

# Vliv tetrapolární aplikace středofrekvenčních proudů na kardiální autonomní nervový systém

The effect of tetrapolar interferential application of medium frequency currents on the autonomic nervous system

P. Uhlíř

*Katedra fyzioterapie, Fakulta tělesné kultury, Univerzita Palackého v Olomouci*

**Souhrn: Úvod:** Záměrem studie bylo zhodnotit vliv tetrapolární aplikace středofrekvenčních proudů (izoplanárního vektorového pole) v oblasti hrudní páteře na kardiální autonomní nervový systém pomocí vybraných spektrálních a časových ukazatelů variability srdeční frekvence (VSF) u zdravých probandů. **Metody:** Ve studii byla využita metoda spektrální analýzy variability srdeční frekvence v krátkodobých záznamech. Jednalo se o komparativní studii. Výzkumný soubor se skládal z 11 zdravých jedinců – 6 mužů a 5 žen ve věku 22 až 26 let (průměrný věk byl 24,1 let; SD  $\pm 0,7$ ). Kontrolní skupinu tvořilo 12 zdravých jedinců – 3 muži a 9 žen ve věku 22 až 26 let (průměrný věk byl 23,5 let; SD  $\pm 0,9$ ). **Výsledky:** Při porovnání jednotlivých parametrů variability srdeční frekvence v pozici leh 2 (druhý leh před aplikací izoplanárního vektorového pole) a leh 4 (druhý leh po aplikaci izoplanárního vektorového pole) došlo k signifikantnímu vzestupu hodnoty parametru MSSD ( $p = 0,04$ ). U kontrolní skupiny došlo k signifikantnímu vzestupu hodnoty parametru R-R intervaly ( $p = 0,003$ ). **Závěr:** Výsledky studie prokázaly pouze velmi malý vliv středofrekvenčních proudů na kardiální autonomní nervový systém (ANS).

**Klíčová slova:** variabilita srdeční frekvence – spektrální analýza – autonomní nervový systém – středofrekvenční proudy

**Summary: Introduction:** The purpose of the study was to evaluate the effect of tetrapolar application of medium frequency currents (isoplanar vector field) in the thoracic spine area on the cardiac autonomic nervous system evaluated using the selected spectral and temporal indicators of heart rate variability (HRV) in healthy probands. **Methods:** The study used the method of spectral analysis of heart rate variability in short-term recordings. The experimental group consisted of 11 healthy individuals, 6 males and 5 females, aged 22 to 26 years (mean age 24.1 years; SD  $\pm 0.7$ ). The control group consisted of 12 healthy individuals, 3 males and 9 females, aged 22 to 26 years (mean age 23.5 years; SD  $\pm 0.9$ ). **Results:** When comparing the individual parameters of heart rate variability in the position of supine 2 (the second supine before the application of the isoplanar vector field) and supine 4 (the second supine after the application of the isoplanar vector field), there was a significant increase in the value of the MSSD parameter ( $P = 0.04$ ). In the control group, there was a significant increase in the value of the R-R interval parameter ( $P = 0.003$ ). **Conclusion:** The results of the study showed only a very small effect of tetrapolar application of medium frequency currents on the cardiac autonomic nervous system (ANS).

**Key words:** heart rate variability – spectral analysis – autonomic nervous system – medium frequency currents

## Úvod

Středofrekvenční proudy jsou ve fyziokální terapii často využívány. Tetrapolární aplikace ve formě izoplanárního vektorového pole je aplikací speciální, při které je dosaženo rovnoměrné 100% hloubky modulace v celé oblasti překřížení proudových okruhů. Z toho plyne jednak menší náročnost na přesnost uložení

elektrod, jednak velice difúzní, hluboký a šetrný účinek. Jde o transregionální dvouokruhovou aplikaci středofrekvenčních proudů, proto se neliší od způsobu aplikace při klasické interferenci. Může být aplikována již v akutních stádiích různých poruch pohybového systému [1].

Nejčastějšími lokalizacemi uložení elektrod jsou oblasti velkých kloubů

a oblast páteře, přičemž častěji se používají vakuové elektrody. Tato studie je zaměřena na zkoumání vlivu tetrapolární aplikace středofrekvenčních proudů (izoplanární vektorové pole) v hrudním úseku páteře na kardiální autonomní nervový systém, hodnocený vybranými ukazateli spektrální a časové analýzy variability srdeční frekvence u zdravých



Obr. 1. Diagnostický systém VarCor PF7.

Fig. 1. Diagnostic system VarCor PF7.

probandů. Navazuje na předchozí výzkumy, které posuzovaly např. efekt čtyřkomorové galvanické lázně a Träbertových proudů na ANS s využitím metody spektrální analýzy variability srdeční frekvence (SAVSF) [2,3]. V odborné literatuře nebylo nalezeno dostatečné množství výzkumných prací týkajících se účinků středofrekvenčních proudů, ať již u zdravých probandů [4–7], tak pacientů [8]. Navíc výsledky těchto prací nebyly jednoznačné. Toto bylo impulzem pro realizaci níže uvedeného výzkumu.

### Metodika

Variabilita srdeční frekvence byla hodnocena pomocí krátkodobé spektrální analýzy diagnostickým systémem VarCor PF7. Variabilita srdeční frekvence byla hodnocena před aplikací středofrekvenčních proudů a po ní, vybrané ukazatele byly následně vzájemně porovnány. Aplikovány byly středofrekvenční proudy o nosné frekvenci 4 000 Hz a amplitudově modulované frekvenci 100 Hz. Bylo využito izoplanární vektorové pole pomocí vakuových elektrod do oblasti Th1–Th4. V této úrovni se nachází ganglia truncus sympathicus (ganglion stellatum a horní hrudní ganglia, ze kterých

odstupují postgangliové sympatické nervy inervující srdce).

Jednalo se o komparativní studii. Výzkumný soubor se skládal z 11 zdravých jedinců – 6 mužů a 5 žen ve věku 22 až 26 let (průměrný věk byl 24,1 let; SD  $\pm 0,7$ ). Kontrolní skupinu tvořilo 12 zdravých jedinců – 3 muži a 9 žen ve věku 22 až 26 let (průměrný věk byl 23,5 let; SD  $\pm 0,9$ ). Probandi byli do skupin rozděleni losem. Neléčili se s žádným chronickým onemocněním, nebyli ve vyšší míře duševního napětí (tj. nad 50 % v numerické desetibodové škále duševního napětí) a byli bez pravidelné medikace. Dvě hodiny po jídle a minimálně 24 h před měřením nepili kávu či černý čaj. Do studie nebyli zařazeni probandi, kteří během posledních 48 h před měřením prodělali akutní onemocnění. V případě probandů ženského pohlaví neměli probandi menses ani nebyli gravidní.

Vyšetření metodou spektrální analýzy variability srdeční frekvence probandů probíhalo standardně v dopoledních hodinách. Všichni probandi splnili podmínky pro standardizaci měření metodou SAVSF, dechová frekvence nešla pod 9 dechů/min (z důvodu přesného vymezení pásma LF a HF) [9]. Ve studii byla

využita standardní zkouška leh–stoj–leh před aplikací středofrekvenčních proudů a po ní (či placebo = pouhé přiložení elektrod u kontrolní skupiny) [10]. Variabilita srdeční frekvence byla hodnocena v krátkodobých záznamech ve frekvenční i časové oblasti [11]. Pro měření byl použit diagnostický systém VarCor PF7 [12] (obr. 1), který umožňuje přenášet naměřená data do PC pomocí USB portu. EKG signál byl snímán pomocí pásu s elektrodami (systém POLAR) umístěnými na hrudníku. Signál ze snímacího pásu byl transformován do UHF přijímače, následně byl zpracován v PC s využitím speciálního softwaru pro tento diagnostický systém.

Pro výpočet spektrálních ukazatelů ve frekvenční oblasti byla využita rychlá Fourierova transformace s částečně upravenými procedurami CGSA (coarse graining spectral analysis) [12]. Metoda SAVSF byla zvolena pro hodnocení regulací autonomního nervového systému z důvodu její citlivosti a neinvazivity. Oblasti kmitočtového spektra, které tato metoda využívá, se dělí v krátkodobých záznamech do tří hlavních komponent:

1. Komponenta VLF (velmi nízká frekvence, od 20 do 50 mHz), jejíž regulační mechanismy nejsou dosud jednoznačně objasněny, proto je její interpretace problematická.
2. Komponenta LF (nízká frekvence, mezi 50 až 150 mHz) je interpretována především jako odraz arteriální baroreceptorové sympatické aktivity.
3. Komponenta HF (vysoká frekvence, mezi 150 až 400 mHz) představuje vagovou aktivitu spojenou s dýcháním [13].

Z ukazatelů v časové oblasti (doméně) byly použity ukazatele R-R intervaly a MSSD.

Z ukazatelů ve frekvenční oblasti (doméně) byly v naší studii sledovány a hodnoceny ukazatele: power VLF (výkon velmi nízkofrekvenční složky v  $\text{ms}^2$ ), power LF (výkon nízkofrekvenční složky v  $\text{ms}^2$ ), power HF (výkon



Obr. 2. Schematické znázornění jednotlivých pozic během měření.

Fig. 2. Schematic representation of individual positions during measurement.

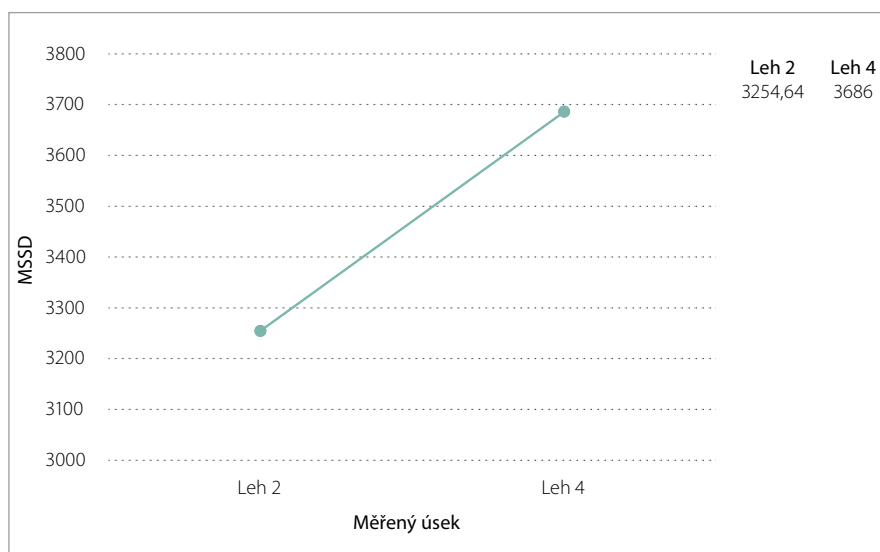
vysokofrekvenční složky v  $ms^2$ ), total power (celkový spektrální výkon – součet spektrálních výkonů VLF, LF a HF složek v  $ms^2$ ), relativní poměry zastoupení komponent LF a HF (rel. LF a rel. HF) a poměr LF/HF.

Před nasazením hrudního pásu byl probandům vysvětlen průběh měření, následně jim byl nasazen hrudní pás s navlhčenými snímacími elektrodami.

Probandi byli poučeni, že během celého měření by neměli mluvit. Měření se skládalo ze šesti intervalů. V prvním měřícím bloku byla spektrální analýza variability srdeční frekvence zaznamenána v pozicích lež, stoj a lež (druhý lež). Poté byl sejmут hrudní pás. Následně byla provedena aplikace středofrekvenčních proudů (či pouhé přiložení elektrod u kontrolní skupiny). Čas této intervence byl stanoven na 15 min. Aplikace probíhala v leže na břiše v intenzitě nadprahově senzitivní.

Po aplikaci proudu (či přiložení elektrod) byl probandům znovu nasazen hrudní pás a bylo jim připevněno vysílací zařízení na paži. Následovalo opět měření spektrální analýzy variability srdeční frekvence v pozicích lež, stoj a závěrečný lež. Každá pozice trvala 300 tepů (resp. 5 min) (obr. 2).

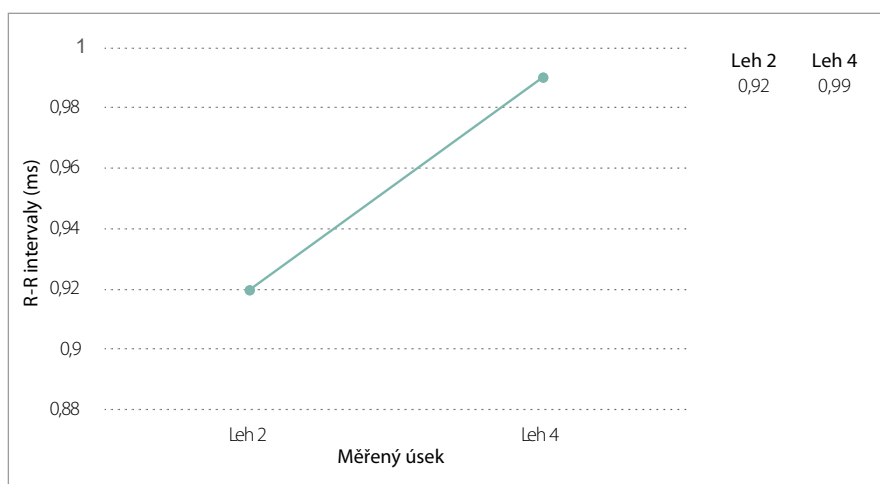
Ukazatele frekvenční a časové domény variability srdeční frekvence (VSF) byly mezi sebou vzájemně standardizovaně porovnány u výzkumné skupiny v pozici opakovaného lehu (zde lež 2 = druhý lež před proudy a lež 4 = druhý lež po proudech), stejně tak u skupiny kontrolní.



Graf 1. Vývoj průměrných hodnot parametru MSSD u výzkumné skupiny.

Graph 1. Evolution of the mean values of the MSSD parameter in the research group.

MSSD – průměrná hodnota druhé mocniny rozdílu po sobě následujících R-R intervalů v  $ms^2$



Graf 2. Vývoj průměrných hodnot parametru R-R intervaly u placebo (kontrolní) skupiny.

Graph 2. Evolution of the mean values of the parameter R-R intervals in the placebo (control) group.

Pro porovnání zjištěných hodnot ukazatelů variability srdeční frekvence ve vybraných pozicích byl použit Wilcoxonův párový neparametrický test. Za statisticky významné jsme považovali změny sledovaných hodnot ukazatelů  $p < 0,05$  (hladina statistické významnosti byla stanovena na úrovni 0,05).

Limitou studie byl malý počet probandů.

## Výsledky

Výsledky jsou uvedeny v tab. 1, tab. 2, tab. 3, tab. 4, tab. 5, tab. 6, v grafu 1 a 2.

U výzkumné skupiny ( $n = 11$ ) (bez aplikace izoplanárního vektorového pole) došlo v pozici leh 4 (druhý leh po proudě,  $\bar{x}$  po intervenci = 3 686,00 ms<sup>2</sup>) ke statisticky významné vzestupné tendenci hodnot u časového ukazatele MSSD v porovnání s pozicí leh 2 (druhý

leh před proudy,  $\bar{x}$  před intervencí = 3 254,64 ms<sup>2</sup>). U dalších ukazatelů VSF (power LF, power HF, LF/HF, rel. LF, rel. HF, MSSD, total power) nebyly prokázány statisticky významné změny.

U placebo (kontrolní) skupiny ( $n = 12$ ) (bez aplikace izoplanárního vektorového pole) došlo v pozici leh 4 (druhý leh po placebo,  $\bar{x}$  po intervenci = 0,99 ms) ke statisticky významné vzestupné tendenci hodnot u časového ukazatele R-R intervaly v porovnání s pozicí leh 2 (druhého lehu před placebo,  $\bar{x}$  před intervencí = 0,92 ms). U dalších ukazatelů VSF (power LF, power HF, LF/HF, rel. LF, rel. HF, MSSD, total power) nebyly prokázány statisticky významné změny.

## Diskuze

Autonomní nervový systém udržuje dynamickou rovnováhu vnitřního prostředí

organizmu. Tato funkce je zajišťována automaticky a mimovolně. Z mnoha funkcí, které zajišťuje autonomní nervový systém, lze zmínit srdeční činnost, dýchání, pocení, regulace krevního tlaku, trávení živin či vylučování. Činnost ANS zprostředkovávají zejména rychlé a krátce trvající reakce je koordinována s endokrinním systémem, jehož účinky jsou pomalejší a déle trvající [14]. ANS lze anatomicky rozdělit na část centrální a periferní. Z hlediska subsystémů se ANS rozděluje na oddíl sympatický (thorakolumbální), oddíl parasympatický (kraniosakrální) a oddíl enterický. Sympatický oddíl zodpovídá především za zvyšování energetické aktivity a mobilizaci organismu. Parasympatický oddíl naopak řídí činnost vedoucí k regeneraci a restituci funkcí. Enterický systém řídí motoriku, sekreci a absorpci v gastrointestinálním

**Tab. 1. Naměřené hodnoty ukazatelů VSF – výzkumná skupina – druhý leh před proudy ( $n = 11$ ).**

Tab. 1. Measured values of HRV indicators – research group – second supine before currents ( $N = 11$ ).

ID	Power LF	Power HF	LF/HF	RR	Rel. LF	Rel. HF	MSSD	Total power
1	248,36	1257,84	0,20	0,87	16,05	81,27	2716,58	1547,64
2	518,32	333,35	1,56	0,82	48,49	31,18	628,61	1068,99
3	138,59	758,28	0,18	1,11	12,84	70,27	2028,85	1079,05
4	281,52	555,61	0,51	0,99	30,57	60,33	1790,46	920,94
5	443,65	750,34	0,59	0,80	33,50	56,66	1269,63	1324,36
6	78,22	663,00	0,12	0,87	9,24	78,29	864,60	846,82
7	1691,21	2585,38	0,65	1,00	32,87	50,25	9502,61	5144,69
8	1778,90	4997,22	0,36	0,92	26,26	73,70	12725,77	6780,70
9	74,26	390,34	0,19	0,75	14,71	77,32	533,83	504,83
10	110,13	1406,42	0,08	0,98	6,73	85,98	2542,64	1635,78
11	17,51	608,92	0,03	1,03	2,77	96,33	1197,51	632,09
$\bar{x}$	489,15	1300,61	0,41	0,92	21,28	69,23	3254,64	1953,26
SD	606,21	1318,74	0,42	0,11	13,40	17,51	3830,09	1950,05
Me	248,36	750,34	0,20	0,92	16,05	73,70	1790,46	1079,05

ID – identifikační číslo probanda v rámci měření, power LF – spektrální výkon LF komponenty (low frequency) v ms<sup>2</sup>, power HF – spektrální výkon HF komponenty (high frequency) v ms<sup>2</sup>, LF/HF – poměr spektrálních komponent LF vůči HF, RR – délka R-R intervalů, rel. LF – relativní spektrální výkon komponenty LF, rel. HF – relativní spektrální výkon komponenty HF, MSSD – průměrná hodnota druhé mocniny rozdílu po sobě následujících R-R intervalů v ms<sup>2</sup>, total power – celkový spektrální výkon v ms<sup>2</sup>,  $\bar{x}$  – aritmetický průměr, SD – směrodatná odchylka, Me – medián

traktu a také kontroluje lokální krevní průtok [15].

Kardiovaskulární systém je schopen reagovat na řadu vnitřních i vnějších změn, a to zejména přizpůsobováním srdeční frekvence. Ta se v závislosti na zmíněných faktorech buďto zrychluje (dochází ke zkracování R-R intervalů), nebo zpomaluje (dochází k prodloužení R-R intervalů). To znamená, že srdeční frekvence není konstantní. Tento jev se označuje jako variabilita srdeční frekvence. Vysoká variabilita je známkou dobré adaptability systému, a tedy známkou zdravého organismu. Za řízení srdeční frekvence zodpovídá sinoatriální uzel, který je pod neustálým vlivem ANS. Se změnou sympatického či parasympatického tonu se mění také srdeční frekvence. Při převaze sympatiku je odpovědí zrychlení srdeční frekvence a při převaze parasympatiku zase její zpomalení [16].

Jednou z možností posuzování stavu autonomního nervového systému je prostřednictvím variability srdeční frekvence. Metoda spektrální analýzy variability srdeční frekvence je metoda neinvazivní, relativně levná a v praxi snadno využitelná [17].

Aplikace Träbertových proudů do oblasti dolní hrudní oblasti a do bederní oblasti (lokalizace EL3) může vyvolat změny v hodnotách parametrů variability srdeční frekvence R-R intervalů, MSSD a power HF, svědčících o nárůstu parasympatiku. To může souviset s celkovými účinky Träbertova proudu na lidský organismus. U kontrolní skupiny (bez aplikace Träbertových proudů, pouze s přiložením elektrod do téže oblasti) se neprojevila signifikantní změna u žádného ze sledovaných parametrů [3].

Jiná studie [2] se věnovala vlivu aplikace čtyřkomorové vzestupné

galvanické lázně na variabilitu srdeční frekvence. Tato studie prokázala, že čtyřkomorová vzestupná galvanická lázeň má vliv na zvýšení hodnot parametrů power HF a MSSD a na snížení hodnoty parametru LF/HF po aplikované proceduře. Signifikantní rozdíly byly zjištěny také u kontrolní skupiny, u které nebyl aplikován galvanický proud (byla aplikována pouze vodní lázeň bez proudu). V tomto případě došlo po proceduře, ve shodě s výzkumnou skupinou, ke zvýšení parametrů power HF a MSSD. Navíc u kontrolní skupiny vzrostly také hodnoty parametrů total power a R-R intervalů. Nelze tedy uspokojivě prokázat, že aplikace galvanického proudu u čtyřkomorové lázně má výrazný vliv na variabilitu srdeční frekvence oproti lázni bez elektrického proudu [2].

Zajímavý je též výzkum vlivu aplikace elektroterapie na průtok krve v cévách.

**Tab. 2. Naměřené hodnoty ukazatelů VSF – výzkumná skupina – druhý leh po proudech (n = 11).**

Tab. 2. Measured values of HRV indicators – research group – second supine after the currents (N = 11).

ID	Power LF	Power HF	LF/HF	RR	Rel. LF	Rel. HF	MSSD	Total power
1	554,80	1793,62	0,31	0,90	22,14	71,57	4352,16	2505,98
2	262,94	1127,00	0,23	0,89	17,29	74,10	1799,84	1520,92
3	1376,22	749,90	1,84	1,04	37,93	20,67	2547,58	3628,21
4	464,96	1288,76	0,36	1,08	24,27	67,27	3253,07	1915,84
5	227,73	1226,71	0,19	0,85	14,04	75,65	3195,27	1621,58
6	452,87	867,51	0,52	0,96	28,62	54,82	2442,92	1582,44
7	1432,98	2551,17	0,56	1,01	28,68	51,06	10473,29	4996,58
8	550,40	1731,39	0,32	0,86	22,18	69,79	6305,36	2481,01
9	154,75	1101,94	0,14	0,81	11,69	83,22	1627,49	1324,10
10	32,17	1123,06	0,03	1,01	2,58	90,15	2796,66	1245,80
11	184,34	1034,24	0,18	1,07	13,75	77,15	1752,35	1340,55
$\bar{x}$	517,65	1326,85	0,43	0,95	20,29	66,86	3686,00	2196,64
SD	448,41	491,15	0,47	0,09	9,30	18,10	2503,94	1116,30
Me	452,87	1127,00	0,31	0,96	22,14	71,57	2796,66	1621,58

ID – identifikační číslo probanda v rámci měření, power LF – spektrální výkon LF komponenty (low frequency) v  $ms^2$ , power HF – spektrální výkon HF komponenty (high frequency) v  $ms^2$ , LF/HF – poměr spektrálních komponent LF vůči HF, RR – délka R-R intervalů, rel. LF – relativní spektrální výkon komponenty LF, rel. HF – relativní spektrální výkon komponenty HF, MSSD – průměrná hodnota druhé mocniny rozdílu po sobě následujících R-R intervalů v  $ms^2$ , total power – celkový spektrální výkon v  $ms^2$ ,  $\bar{x}$  – aritmetický průměr, SD – směrodatná odchylka, Me – medián

Jednalo se o aplikaci středofrekvenčních proudů s frekvencí obalové křivky 100 Hz. Další parametry se pro konkrétní skupiny různily. Na rozdíl od prezentované studie se jednalo o bipolární aplikaci. Aplikací čas byl dle protokolu stanoven na 20 min a lokalizace elektrod byla do oblasti processus transversus Th1–Th4. Průtok krve v cévách byl zjišťován pomocí Dopplerova UZ. Probandi (n = 45) byli náhodně rozděleni do 3 skupin dle intenzity aplikovaného proudu. Jednalo se o skupiny s intenzitou prahově senzitivní (AMF = 100 Hz, výsledná intenzita 10–20 mA), prahově motorickou (AMF = 5 Hz, výsledná intenzita 45–50 mA) a prahově algickou (AMF = 100 Hz, výsledná intenzita 80–90 mA), přičemž každá skupina zahrnovala 15 probandů obou pohlaví. Data získaná u jednotlivých skupin byla porovnána mezi sebou. U skupin s intenzitou prahově senzitivní a prahově motorickou došlo bezprostředně po aplikaci ke zvýšení rychlosti průtoku krve, ale již 30 min po ukončení aplikace proudu se hodnoty vrátily téměř na úroveň před intervencí. U skupiny s intenzitou prahově algickou došlo naopak k mírnému snížení rychlosti průtoku krve, stav se po 30 min od ukončení intervence rovněž vrátil do původní úrovně [18].

Randomizovaná zaslepená kontrolovaná studie [8], která zkoumala změny parametrů variability srdeční frekvence po aplikaci středofrekvenčních proudů u pacientů s nespecifickými bolestmi spodní části zad (tzv. „non-specific low back pain“). Na rozdíl od předchozích studií se tedy nejednalo o zdravé probandy. Oproti studii [18] zde byla použita tetrapolární aplikace středofrekvenčních proudů. Jednalo se o jednorázovou aplikaci klasické interference s nosnou frekvencí 4 000 Hz, frekvencí obalové křivky 65 Hz a spektrem 30 Hz. Byly použity nalepovací elektrody (na rozdíl od prezentované studie, kde byly použity elektrody vakuové), které byly umístěny do oblasti prvního až pátého lumbálního obratle. Aplikací okruhy byly na sebe kolmé. Požadovaná intenzita proudu

byla podprahově motorická (bez viditelného svalového záškubu), aplikací čas byl stanoven na 25 min. Výsledky byly porovnávány s kontrolní skupinou, u které nebyl aplikován proud, ale pouze byly přiloženy elektrody. Variabilita srdeční frekvence byla měřena pomocí bezdrátového snímače, který zaznamenával R-R intervaly před aplikací elektrických proudů, při ní a po ní. U výzkumné skupiny došlo ke změnám naznačujícím nárůst parasympatické aktivity a pokles sympatické aktivity bezprostředně po intervenci. Hodnoceny byly parametry MSSD, ukazatel SD1 (ukazatel krátkodobé variability nelineárního spektra), ukazatel SD2 (ukazatel dlouhodobé variability nelineárního spektra) a poměr sympatikus/parasympatikus (S:PS ratio), který má odrážet autonomní rovnováhu, tj. vztah mezi sympatickou a parasympatickou aktivitou. Tyto parametry byly převzaty ze studie [19]. Parametr SD1 se považuje za ukazatel parasympatické aktivity. U parametru SD2 není fyziologický význam zcela jasný, ale často je považován za inverzní indikátor sympatické aktivity. Došlo k signifikantnímu poklesu hodnoty parametru poměr sympatikus/parasympatikus a naopak k signifikantnímu nárůstu hodnoty parametrů MSSD, SD1 a SD2. Tyto změny svědčí o zvýšení parasympatické aktivity. Autoři studie dávají za příčinu změn hodnot parametrů dva možné faktory. Prvním z nich jsou přímé účinky na míchu a centra ANS, které stimulují navazující inhibiční systémy. Druhým vysvětlením jsou účinky odvozené od těchto systémů, které se objevují jako odpověď na vzniklou autonomní nerovnováhu. Autoři studie uvádějí, že již jedna aplikace středofrekvenčních proudů může mít vliv na autonomní nervový systém a na jeho přeladění směrem k parasympatické aktivitě (po jakou dobu tato situace přetrvává bohužel studie nezmiňuje). Studie se účastnili pouze muži (n = 56) [8].

K obdobným výsledkům dospěla studie [4], kde stejní autoři použili obdobný design studie, jen se jí účastnilo

**Tab. 3. Porovnání hodnot ukazatelů VSF u výzkumné skupiny (n = 11) (s aplikací proudů) mezi pozicemi leh 2 (druhý leh před proudy) a leh 4 (druhý leh po proudy).**

Tab. 3. Comparison of HRV index values in the research group (N = 11) (with application of currents) between positions supine 2 (second supine before currents) and supine 4 (second supine after currents).

Parametr SAVSF	p
power LF	0,72
power HF	0,18
LF/HF	0,86
RR	0,09
rel. LF	0,79
rel. HF	0,79
<b>MSSD</b>	<b>0,04* ↑</b>
total power	0,11

\* – statisticky významná změna, ↑ – rostoucí tendence parametru, p – hladina statistické významnosti, power LF – spektrální výkon LF komponenty (low frequency), power HF – spektrální výkon HF komponenty (high frequency), LF/HF – poměr spektrálních komponent LF vůči HF, RR – délka R-R intervalů, rel. LF – Relativní spektrální výkon komponenty LF, rel. HF – relativní spektrální výkon komponenty HF, MSSD – průměrná hodnota druhé mocniny rozdílu po sobě následujících R-R intervalů v ms<sup>2</sup>, total power – celkový spektrální výkon

90 zdravých probandů. Ze závěrů studie plyne výraznější aktivita parasympatiky u probandů s reálně aplikovanými středofrekvenčními proudy v porovnání s placebo skupinou.

Studie [5] se též zaměřovala na změny variability srdeční frekvence po aplikaci středofrekvenčních proudů u zdravých probandů (n = 73). I zde byl zjištěn nárůst ukazatelů variability srdeční frekvence

**Tab. 4. Naměřené hodnoty ukazatelů VSF – kontrolní skupina – druhý leh před placebo (n = 12).**

Tab. 4. Measured values of HRV parameters – control group – second supine before placebo (N = 12).

ID	Power LF	Power HF	LF/HF	RR	Rel. LF	Rel. HF	MSSD	Total power
12	434,52	702,56	0,62	1,00	34,75	56,19	3029,17	1250,35
13	213,24	302,14	0,70	0,73	34,28	48,56	619,26	622,15
14	792,55	3690,74	0,21	0,91	17,34	80,77	6159,95	4569,62
15	289,51	648,22	0,45	0,93	28,03	62,85	3574,26	1031,91
16	230,13	1984,05	0,12	0,98	8,85	76,39	11109,04	2597,16
17	417,42	2968,08	0,14	0,96	11,70	83,32	6483,05	3562,91
18	466,28	855,83	0,55	1,10	14,37	26,38	3584,89	3241,75
19	63,96	304,00	0,21	0,78	16,26	77,31	674,91	393,21
20	1433,73	9527,09	0,15	0,97	11,77	78,18	32244,43	12185,47
21	347,04	1596,60	0,22	1,04	15,72	72,34	8751,63	2206,84
22	642,07	175,55	3,66	0,75	59,66	16,26	431,41	1076,85
23	337,85	1384,52	0,41	0,93	18,63	76,54	4201,61	1808,63
$\bar{x}$	472,36	2011,62	0,62	0,92	22,61	62,92	6738,63	2878,90
SD	343,98	2498,34	0,94	0,11	13,88	21,20	8307,88	3059,54
Me	382,23	1120,18	0,31	0,94	16,80	74,37	3893,25	2007,74

ID – identifikační číslo probanda v rámci měření, power LF – spektrální výkon LF komponenty (low frequency) v  $\text{ms}^2$ , power HF – spektrální výkon HF komponenty (high frequency) v  $\text{ms}^2$ , LF/HF – poměr spektrálních komponent LF vůči HF, RR – délka R-R intervalů, rel. LF – relativní spektrální výkon komponenty LF, rel. HF – relativní spektrální výkon komponenty HF, MSSD – průměrná hodnota druhé mocniny rozdílu po sobě následujících R-R intervalů v  $\text{ms}^2$ , total power – celkový spektrální výkon v  $\text{ms}^2$ ,  $\bar{x}$  – aritmetický průměr, SD – směrodatná odchylka, Me – medián

naznačujících zvýšenou parasympatickou aktivitu. Shodně se studií [8] byly ke sledování změn využity parametry SD1, SD2 a poměr sympatikus/parasympatikus. Rovněž uložení a typ elektrod se shodoval s touto studií, stejně tak nosná frekvence aplikovaného proudu a intenzita. Rozdíl byl ve frekvenci obalové křivky, která v tomto případě byla 100 Hz. Další parametry již studie neuvádí. Po aplikaci středofrekvenčních proudů došlo ke statisticky významnému zvýšení parametru SD1 a SD2. U parametru poměr sympatikus/parasympatikus došlo naopak ke statisticky významnému snížení. Podobně jako u závěrů studie [8] se jeví aplikace středofrekvenčních proudů jako možný faktor vedoucí k přeladění ANS směrem k parasympatické aktivitě. Výsledky byly porovnávány s kontrolní (placebo)

skupinou, u které nebyl aplikován žádný elektrický proud. Zde byly změny pouze minimální (a statisticky nevýznamné) [5].

Studie [6] zkoumala vliv jednotlivých frekvencí a intenzit středofrekvenčních proudů na VSF. Aplikace byla v oblasti Th1–Th4. Studie se zúčastnilo 45 zdravých probandů obou pohlaví, kteří byli rozděleni do 3 skupin dle následně aplikovaných frekvencí (obalové křivky) a intenzit. Jednalo se o bipolární aplikaci středofrekvenčních proudů. Aplikáční čas byl dle protokolu stanoven na 20 min. Variabilita srdeční frekvence byla hodnocena pomocí měření R-R intervalů odečítaných z EKG. Sledované parametry zde uvedeny nejsou. U skupiny 1 byla použita frekvence obalové křivky 100 Hz a nízká intenzita 10–20 mA, u skupiny 2 frekvence 5 Hz a intenzita 45–50 mA a u skupiny 3 frekvence 100 Hz a intenzita

80–90 mA. Nosná frekvence aplikovaného proudu není zmíněna. Ukázalo se, že výraznější vliv na VSF měly proudy při použití frekvence 100 Hz a intenzitě 10–20 mA a také při frekvenci 5 Hz a intenzitě 45–50 mA. V obou těchto případech došlo k nárůstu variability srdeční frekvence ihned po aplikaci proudů, již 30 min po ukončení aplikace došlo k výraznému poklesu (téměř na hodnoty před aplikací). Při kombinaci frekvence 100 Hz a intenzitě 80–90 mA byl výrazný vliv aplikovaného proudu na snížení bolesti, ale minimální vliv na změny variability srdeční frekvence [6].

Důležitým parametrem se jeví frekvence obalové křivky (AMF – amplitudová modulace frekvence). U skupiny 30 zdravých jedinců v období mladé dospělosti (20–30 let) byly porovnávány účinky při AMF 10 Hz, AMF 100 Hz

**Tab. 5. Naměřené hodnoty ukazatelů VSF – kontrolní skupina – leh 4 (druhý leh po placebo) (n = 12).**

Tab. 5. Measured values of HRV parameters – control group – supine 4 (second supine after placebo) (N = 12).

ID	Power LF	Power HF	LF/HF	RR	Rel. LF	Rel. HF	MSSD	Total power
12	391,33	713,49	0,55	1,05	27,63	50,38	3169,38	1415,27
13	199,20	378,63	0,80	0,85	28,22	53,61	848,22	705,91
14	611,32	5547,38	0,11	0,99	9,90	89,88	9646,06	6171,87
15	423,61	1067,23	0,40	1,08	26,04	65,70	4897,51	1624,37
16	335,71	3083,68	0,11	1,04	9,75	89,59	9837,33	3442,01
17	313,87	2496,03	0,13	0,98	10,25	81,80	6387,09	3051,69
18	1047,09	1580,63	0,66	1,10	19,09	28,81	6651,04	5485,76
19	211,61	437,08	0,48	0,88	30,99	64,01	1611,00	682,80
20	937,36	5643,30	0,17	1,08	12,18	73,30	23681,42	7698,43
21	390,07	1893,27	0,21	1,11	15,83	76,85	5731,89	2463,59
22	455,44	134,17	3,39	0,85	38,31	11,28	460,17	1188,97
23	276,04	1187,64	0,23	0,97	17,65	75,94	4178,07	1563,27
$\bar{x}$	466,05	2013,54	0,60	0,99	20,49	63,43	6424,93	2957,83
SD	259,22	1807,41	0,87	0,09	9,14	23,00	5973,35	2220,35
Me	390,70	1384,14	0,31	1,01	18,37	69,50	5314,70	2043,98

ID – identifikační číslo probanda v rámci měření, power LF – spektrální výkon LF komponenty (low frequency) v  $\text{ms}^2$ , power HF – spektrální výkon HF komponenty (high frequency) v  $\text{ms}^2$ , LF/HF – poměr spektrálních komponent LF vůči HF, RR – délka R-R intervalů, rel. LF – relativní spektrální výkon komponenty LF, rel. HF – relativní spektrální výkon komponenty HF, MSSD – průměrná hodnota druhé mocniny rozdílu po sobě následujících R-R intervalů v  $\text{ms}^2$ , total power – celkový spektrální výkon v  $\text{ms}^2$ ,  $\bar{x}$  – aritmetický průměr, SD – směrodatná odchylka, Me – medián

a kontrolní (placebo) skupinou, tj. bez proudu. Všechny tři skupiny tvořili stejní zdraví probandi (kteří podstoupili aplikaci proudu s frekvencí 10 Hz, 100 Hz a bez proudu). Aplikace proudů probíhala do oblasti C/Th přechodu a horní hrudní páteře (Th1–Th4) pomocí samolepících elektrod v intenzitě nadprahově senzitivní. Nosná frekvence byla pro obě frekvence obalové křivky stejná, tj. 4 000 Hz a aplikace trvala 30 min. Studie se zúčastnilo 30 probandů obou pohlaví (21 žen a 9 mužů). Zajímavý byl průběh měření, kdy probandi byli v poloze vleže na zádech a v této pozici setrvali 90 min (20 min odpočinek – 20 min sběr dat před intervencí – 30 min intervence – 20 min sběr dat po intervenci). Variabilita srdeční frekvence byla hodnocena pomocí měřiče tepové frekvence (Polar brand, model 810i). Součástí měření bylo

také kontrolované dýchání s frekvencí 12 dechů za minutu. U všech skupin došlo po intervenci k mírnému snížení srdeční frekvence. Celkově došlo k rozdílným vlivům jednotlivých skupin na poměr sympatické/parasympatické aktivity. U skupiny placebo se poměr těchto aktivit téměř nezměnil. U skupiny s AMF 10 Hz došlo ke statisticky významné redukci sympatické aktivity a k signifikantnímu nárůstu parasympatické aktivity (snížení hodnoty ukazatele power LF, zvýšení hodnoty ukazatele power HF a snížení poměru LF/HF). Při AMF 100 Hz se objevila zcela opačná reakce, a tedy statisticky významný nárůst sympatické složky a pokles parasympatické (zvýšení hodnoty ukazatele power LF, snížení hodnoty ukazatele power HF a celkové zvýšení poměru LF/HF) bezprostředně po intervenci [7].

Podobných výsledků bylo dosaženo také ve studii [20]. Zde byl zkoumán ( $n = 7$ ) vliv TENS proudů o různých frekvencích (10 Hz a 100 Hz) na variabilitu srdeční frekvence. Shodně se studií [7] bylo použito kontrolované dýchání (s frekvencí 12 dechů/min) během měření. Lokalizace elektrod byla v oblasti Th1–L2. I zde byl u frekvence 100 Hz statisticky významně zvýšen parametr power LF a statisticky významně snížen parametr power HF. U frekvence 10 Hz došlo k opačné reakci, která byla rovněž statisticky významná [20].

Problémem obou studií [7,20] by mohlo být zařazení kontrolovaného dýchání během měření. Nastavením striktní dechové frekvence dochází k přidání dalšího externího stimulu, který může následně ovlivnit výsledky [16]. To může být vysvětlením, proč tato studie [7] dospěla



**Tab. 6. Porovnání hodnot ukazatelů VSF pro placebo (kontrolní) skupinu (n = 12) (bez aplikace proudů) mezi pozicemi leh 2 (druhý leh před placebo) a leh 4 (druhý leh po placebo).**

Tab. 6. Comparison of HRV index values in the placebo (control) group (N = 12) (without application of currents) between positions supine 2 (second supine before placebo) and supine 4 (second supine after placebo).

Parametr SAVSF	p
power LF	0,75
power HF	0,35
LF/HF	0,53
<b>RR</b>	<b>0,003* ↑</b>
rel. LF	0,24
rel. HF	0,88
MSSD	0,58
total power	0,21

\* – statisticky významná změna,  
 ↑ – rostoucí tendence parametru,  
 p – hladina statistické významnosti,  
 power LF – spektrální výkon LF komponenty (low frequency),  
 power HF – spektrální výkon HF komponenty (high frequency),  
 LF/HF – poměr spektrálních komponent LF vůči HF, RR – délka R-R intervalů,  
 rel. LF – Relativní spektrální výkon komponenty LF, rel. HF – relativní spektrální výkon komponenty HF,  
 MSSD – průměrná hodnota druhé mocniny rozdílu po sobě následujících R-R intervalů v ms<sup>2</sup>,  
 total power – celkový spektrální výkon

k jiným výsledkům než naše studie či studie výše zmíněné [5,8], které prokázaly spíše nárůst parasympatické aktivity po aplikaci středofrekvenčních proudů.

Prezentovaná studie zahrnovala 23 zdravých probandů (9 mužů, 14 žen), kteří byli náhodně rozděleni do dvou skupin. První skupina (n = 11) byla

výzkumná s aplikací izoplanárního vektorového pole mezi jednotlivými měřeními. Druhá skupina byla kontrolní (bez aplikovaného proudu, pouze s přiložením elektrod do stejné oblasti jako skupina výzkumná).

Aplikovány byly středofrekvenční proudy (izoplanární vektorové pole) o nosné frekvenci 4 000 Hz a amplitudově modulované frekvenci 100 Hz. Aplikace probíhala pomocí vakuových elektrod do oblasti Th1–Th4 v intenzitě nadprahově senzitivní. Cílená aplikační oblast byla Th1–Th4 (v této úrovni nachází ganglia truncus sympathicus). Variabilita srdeční frekvence byla hodnocena pomocí krátkodobé spektrální analýzy diagnostickým systémem VarCor PF7. Při hodnocení změny variability srdeční frekvence byly komparovány hodnoty ukazatelů VSF z pozice druhého lehu (ze zkoušky leh–stoj–leh) před aplikací středofrekvenčních proudů a po jejich aplikaci (u kontrolní, tj. placebo skupiny před aplikací elektrod bez průchodu proudu a po jejich aplikaci).

U kontrolní (placebo) skupiny došlo při porovnání druhého lehu před použitím přiložením elektrod bez aplikace proudů a po něm ke statisticky významné změně hodnoty časového ukazatele R-R intervaly.

U výzkumné skupiny došlo při porovnání druhého lehu před aplikací a po aplikaci středofrekvenčních proudů k signifikantním změnám hodnoty časového ukazatele MSSD. Lze tedy konstatovat, že vliv středofrekvenčních proudů na ANS, hodnocený pomocí změny variability srdeční frekvence, byl v tomto případě minimální.

### Závěr

V této studii byla využita metoda spektrální analýzy variability srdeční frekvence. Měření proběhlo ve standardní ortoklinostatické zkoušce leh–stoj–leh v krátkodobých záznamech. Při porovnání jednotlivých parametrů variability srdeční frekvence v pozici leh 2 (druhý leh před aplikací izoplanárního

vektorového pole) a leh 4 (druhý leh po aplikaci izoplanárního vektorového pole) došlo k signifikantnímu vzestupu hodnoty parametru MSSD ( $p = 0,04$ ). U kontrolní skupiny došlo k signifikantnímu vzestupu hodnoty parametru R-R intervaly ( $p = 0,003$ ). Lze tedy konstatovat, že vliv středofrekvenčních proudů (izoplanární vektorové pole), aplikovaných v oblasti Th1–Th4 v amplitudově modulované frekvenci 100 Hz u zdravých probandů v intenzitě nadprahově senzitivní v délce 15 min, byl na kardiální autonomní nervový systém (hodnocený změnami variability srdeční frekvence) v této studii minimální. Došlo pouze k vzestupu jednoho časového ukazatele, tj. v posuzování doplňkového k ukazatelům frekvenčním.

Pro širší využití získaných poznatků do klinické praxe by bylo vhodné navázat výzkumem na větším vzorku probandů a dále komparovat s výzkumem na pacientech.

### Literatura

- Poděbradský J, Vařeka I. Fyzikální terapie I. Praha: Grada Publishing 1998: 183–184.
- Uhlíř P, Opavský J. Efekt čtyřkomorové vzestupné izotermní galvanické lázně na autonomní nervový systém, hodnocený vybranými ukazateli spektrální analýzy variability srdeční frekvence. Rehabil Fyz Lek 2018; 25(4): 143–147.
- Uhlíř P. Vliv Träbertových proudů na autonomní nervový systém hodnocený ukazateli spektrální a časové analýzy variability srdeční frekvence. Rehabil Fyz Lek 2021; 28(3): 104–108. doi: 10.48095/ccrhl2021104.
- Espejo-Antúnez L, Fernández-Morales C, Hernández-Sánchez S et al. The impact of the stress-associated autonomic response of physiotherapy students receiving interferential current in an electrotherapy training session. Int J Environ Res Public Health 2022; 19(20): 13348. doi: 10.3390/ijerph192013348.
- De-la-Cruz-Torres B, Martínez-Jiménez E, Navarro-Flores E et al. Heart rate variability monitoring during interferential current application in the lower back area: A cross-sectional study. Int J Environ Res Public Health 2021; 18(7): 3394. doi: 10.3390/ijerph18073394.
- Cho S-H. Frequency and intensity of electrical stimulation of human sympathetic ganglia affect heart rate variability and pain threshold. Appl Sci 2019; 9(21): 4490. doi: 10.3390/app9214490.

7. Oliveira MR, de Lima KS, Righi NC et al. Effects of interferential current on autonomic nervous system in healthy volunteers: randomized clinical trial. *Saúde e Pesquisa* 2022; 15(2): 1–14. doi: 10.17765/2176-9206.2022v15n2.e8280.
8. Espejo-Antúnez L, Fernández-Morales C, Cardero-Durán MLÁ et al. Detection of changes on parameters related of heart rate variability after applying current interferential therapy in subjects with non-specific low back pain. *Diagnostics* 2021; 11(12): 2175. doi: 10.3390/diagnostics11122175.
9. Botek M, Stejskal P, Jakubec A et al. Kvantifikace aktivity autonomního nervového systému v zotavení s možností monitorování procesu superkompenzace metodou spektrální analýzy variability srdeční frekvence. In: Salinger J (ed). *Variabilita srdeční frekvence a její hodnocení v biomedicínských oborech – od teorie ke klinické praxi*. Olomouc: Univerzita Palackého 2004: 10–17.
10. Opavský J. Autonomní nervový systém a diabetická autonomní neuropatie: Klinické aspekty a diagnostika. Praha: Galén 2002: 131.
11. Stejskal P, Salinger J. Spektrální analýza variability srdeční frekvence – základy metodiky a literární přehled o jejím klinickém využití. *Med Sport Boh Slov* 1996; 5(2): 33–42.
12. Salinger J, Štěpaník J, Krejčí J et al. Non invasive investigation of the function of the autonomic nervous system with the use of the VarCor PF7 system. In: Z. Borysiuk (ed). 5th International Conference Movement and Health-proceedings. Opole: Opole University of Technology 2006: 486–493.
13. Javorka M, Zila I, Balhárek T et al. Heart rate recovery after exercise: relations to heart rate variability and complexity. *Braz J Med Biol Res* 2002; 35(8): 991–1000. doi: 10.1590/s0100-879x2002000800018.
14. Sánchez-Manso JC, Gujarathi R, Varacallo M. *Autonomic dysfunction*. Treasure Island: StatPearls Publishing 2024.
15. Gibbons CH. Basics of autonomic nervous system function. *Handb Clin Neurol* 2019; 160: 407–418.
16. Pumprla J, Sovová E, Howorka K. Variabilita srdeční frekvence: Využití v interní praxi se zaměřením na metabolický syndrom. *Interní Med* 2014; 16(5): 205–209.
17. Estévez M, Machado C, Leisman G et al. Spectral analysis of heart rate variability. *International Journal on Disability and Human Development* 2016; 15(1): 5–17. doi: 10.1515/ijdh-2014-0025.
18. Jin HK, Hwang TY, Cho SH. Effect of electrical stimulation on blood flow velocity and vessel size. *Open Med* 2017; 12: 5–11. doi: 10.1515/med-2017-0002.
19. Naranjo Orellana J, de la Cruz Torres B, Sara-bia Cachadiña E et al. Two new indexes for the assessment of autonomic balance in elite soccer players. *Int J Sports Physiol Perform* 2015; 10(4): 452–457. doi: 10.1123/ijspp.2014-0235.
20. Stein C, Dal Lago P, Ferreira JB et al. Transcutaneous electrical nerve stimulation at different frequencies on heart rate variability in healthy subjects. *Auton Neurosci* 2011; 165(2): 205–208. doi: 10.1016/j.autneu.2011.07.003.

*Doručeno/Submitted: 28. 11. 2024*

*Přijato/Accepted: 6. 4. 2025*

**Korespondenční autor:**

**PhDr. Petr Uhlíř, Ph.D.**

*Katedra fyzioterapie*

*Fakulta tělesné kultury*

*Univerzita Palackého v Olomouci*

*třída Míru 117*

*771 11 Olomouc*

*e-mail: petr.uhlir@upol.cz*

**Konflikt zájmů:** Autoři deklarují, že text článku odpovídá etickým standardům, byla dodržena anonymita pacientů a prohlašují, že v souvislosti s předmětem článku nemají finanční, poradenské ani jiné komerční zájmy.

**Publikační etika:** Příspěvek nebyl dosud publikován ani není v současnosti zaslán do jiného časopisu pro posouzení. Autoři souhlasí s uveřejněním svého jména a e-mailového kontaktu v publikovaném textu.

**Dedikace:** Článek není podpořen grantem ani nevznikl za podpory žádné společnosti.

Redakční rada potvrzuje, že rukopis práce splnil ICMJE kritéria pro publikace zasílané do biomedicínských časopisů.

**Conflict of Interest:** The authors declare that the article/manuscript complies with ethical standards, patient anonymity has been respected, and they state that they have no financial, advisory or other commercial interests in relation to the subject matter.

**Publication Ethics:** This article/manuscript has not been published or is currently being submitted for another review. The authors agree to publish their names and e-mails in the published article/manuscript.

**Dedication:** The article/manuscript is not supported by a grant nor has it been created with the support of any company.

The Editorial Board declares that the manuscript met the ICMJE “uniform requirements” for biomedical papers.