systémů je možné zaznamenávat jednotlivé parametry variability srdeční frekvence a následně je interpretovat. Pomocí Fourierovy transformace je signál možný rozdělit do třech základních pásem (Akselrod et al., 1981):

HF (high frequency 0,15–0,40 ms²) odpovídá kardiální vagové aktivitě (Task Force, 1996). Toto frekvenční pásmo se v současnosti používá nejvíce pro predikci aktivity ANS.

LF (low frequency; 0,04–0,15 ms²) ve starších pracích (např. Yeragani et al., 1997) je toto pásmo hodnoceno jako aktivita sympatiku. Současnější výzkumy upozorňují na nejednoznačnou interpretaci tohoto pásma. Zřejmě souvisí s aktivitou jak sympatiku, tak parasympatiku (Moak et al., 2007; Goldstein et al., 2011).

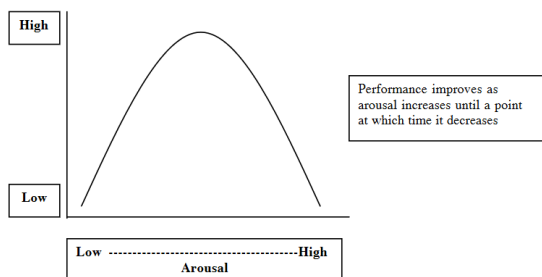
VLF (very low frequency; 0,0033–0,04 ms²) souvisí s termoregulací, periferním vasomotorickým tonem, systémem rennin-angiotensin-aldosteron (Javorka et al., 2008). Jiný pohled

má Eckberg (2008), který se přiklání k aktivitě baroreceptorů.“[2]

6. Stres

Stres je všudypřítomný fenomén, jenž významně ovlivňuje náš organismus, aniž bychom si jeho účinků a vlivů byli vědomi. V současné době jsou stresové stimuly zpravidla obsaženy v každodenním životě. Zrychlení technologií a dynamika životního stylu nás vede do situací souboje se stresory. Patří k nim například obavy o životní prostředí, rostoucí nejistota z budoucnosti, globalizace, ekonomické problémy a všude přítomná rivalita. Definování tohoto jevu není jednoduché, nelze jej zobecnit a projevy jsou velmi individuální. Co je pro jednoho stresem, může být pro druhého ideální aktivací. Stres má obecně negativní působení na lidský organismus a je spojován zejména se stavem úzkosti, frustrací a nestabilitou.

Jestliže je intenzita stresorů v přiměřené míře, dochází k nejlepší aktivaci a podávání optimálního výkonu. V případě, že je ale organismus přetížen, výkon výrazně klesá. Během přiměřené fyzické i psychické stresové zátěže člověk získává vyšší míru rezistence. Nevládnuté stresové situace naopak mohou zapříčinit narušení rovnováhy, způsobující specifické projevy v psychické i fyzické stránce jedince. Z toho vyplývá, že se nejedná o objektivně zhodnotitelnou hodnotu, měřitelnou jako jsou např. fyziologické a fyziognomické projevy, tyto bezesporu můžeme zachytit přístroji a zařízeními.



Obrázek 1: Yerkes-Dodsonův zákon. Zdroj: [23].

7. Metodika měření

V první fázi byly předány probandům formuláře/dotazníky s informacemi, jež vyplnili za účelem odhalení významných ukazatelů, zejména výšku, váhu, věk, BMI index, kvalitu spánku, ale také informace o tom zdali jsou kuřáky, nebo jestli jsou pravidelnými konzumenty alkoholu a pokud ano, v jakém množství konzumují alkohol. Otázky ve formuláři sloužily k odhalení možných rizik, jež mohou mít významný vliv na HRV a zkusit výsledné hodnoty. Po vyplnění dotazníku byly probandovi aplikovány měřicí přístroje za účelem naměření dat.

První měření bylo aplikováno v klidovém relaxačním režimu, bez vlivu rušivých elementů v pětiminutovém intervalu. Ve druhé fázi bylo přistoupeno již k samotnému testování prostřednictvím Cogit testu. Tento nástroj je psychologický, srovnávací test Cogit jakožto počítačová platforma standardizovaného psychologického testu speciálně designovaného pro měření psychologické odolnosti a výkonnosti, předkládající probandům řadu úloh realizovaných pod tlakem krátkých časových intervalů. Tento test je využíván k zátěžovému testování. Bylo naprosto zásadní zvolit takovou metodu, která byla schopna

vyvolat pocit nátlaku na výkon u všech testovaných osob, a to způsobem neměnným pro všechny účastníky testu tak, aby nebyla zásadním způsobem zvýhodněna ani jedna skupina probandů.

Všechny subtesty byly časově omezené a každému probandovi přebíhal přes obrazovku časový informační link pro daný úkol, tak aby byl vyvolán co největší tlak, pocit stresu a osobního nekomfortu. Celé jedno testování, tj. všech osm subtěstů trvalo přibližně 20 min, což je dostatečně dlouhá doba pro naměření námi požadovaných hodnot na přístroji a zároveň je reálně zachytit psychickou zátěž vlivem únavy, akceptace časového limitu a důrazu na výsledné score. Hodnoty, které byly významné a relevantní pro výzkum byly tyto: Poměr aktivity sympatických a parasympatických jevů, změny v R-R intervalech a míra změn v mozkových alfa a beta vlnách probanda.

Pro potřeby výzkumu bylo zvoleno 5 probandů, absolvujících pilotní výcvik v různé fázi a dalších 5 probandů výcviku se neúčastnících. Úhrnně výzkum zahrnul 10 probandů obou pohlaví ve věkovém rozpětí 20–50 let.

Původní záměr výzkumné práce bylo otestovat celkem 20 probandů. Toto se bohužel nepodařilo naplnit z hlediska pandemických opatření v čase výzkumu, nicméně lze i takto poskytnout relevantní a jasná data i záznamy o průběhu výzkumu.

Pro vyhodnocení naměřených výstupních dat z měřících přístrojů ve formátu programu Microsoft Excel a textovém souboru byly využity softwary MatLab, Kubios, Mind Monitor a statistický obor Popisná Statistika. Pomocí těchto softwarů lze získat přehledné výsledky a grafy jasně ukazující charakter dat získaných měřeními.

8. Analýza dat a výsledky měření

V první fázi testování probandi vyplnili dotazník, který obsahoval zásadní informace o jejich zdravotním stavu, tak jak je uvedeno výše. Tato data mají přímý vliv na stres člověka a tím pádem mohou ovlivňovat výsledné hodnoty. Podle analýzy dat a výsledků z dotazníku majoritní část probandů tvořili osoby, které by autor zařadil jako standardní populační vzorek a tím pádem z analýzy a vyhodnocení došlo k vyloučení zásadních anomálií ve vstupních datech.

Druhou částí testování tvořilo samotné měření. Prostředí kde testování probíhalo, bylo pro drtivou většinu probandů důvěrně známé a komfortní a tudíž nebyl zaznamenán problém dosáhnout potřebného uvolněného stavu, jehož záznam je následně využitý jako referenční bod pro třetí testovou část.

Tabulka 1: Hodnoty probandů naměřené v klidové fázi, červené hodnoty značí neprůkazné měření. Zdroj: Autori.

KLID						
Číslo probanda	R-R interval [ms]	SNS	PNS	Alfa	Beta	
P1	648,00	2,65	-2,00			PILOTI
P2	784,00	-0,09	0,82	74,33	61,61	
P3	652,00	1,02	0,33	78,20	68,58	
P4	596,00	1,91	-0,42	65,28	67,12	
P5	695,00	0,84	0,51			
P6	697,00	1,53	-1,17	83,85	79,52	NEPILOTI
P7	755,00	0,35	-0,13			
P8	876,00	-0,45	1,20			
P9	797,00	0,80	1,13			
P10	886,00	-0,71	1,81	64,72	57,06	

Tabulka 2: Hodnoty probandů naměřené v zátěžové fázi, červené hodnoty značí neprůkazné měření. Zdroj: Autori.

TEST						
Číslo probanda	R-R interval [ms]	SNS	PNS	Alfa	Beta	
P1	598,00	2,85	-2,12			PILOTI
P2	787,00	-0,03	0,30	77,52	65,87	
P3	654,00	1,30	-0,85	83,38	80,87	
P4	569,00	3,10	-2,3			
P5	637,00	1,02	0,13			
P6	717,00	2,06	-1,43	82,346	70,629	
P7	736,00	0,62	-0,32			NEPILOTI
P8	654,00	1,20	-0,77			
P9	761,00	1,05	0,72			
P10	704,00	0,62	0,50	80,678	72,513	

8.1. Analýza výsledků skupiny pilotů

Během klidové fáze byl srdeční R-R interval v případě měření pilotů v hodnotách mezi 784ms, reprezentující maximální dosaženou hodnotu naměřenou u druhého naměřeného probanda (dále P2), a 596ms reprezentující minimální hodnotu prvního naměřeného probanda (dále P1). Zde maximální hodnota vypovídá o pomalejší aktivitě srdce, neboť interval mezi R fázemi je větší. Naproti tomu nejnižší interval vyjadřuje rychlou činnost srdce. Střední hodnota pro klidové měření pilotů byla vypočítána 675ms.

SNS index se při této klidové fázi pohyboval v rozmezí 2,65 (P1) a -0,09 (P2). Jak vychází z teoretické části, činnost sympatických nervů je spojena s autonomní reakcí těla na stres, diskomfort a nebezpečí, zahrnuje autoregulační mechanismy, které v takových případech mají za účel připravit tělo na fyzicky či psychicky náročnou situaci. Vyšší číslo tedy signifikantně indikuje vyšší míru diskomfortu a stresu. Střední hodnotou SNS indexu při klidovém měření pilotů je 1,226.

Poslední zkoumanou veličinou byl PNS index nesoucí informaci o aktivitě parasympatických nervů. Tyto nervy působí proti účinkům sympatických nervů, uklidňují srdeční rytmus a směřují organismus do homeostáze. Krajní hodnoty PNS indexu při klidovém měření byly v rozmezí -2 (P1) a 0,82 (P2). Střední hodnotou střední hodnota PNS indexu činila -0,152.

Alfa a beta vlny dosahovaly ve střední hodnotě absolutního průměru hodnot 72,6 pro alfa vlny a 65,8 pro vlny beta.

Ve třetí fázi kdy byl vyvolán indukovaný stres účinkem výše popsaného zátěžového testu. Data z přístroje CorSense byla analyzována použitím softwaru Kubios HRV verze Standard.

Znamenány byly výrazné odchylky oproti klidovému stavu. U všech testovaných případů došlo k reakci všech orientačních hodnot ve spektru ukazatelů hladiny stresu. V případě probandů ze skupiny pilotů R-R intervaly reagovaly nejednoznačně. Z pěti měření ve dvou případech došlo k nárůstu hodnot R-R intervalů a ve zbývajících třech případech k poklesu hodnot. Nejvyšší hodnota R-R intervalu naměřená pilotům během zátěžové fáze byla 787ms (P2) a nejnižší 569ms v případě čtvrtého naměřeného probanda (dále P4). Střední hodnota R-R intervalů pro zátěžové měření byla naměřena 649ms.

SNS indexy v zátěžovém testování reagovaly naprosto jednoznačně, právě tak, jak se očekávalo, tedy vzestupem. Nejvyšší hodnota byla zaznamenána 3,1 (P4) a nejnižší -0,03 (P2), střední hodnota činila 1,648.

PNS index při zátěžovém měření jednoznačně potvrzuje literaturou popsané teoretické předpoklady, což dokazují

výsledky měření skupiny pilotů. Ve všech případech došlo k poklesu aktivity. Nejnižší naměřená aktivita byla určena na -2,3 (P4) na druhé straně spektra tedy v pozici nejvyšší naměřené hodnoty vystupuje do pozornosti číslo 0,3 (P2). Střední hodnota PNS indexu pro skupinu pilotů v zátěžovém testu činí -0,968.

Pro získání jednoznačných dat o vlivu stresu na skupinu pilotů je nezbytné provést výpočty, jež poskytl informaci o absolutní hodnotě matematické vzdálenosti mezi stavem organismu během druhé, klidové, fáze měření a třetí fázi měřenou během psychické zátěže. Rozdíl středních hodnot činil 26ms v případě R-R intervalů, 0,382 pro SNS a 0,816 pro PNS.

V tomto případě, tedy měření zátěžových hodnot se alfa a beta vlny ve střední hodnotě absolutního průměru hodnot rovnaly 80,4 pro alfa vlny a 73,4 pro vlny beta.

8.2. Analýza výsledků skupiny „nepilotů“

Totožné výzkumné měření podstoupila i skupina studentů a zaměstnanců UNIZA, kteří ovšem neabsolvovaly a ani se nenachází v procesu pilotního výcviku, v práci je tato skupina označena pro zjednodušení jako „nepiloti“.

Jak je patrné z výsledných výzkumných dat a tabulek, došlo v jednom případě u skupiny „nepilotů“ k extrémnímu vychýlení naměřených hodnot. Z důvodu negativního vlivu tohoto vychýlení na celkové měření bylo rozhodnuto o nezařazení posledního měřeného probanda (dále P10) do výpočtů.

Stejně jako u předchozí skupiny došlo v klidové fázi měření k naměřením hodnot R-R intervalů, SNS indexu a PNS indexu. R-R interval skupiny „nepilotů“ se během druhé fáze testování pohyboval mezi maximem 876ms v případě osmého měřeného probanda (dále P8) a minimem 697ms v případě šestého naměřeného probanda (dále P6). Střední hodnota R-R intervalu se během této fáze při výpočtu vyšla 721,25ms.

Dalším měřeným parametrem, SNS index, se napříč probandy ze skupiny „nepilotů“ pohyboval v druhé fázi měření mezi hodnotami maxima 1,53 (P6) a minima -0,45 (P8). Střední hodnota byla statisticky určena a rovná se číslu 0,5575.

Nakonec druhé fáze, PNS index jehož maximální hodnota dosahovala 1,2 (P8). Minimální hodnota se v tomto případě rovnala -1,17 (P6). Statisticky získaná střední hodnota byla vyjádřena jako 0,2575.

Ve skupině „nepilotů“ byly hodnoty EEG při klidových podmínkách naměřeny v hodnotách 74,3 v případě alfa vln a 68,3 v případě beta vln.

Třetí fáze měření, tedy získávání dat při vystavení členů skupiny „nepilotů“ psychické zátěži, není jinak více jednoznačná v hodnotách R-R intervalů, než tomu bylo u předchozí skupiny. Ve třech případech ze čtyř zaznamenáváme pokles R-R intervalů a v jednom případě nárůst. Odchylky intervalů byly při závěrečném měření výrazné, maximum 761ms v případě devátého měřeného probanda (dále P9) a minimum 654ms (P8). Střední hodnota 649ms.

SNS index měl své maximum 2,06 (P6) a minimum 0,62 v případě sedmého měřeného probanda (dále P7). Střední hodnota 1,2325.

Maximum indexu PNS sahalo do hodnoty 0,76 (P9) a minimum -1,43 (P6). Střední hodnota se rovnala -0,45.

Při třetí fázi měření byly v zátěži naměřeny hodnoty EEG v číslech 81,5 v případě alfa vln a 71,6 v případě beta vln.

V tomto případě jsou rozhodující hodnotou číselné vzdálenosti hodnot naměřených v klidové fázi a těch, naměřených v zátěžové, třetí fázi. Rozdíl středních hodnot činil 64,25ms v případě R-R intervalů, 0,675 pro SNS a 0,7075 pro PNS

9. Závěr

Během měření bylo zjištěno, že ve skupině pilotů statický průměr rozdílů hodnoty R-R intervalů při porovnávání dat ze sekvence klidového měření a měření pod stresem činil 26 milisekund, na druhé straně stejná hodnota vypovídající o výsledku měření skupiny „nepilotů“ se rovnala 64,25 milisekund. Průměr R-R intervalů ve skupině „nepilotů“ byl 2,47 krát nižší než ve skupině pilotů. Tato data signifikantně vypovídají o vyšší míře aktivace tělesných procesů souvisejících s reakcí těla na zvýšený stres.

Druhým hodnoceným parametrem v této práci byl SNS index a PNS index reprezentující poměr aktivity sympatických a parasympatických nervů. Měření ve skupině pilotů odhalilo rozdíl průměrů SNS indexu, rovnající se hodnotě 0,382. Zde se jedná o nárůst SNS indexu o zmíněnou hodnotu, jak tělo reaguje na narůstající zátěž. Průměr rozdílů SNS indexu ve skupině „nepilotů“ byl vypočítán na 0,675. Na první pohled je patrný rozdíl v těchto dvou skupinách, kde hodnota skupiny „nepilotů“ byla 1,77 krát vyšší, než jaká byla ve skupině pilotů. Nestandardní vývoj bylo možno pozorovat u PNS indexu. Statistický výpočet určil průměrný rozdíl ve skupině pilotů na 0,816, zatímco „nepilotům“ byla vypočítána hodnota 0,7075.

Tento zachycený fakt lze vyvodit z parametrů účinku tělesných subsystémů, jenž mohou vychylovat hodnoty PNS a SNS indexu. Nebo mohlo jít o zkreslení hodnot vlivem nízkého počtu probandů, čímž je omezená možnost ve výpočtech reagovat na výrazné odchylky, mezi které rozhodně patřil výsledek čtvrtého měřeného probanda (P4) s hodnotou PNS indexu -2,3 v zátěžovém měření.

Z uvedených dat popsaných a zachycených výzkumných výsledků můžeme verifikovat první hypotézu, zda mají piloti díky výcviku a pravidelnému vystavování se prostředí s vysokou psychickou zátěží vyšší rezistenci proti stresu než ostatní měření probandů. Signifikantní rozdíly mezi sledovanými hodnotami názorně ověřují tuto hypotézu. S tímto výsledkem je ovšem nutné pracovat obezřetně, vzhledem k nedostatku probandů účastnících se výzkumu z důvodu pandemické situace v době provádění výzkumné části této práce.

Pro výzkum, jehož podstatou je odpovědět na otázku relevance zvolených měřících přístrojů a následné metody měření, lze z výzkumu vyvodit následující závěr.

Ze všech výše uvedených stanovisek, popisů zkušeností lze vyvodit, že kardiologická biologická zpětná vazba je spolehlivým nástrojem pro komplexní měření indukovaného stresu. Poskytuje poměrně přesná, spolehlivá data i relevantní výstupy, s nimiž lze dále pracovat.

Snaha verifikovat technologii MUSE 2 bohužel narazila na překážku nedostatku kvalitních dat a velice nízkého počtu probandů, kteří se mohli za dané epidemiologické situace účastnit výzkumného měření. Pohled na naměřené hodnoty odhaluje nesoulad se základními teoretickými znalostmi chování EEG vln alfa a beta, které se objevují v odborné literatuře. Ta popisuje reakci alfa vln v zátěži trendem poklesu hodnoty aktivity. Na druhou stranu beta vlny by měly svou aktivitu posilovat.

Jak je ale možné vysvětlit si tyto neprůkazné hodnoty odchylovající se od literárních základů? S velkou dávkou pravděpodobnosti se jedná o důsledek měření s nasazenou hygienickou rouškou. Vzhledem k pandemické situaci bylo u probandů vyžadováno, aby po celou dobu výzkumu měli nasazenou ochranu dýchacích cest. Jejich uchycení za uši probanda způsobilo, že senzory přístroje MUSE 2 zpravidla doléhají na horní oblast u kořene ucha, byly blokovány uchycením této roušky a nedosáhly tak potřebného kontaktu s pokožkou probanda. Prokázat funkčnost neurologického biofeedbacku při použití komerčního MUSE 2 se tedy nepodařilo. Nicméně značná část odborné veřejnosti tuto analytickou pomůcku schvaluje a je tak pravděpodobné, že za jiných podmínek by přístroj bezchybně fungoval. Toto dává zcela nový pohled na používání a nové využití technologie. Tento fakt a závěr výzkumu nebyl do současné doby žádnou literaturou ani jiným odborným textem zachycen.

Reference

- [1] O. KITTNAR, Lékařská fyziologie, Praha: Grada, 2011.
- [8] R. a. M. N. PTÁČEK, Biofeedback v teorii a praxi, Praha: Grada Publishing, 2017.
- [9] M. a. R. P. OREL, Vyšetření a výzkum mozku: pro psychology, pedagogy a další nelékařské obory, Praha: Grada, 2017.
- [23] M. A. Staal, „Stress, Cognition, and Human Performance: A Literature Review and Conceptual Framework,“ Ames Research Center, Moffett Field, California, 2004.