

# Influence of binaural beats on the state of relaxation and mood

*O wpływie dudnienia obuusznego na stan relaksacji i nastrój*

Julia Jurczyk

Uniwersytet Humanistycznospołeczny SWPS

## ABSTRACT

**Objectives.** Alpha brain waves have a frequency of 8 to 12 Hz and in humans are most often associated with a state of relaxation, stress relief, and peace. The results of many studies show that brainwaves can be stimulated by the binaural beats with a frequency corresponding to the given waves. The following study was conducted in order to answer the question of whether binaural beats at alpha wave frequency (10 Hz) will affect subjective mood, executive functions, and decrease pulse rate under the influence of emotional stimuli. In the described study, it was assumed that these changes may be accompanied by an increase in the EEG signal strength in the alpha band.

**Material and methods.** A total of 30 people were subjected to a manipulation experiment involving listening

to binaural beats, 15 in the experimental group, and 15 in the control group. The participants of the experimental group listened to binaural beats with a frequency of 10 Hz twice for 3 minutes, while the participants of the control group spent the same time in silence. Pulse measurements were taken in both groups, Emotional Stroop Test was carried out, and the UMACL questionnaire was completed. Afterwards, it was checked whether the mean values of these variables were significantly different between the groups.

**Results.** The results of the analysis indicated that the subjects who listened to binaural beats at a frequency of 10 Hz had a higher hedonic tone, i.e. they declared more pleasure than those who did not undergo this stimulation. At the same time, the study showed no significant changes in the measurement of heart rate, executive functions, tension, or energy arousal between the groups.

**Conclusions.** The results do not clearly indicate whether and how binaural beats can affect mood, but they are the basis for further, in-depth research on the effect of binaural beats.

## STRESZCZENIE

**Cel.** Fale mózgowo alfa mają częstotliwość od 8 do 12 Hz i u ludzi najczęściej związane są ze stanem relaksacji, odprężenia oraz spokoju. Wyniki wielu badań wskazują na to, że fale mózgowo mogą być stymulowane poprzez tzw. dudnienie obuuszne o częstotliwości odpowiadającej danym falom. Poniższe badanie zostało przeprowadzone, by odpowiedzieć na pytanie, czy dudnienie obuuszne o częstotliwości fal alfa (10 Hz) wpłynie na



Received: 17.04.2021

Accepted: 26.01.2022

### KEYWORDS:

- music therapy
- relaxation
- brainwaves

### SŁOWA KLUCZOWE:

- muzykoterapia
- relaksacja
- fale mózgowo

### CORRESPONDENCE ADDRESS / ADRES DO KORESPONDENCJI

Julia Jurczyk

Uniwersytet Humanistycznospołeczny SWPS

Biurow Dziekana Wydziału Psychologii w Warszawie

ul. Chodakowska 19/31, pokój 305, 03-815 Warszawa

email: [julia.jurczyk@gmail.com](mailto:julia.jurczyk@gmail.com)

subiektywne odczucie nastroju, obniżenie pulsu oraz sprawność funkcji wykonawczych pod wpływem bodźców emocjonalnych. W opisywanym badaniu przyjęto założenie, że zmianom tym może towarzyszyć wzrost mocy sygnału EEG w paśmie alfa.

**Metoda.** Eksperymentowi z manipulacją polegającą na słuchaniu dudnienia obuuszego zostało poddanych w sumie 30 osób, 15 w grupie eksperymentalnej i 15 w kontrolnej. Uczestnicy grupy eksperymentalnej słuchali dwa razy przez 3 minuty dudnienia obuuszego o częstotliwości 10 Hz, uczestnicy grupy kontrolnej ten sam czas spędzili w ciszy. W obu grupach dokonano pomiarów pulsu, przeprowadzono Emocjonalny Test Stroopa oraz kwestionariusz UMACL, a następnie

sprawdzono, czy średnie wartości tych zmiennych pomiędzy grupami różnią się istotnie.

**Wyniki.** Wyniki analizy wskazały, że badani, którzy słuchali dudnienia obuuszego o częstotliwości 10 Hz mieli wyższy ton hedonistyczny, czyli deklarowali, że odczuwają większą przyjemność od osób niepoddanych tej stymulacji. Jednocześnie badanie nie wykazało istotnych zmian w pomiarze pulsu, funkcji wykonawczych, pobudzenia napięciowego ani energetycznego pomiędzy grupami.

**Wnioski.** Wyniki te nie wskazują jednoznacznie, czy i w jaki sposób dudnienie obuuszne może wpływać na nastrój. Stanowią jednak podstawę do prowadzenia dalszych, pogłębionych badań nad wpływem dudnienia obuuszego.

## Introduction

Nowadays when our body cannot always cope with the demands of the environment, increasingly more desirable and sought after are those methods of therapy which appear to be effective in reducing stress level, helping to relax, and boosting one's mood. At the same time, the progress made in science enables us to gain better insight into the processes responsible for our mental states and to develop methods which help counter irregularities in this area.

Binaural beats are one of the audio-visual entrainment (AVE) techniques which, together with transcranial direct current stimulation (tDCS) and neurofeedback, make up intervention tools employed in neurotherapy. While neurofeedback shapes the self-regulation processes, hence being one of the volitional methods, tDCS and AVE may constitute more invasive methods in that they are independent of our will.

The basis for employing these techniques was provided by the discovery of bioelectric brain activity. The phenomenon was first recorded in detail in a human in the 1920s by the German psychiatrist Hans Berger, recognised as the father of clinical electroencephalography. In his work, Berger was able to identify alpha and beta waves (Thompson and Thompson, 2003). This allowed human internal states to be described not only based on the observation of their behaviours or through conducting tests, but also by analysing the records of electrical activity taking place in different brain cortical areas, and subsequently linking them to those states. What is more, it appeared that cortical activity can be changed by a rhythmic sensory input, e.g. a sequence of flashing lights leads to a phenomenon called photic driving, which is an increase in the EEG power around the frequency with which the photic stimuli are displayed (Becher *et al.*, 2015).

## Alpha brain waves

Neurons located in the brain generate action potentials to communicate with one another. Transmitting information between neurons creates a change in the action potential, with this change being responsible for the generation of electromagnetic field. Moreover, the changes in electromagnetic field can be detected on the electroencephalographic curve. Historically, while recording the brain's bioelectrical activity (EEG), the following brain waves can be distinguished:

- delta (1.5–4 Hz) are associated with deep sleep and anaesthesia;
- theta (4–8 Hz) occur when spatial information is being processed; these waves are critical for the process of encoding and remembering information;
- alfa (8–12 Hz) dominate during relaxation with eyes closed;
- beta (12–30 Hz) are associated with moving and solving complex cognitive tasks, particularly those requiring attention (Sanders, 2018);
- gamma (30–80 Hz) are associated with the processes involving perception and attention, binding information and encoding information in short-term memory (Jia and Kohn, 2011).

The first findings suggesting that alpha and beta waves are linked to the resting brain activity was the already mentioned Hans Berger (Thompson and Thompson, 2003). The German psychiatrist made the observation that this brain wave pattern was prevalent with eyes closed, while became reduced with eyes open (a phenomenon described today as Berger's effect). The reason for this lies in the mechanism triggering the emergence of alpha waves – their amplitude is a function of reduced sensory input projecting from thalamic nuclei to the cerebral cortex. Keeping eyes open increases the strength of sensory information reaching the thalamus

and cerebral cortex and, as a result, it impedes alpha waves (Vernon *et al.*, 2009).

Alpha waves oscillate within a frequency ranging between 8 and 12 Hz. The state in which alpha waves dominate is described as peaceful and pleasant. It is associated with muscle relaxation and creativity, and it can occur during meditation. Some researchers divide alpha waves into low (8–10 Hz) and high (10–12 Hz), linking them to other than relaxation states. Low alpha waves are associated with semantic memory processes, whereas the high ones – with optimisation of cognitive processes and working memory, particularly with reactivating information from long-term memory in short-term memory (Marzbani *et al.*, 2016; Klimesch *et al.*, 2005).

A reduction in alpha wave power on the right side of the brain is observed in depression, abuse of drugs as well as Parkinson's and Alzheimer's (Braverman, 1996). People with Alzheimer's disease are known to have a considerably higher theta/alpha ratio which is equivalent to an increase in the theta rhythm and a decrease in the alpha rhythm (Fahimi *et al.*, 2017)

A study conducted by Dadashi *et al.* (2015) has demonstrated that increasing the amplitude of alpha and theta waves in occipital lobe using neurofeedback technique can reduce symptoms of generalised anxiety disorder and increase global functioning of patients suffering from this disorder. Moreover, increasing alpha wave power in the front cortex, fronto-central and centro-parietal regions has been associated with better performance on the Stroop test (interference ability), more effective working memory, and a lower level of anxiety (Jaiswal *et al.*, 2019).

### Binaural beats

The phenomenon of binaural beats was first recorded by Heinrich W. Dove in 1839 and was more extensively elaborated on by Gerald Oster over 50 years later (Chaieb *et al.*, 2015). When two tones, whose frequencies are very similar (e.g. 300 and 305 Hz), reach both ears simultaneously, the tone perceived by the listener has a frequency made up by the difference between the two original frequencies (e.g. 5 Hz), which is referred to as acoustic beats. If each tone reaches either ear separately, a tone is generated whose frequency also equals the difference between the frequencies of the two original tones. However, they are not combined physically outside but inside the auditory system. They are known as binaural beats. At the first stage of their travel, the tones, reaching both ears at the same time, are combined into one percept in the superior olivary nucleus and inferior colliculus, and move on as an electrical input along the brainstem passing through the reticular formation to the auditory cortex (López-Caballero and Escera, 2017).

Kasprzak (2011) conducted a study on a group of 20 people, which showed statistically significant changes in

the EEG signal caused by the stimulation using binaural beats. The researcher used 100 Hz and 110 Hz tones which generated a 10 Hz frequency difference (alpha waves). Although a drop in the medium alpha wave amplitude was recorded, (8–12 Hz), a very clear reaction of a 10 Hz frequency was observed among four individuals. The effect produced by stimulating brain waves has also been observed by Becher *et al.* (2015). In their study, using intracranial electroencephalography, the authors recorded a considerable increase in the power of brain waves at a 40 Hz frequency band during exposure to acoustic beats of the same frequency, as well as a drop in their power at the frequency band of 5 Hz and 80 Hz during acoustic beats of the same frequencies.

Some researchers advocate the view that binaural beats do not lead to stimulation of brain waves but rather to an improvement in the connections between the two cerebral hemispheres in the auditory cortex region. Better communication between neurons is manifested in the synchronisation of the frequencies generated in the left and right hemispheres (Solcà, *et al.*, 2016). Although there is no consensus as to the underlying mechanism behind binaural beats, there have been increasingly more studies providing evidence that this technique is effective in improving cognitive functions such as memory and attention, while also being successful in alleviating anxiety and raising the level of pain tolerance (Garcia-Argibay, *et al.*, 2019).

In carrying out an experiment on a group of individuals who were exposed to binaural beats at a frequency of 14 Hz (low beta waves) and mindfulness techniques, Axelsen *et al.* (2020) have shown that both methods have a positive impact on mental fatigue. Moreover, Derner *et al.* (2018) have found that binaural beats at a 5 Hz frequency enhance long-term memory performance (associative learning) while acoustic beats of the same frequency deteriorate it. A positive impact of binaural and acoustic beats at a frequency level of 40 Hz was also demonstrated by Engelbregt *et al.* (2019). Participants who were exposed to the sound stimulation were able to perform a Flanker task faster, a test used for measuring resistance to interference and cognitive control, than those participants who listened to white noise.

However, not all the research has been unequivocal as to the impact of binaural beats on brain waves. López-Caballero and Escera (2017) investigated the impact of binaural and acoustic beats of the following wave frequencies: theta (4.53 Hz), alpha (8.97 Hz), beta (17.93 Hz), gamma (43.49 Hz), and upper-gamma (57.3 Hz) on the EEG readings, heart rate, and skin conductance. Subjects listened to the sounds presented with various frequencies for a three-minute epoch and, for comparison purposes, to pink noise played for 90 seconds between the different frequency sounds. None of the frequencies investigated caused any significant change in the EEG and psychophysiological measures. The authors themselves

have suggested that the negative findings may have been brought about by the small sample size (14 subjects), hence caution is needed in interpreting them.

A meta-analysis covering 22 studies, which was published in 2018 by Garcia-Argibay *et al.*, suggested that binaural beats have an overall medium effect on memory, attention, anxiety, and analgesia. These findings together with the ones cited earlier allow one to conclude that a considerable number of researchers have observed the effect of bioelectrical brain stimulation when using specially prepared tones and, in particular, binaural beats. As such, this raises the question of whether this technique could be applied as a tool to enhance functioning at the cognitive and emotional levels.

### Research hypotheses

This work aimed to test whether binaural beats with a frequency of 10 Hz will affect, by stimulating brain waves of the same frequency (alpha waves), indirectly behavioural variables, such as subjective mood, pulse, and processing of emotional information (Emotional Stroop Test). The research hypothesis is that a group of people listening to binaural beats at a frequency of 10 Hz will experience improved well-being, enhanced executive functions in the context of emotional stimuli, and whether they will have a lower pulse rate in comparison with the control group.

## Method

### Subjects

**Recruitment stage.** A total of 30 individuals participated in the study; 15 individuals in the experimental group and 15 in the control group. The selection of subjects for the two groups was random. The participants were assigned to the groups in the order of application, starting with the control group, while ensuring the same proportion of women to men in both groups. Each participant had signed a participation consent form.

**Age, gender, and education.** Subjects were 24–49 years of age, with an average age of 35. Overall, 24 women and 6 men were tested: 12 women and 3 men in the control and experimental group. All subjects had a university degree.

### Materials

**Pulse measurement.** A Sanitas digital wrist blood pressure monitor was used to measure pulse.

**Emotional Stroop Test.** This test involves indicating as fast as possible the ink colour of a word that is just being shown. It is often the case that people unconsciously become influenced by the emotional message conveyed

by the words they are reading, which in turn affects their attention and focus on the actual task they are to perform. This phenomenon is named the **emotional Stroop effect**. The effect refers to the delay in the reaction to negatively charged words in comparison with the reaction to a neutral word. The test is applied to measure one's susceptibility to interference, defined as a delay in one's response as a result of negative emotional stimuli (Ben-Haim *et al.*, 2016).

During the test, words coming from the two categories appear on a computer screen – emotionally negative words, e.g. death, and neutral, e.g. a chair. The test designed for this study consisted of three successive blocks, i.e. a trial block (10 words), neutral (20 words repeated, a total of 40), and a negative block (20 words repeated, a total of 40). The time between the blocks was 30 seconds. The words were presented in four colours: blue, green, yellow, and red.

The list of words was devised based on the emotional valence of the words, their length and prevalence in the Polish language, and designed in such a way as to make the last two parameters in the two blocks as equal to each other as possible. In order to evaluate these parameters, the list compiled by Imbir (2016) with 4900 affective words was used.

**UWIST Mood Adjective Checklist UMACL.** For measuring the participants' mood, the UWIST Mood Adjective Checklist UMACL designed by Gerald Matthews, A. Graham Chamberlain, and Dylan M. Jones, and adapted by Ewa Goryńska (2005), was used. The test is applied to measure temporary mood understood as an affective experience of moderate duration (at least several minutes) which is not object-related or quasi-object-related, encompassing the following three dimensions of core affect: Tense Arousal, Energetic Arousal, and Hedonic Tone. The Polish version of UMACL consists of a questionnaire made up of 29 adjectives. While filling it in, participants have to show, using a four-point scale (ranging from "definitely yes" to "definitely no") how each word describes their current mood. The scores are presented according to the following three scales of mood: Energetic Arousal (10 items from 10 to 40 points), Tension Arousal (9 items, from 9 to 36 points), and Hedonic Tone (10 items, from 10 to 40 points) (Goryńska, 2005).

**Binaural beats.** The binaural beats tone was created using Gnaural, open-access software for generating binaural beats. With a 432 Hz tone frequency in one headphone and 442 Hz in the other, the binaural beats are produced at 10 Hz – the same frequency as alpha waves.

**Variables and analysis.** The analysis of data was carried out through the SPSS Statistics programme using Student's t-test for independent groups. The objective of the analysis was to determine whether differences could be found between the means obtained in the measurements mentioned above in the two groups in question (control and experimental). An independent variable

was group allocation. Dependent variables (apart from pulse, all the variables were measured after exposure to beats) included the following:

- pulse difference (PD) – pulse measured after the first three minutes of the test reduced by the pulse measurement taken at the start of the test;
- reaction time to neutral words on Emotional Stroop Test (RTNeu) – measured in milliseconds;
- reaction time to negative words on Emotional Stroop Test (RTNeg) – measured in milliseconds;
- Emotional Stroop Effect (ESE) – reaction time to negative words on Emotional Stroop Test reduced by reaction time to neutral words on Emotional Stroop Test measured in milliseconds;
- Hedonic Tone (HT) – raw result on the Adjective Mood Checklist, defined as self-reported mood in terms of pleasantness – unpleasantness (Goryńska, 2005);
- Energetic Arousal (EA) – raw result on the Adjective Mood Checklist defined as “feeling energised to act” (Goryńska, 2005);
- Tension Arousal (TA) – raw result on the Adjective Mood Checklist defined as a feeling of anxiety (Goryńska, 2005).

### Test procedure

The study was an experimental manipulation, involving listening twice for a three-minute epoch to tones, called binaural beats, sent at a frequency of 10 Hz. First, the subject's pulse was measured. Next, the subject – in the experimental group – was asked to put headphones on and to listen to the tones for three minutes. In the control group, the subject was asked to relax as much as possible with no tones played. After three minutes, the pulse rate was measured once more in both groups and subjects were asked to do Emotional Stroop Test. Having finished the test, the participants from the experimental group listened again to the tones for three minutes through the headphones, while those from the control group were asked to relax. After that time, they were asked to fill in the UMACL questionnaire.

## Results

### Descriptive statistics of variables analysed

**Pulse difference.** The analysis of distribution for the variable “pulse difference” (PD) on Shapiro-Wilk test found that this distribution did not differ significantly from a normal distribution in both the experimental and control group:  $W_{PD\ control\ group}(15) = 0.88; p > 0.05$ ,  $W_{PD\ experimental\ group}(15) = 0.88; p > 0.05$ . The results produced by Levene's test allowed the assumption of homogeneity of variance for the groups being compared:  $F_{PD} = 1.42; p > 0.05$ .

In the control group, the heart rate dropped on average by 1.40 beats per minute ( $M = 1.40$ ), ( $SD = 5.63$ ); whereas in the experimental group – on average by 3.20 heartbeats per minute ( $M = -3.20$ ;  $SD = 6.84$ ).

**Reaction time to neutral words on Emotional Stroop Test.** The analysis of distribution for the variable “reaction time to neutral words on Emotional Stroop Test” (RTNeu) using the Shapiro-Wilk test showed that in both groups the distribution did not differ significantly from a normal distribution:  $W_{RTNeu\ control\ group}(15) = 0.89; p > 0.05$ ,  $W_{RTNeu\ experimental\ group}(15) = 0.87; p > 0.05$ . The results produced by Levene's Test allowed the assumption of homogeneity of variance for the groups being compared:  $F_{RTNeu} = 0.25; p > 0.05$ .

In the control group, the average reaction time to neutral words was 86009.40 ms ( $M = 86009.40$ ;  $SD = 12871.59$ ); while in the experimental group it was 82514.40 ms ( $M = 82514.40$ ;  $SD = 12400.03$ ).

**Reaction time to negative words on Emotional Stroop Test.** The analysis of distribution for the variable “reaction time to negative words on Emotional Stroop Test (RTNeg) using Shapiro-Wilk Test showed that in both the control group and the experimental group this distribution did not differ significantly from a normal distribution:  $W_{RTNeg\ control\ group}(15) = 0.92; p > 0.05$ ,  $W_{RTNeg\ experimental\ group}(15) = 0.89; p > 0.05$ . The results obtained from Levene's Test allowed the assumption of homogeneity of variance for the groups being compared:  $F_{RTNeg} = 0.79; p > 0.05$ .

In the control group, the average reaction time to negative words was 83176.20 ms ( $M = 83176.20$ ;  $SD = 10740.95$ ); while in the experimental group it was 78735.47 ms ( $M = 78735.47$ ;  $SD = 9322.51$ ).

**Emotional Stroop Effect.** The analysis of distribution for the variable Emotional Stroop Effect (ESE) using the Shapiro-Wilk test showed that in both the control group and the experimental group this distribution did not differ significantly from a normal distribution:  $W_{ESE\ control\ group}(15) = 0.90; p > 0.05$ . In the experimental group, the distribution did not differ from a normal distribution at a significance level  $p > 0.01$ :  $W_{ESE\ experimental\ group}(15) = 0.85; p > 0.01$ . The results produced by Levene's Test allowed the assumption of homogeneity of variance for the groups compared:  $F_{ESE} = 0.00; p > 0.05$ .

In the control group, the mean difference between the reaction times to words with negative emotional load and that to the neutral ones, i.e. the Emotional Stroop Effect stood at – 2835.60 ms ( $M = -2835.60$ ;  $SD = 3879.92$ ); while in the experimental group, it was – 3778.93 ms ( $M = -3778.93$ ;  $SD = 3949.97$ ).

**Hedonic Tone.** The analysis of the distribution of the variable Hedonic Tone (HT) carried out using Shapiro-Wilk Test showed that in both the control group and the experimental group this distribution did not differ significantly from a normal distribution:  $W_{HT\ control\ group}(15) = 0.92; p > 0.05$ ,  $W_{HT\ experimental\ group}(15) = 0.95; p > 0.05$ . The

results produced by Levene's test allowed the assumption of homogeneity of variance in the groups compared:  $F_{HT} = 0.04$ ;  $p > 0.05$ .

In the control group, the raw mean score for Hedonic Tone was 30.53 ( $M = 30.53$ ;  $SD = 5.59$ ); whereas in the experimental group, it was 35 ( $M = 35.00$ ;  $SD = 4.93$ ). After having standardised the scores according to age and gender, the mean for the control group was 5 on the sten score scale – an average score, while for the experimental group, the score was high, i.e. 7 on the sten scale.

**Tension Arousal.** The analysis of distribution for the variable Tension Arousal (TA) using the Shapiro-Wilk test showed that in the control group, the distribution did not differ significantly from a normal distribution:  $W_{TA\ control\ group} (15) = 0.88$ ;  $p > 0.05$ . In the experimental group, the distribution of Tension Arousal did not differ from a normal distribution, with the level of significance equal to  $p < 0.001$ :  $W_{TA\ experimental\ group} (15) = 0.80$ ;  $p > 0.001$ . The results produced by Levene's test allowed the assumption of homogeneity of variance in the groups compared:  $F_{TA} = 3.53$ ;  $p > 0.05$ .

In the control group, the raw mean score for Tension Arousal was 16 ( $M = 16.00$ ;  $SD = 5.67$ ); while in the experimental group, it was 12.67 ( $M = 12.67$ ;  $SD = 3.64$ ). After having standardised scores according to age and gender, the mean for the control group ranged between 4 and 5 on the sten score scale, indicating a low up to average score; whereas for the experimental group, it was between 3 and 4 on the scale, indicating a low score.

**Energetic Arousal.** The analysis of distribution for the variable Energetic Arousal (EA) using the Shapiro-Wilk test showed that in both the control group and the experimental group, the distribution did not differ from a normal distribution:  $W_{EA\ control\ group} (15) = 0.98$ ;  $p > 0.05$ ,  $W_{EA\ experimental\ group} (15) = 0.98$ ;  $p > 0.05$ . The results produced by Levene's test allowed the assumption of homogeneity of variance in the groups compared:  $F_{EA} = 0.85$ ;  $p > 0.05$ .

**Table 1.** Descriptive statistics for variables

Variable	Control group		Experimental group	
	mean	standard deviation	mean	standard deviation
PD	-1.40	5.63	-3.20	6.84
RTNeu	86009.40	12871.59	82514.40	12400.03
RTNeg	83176.20	10740.95	78735.47	9322.51
ESE	-2835.60	3879.92	-3778.93	3949.97
HT	30.53	5.59	35.00	4.93
TA	16.00	5.67	12.67	3.64
EA	27.40	5.42	28.47	7.10

**Key.** PD – pulse difference; RTNeu – reaction time to neutral words on Emotional Stroop Test; RTNeg – reaction time to negative words on Emotional Stroop Test; ESE – Emotional Stroop Effect; HT – hedonic tone; TA – tension arousal; EA – energetic arousal

In the control group, the mean raw score for Energetic Arousal was 27.40 ( $M = 27.40$ ;  $SD = 5.42$ ); while in

the experimental, group it was 28.47 ( $M = 28.47$ ;  $SD = 7.10$ ). After having standardised the scores according to age and gender, the mean for the control group ranged between 3 and 4 on the sten score scale – a low score; whereas in the experimental group, the score was 4 on the scale – a low score.

## Hypotheses testing

The analysis of independent samples conducted using Student's t test found no statistically significant differences between the control and experimental group in terms of the mean pulse difference (PD), reaction time to neutral (RTNeu), and negative words (RTNeg) on the Emotional Stroop Test, Emotional Stroop Effect (ESE), Tension Arousal (TA), and Energetic Arousal (EA):  $t_{PD} (28) = 0.79$ ;  $p > 0.05$ ;  $t_{RTNeu} (28) = 0.76$ ;  $p > 0.05$ ;  $t_{RTNeg} (28) = 1.21$ ;  $p > 0.05$ ;  $t_{ESE} (28) = 0.66$ ;  $p > 0.05$ ,  $t_{TA} (28) = 1.92$ ;  $p > 0.05$ ,  $t_{EA} (28) = -0.46$ ;  $p > 0.05$ . However, the analysis found a statistically significant difference between the control and experimental group on the Hedonic Tone scale (HT), i.e.  $t_{HT} (28) = -2.32$ ;  $p < 0.05$ ; Cohen's  $d = 0.88$ . The value of Cohen's d coefficient suggested a considerable strength of this relationship.

**Table 2.** Student's t Test results

Variable	t	Significance
PD	0.79	0.44
RTNeu	0.76	0.46
RTNeg	1.21	0.24
ESE	0.66	0.52
HT	-2.32	0.03*
TA	1.92	0.07
EA	-0.46	0.65

**Key.** PD – pulse difference; RTNeu – reaction time to neutral words on Emotional Stroop Test; RTNeg – reaction time to negative words on Emotional Stroop Test; ESE – Emotional Stroop Effect; HT – hedonic tone; TA – tension arousal; EA – energetic arousal  
\*  $p < 0.05$

## Discussion

The objective of the study was to answer the question of whether exposing a subject to binaural beats at the alpha wave frequency of 10 Hz would lead to changes in functioning manifested by lower heart rate, better performance in terms of executive functions, and improved self-reported mood. The analysis failed to yield unequivocal results. On the one hand, binaural beats were found to affect positively self-perceived well-being manifested by higher hedonic tone. On the other hand, the findings showed no significant difference in terms of pulse rate, energetic arousal, tension arousal, and executive functions as a result of emotional stimuli; and yet, these components also make up important

elements of a state marked by the freedom from stress and anxiety.

However, it is worth noting that in the group of participants listening to binaural beats on average, there was a higher decrease in pulse rate, shorter reaction time to neutral and negative words on the Emotional Stroop Test, and lower tension arousal. Energetic arousal was found similar for either group. Although the findings did not prove to be statistically significant, yet their directions encourage further exploration. The variable for which both groups were found different was hedonic tone understood as a feeling measured on a scale ranging from pleasantness to unpleasantness. It correlates negatively with anxiety, negative affect, and neuroticism, while positively with positive affect (Goryńska, 2005). The mean value of hedonic tone in the group exposed to binaural beats was high in comparison to the group exposed to no stimulation. In addition, this relationship was characterised by considerable strength. This allows one to draw conclusion that binaural beats of a 10 Hz frequency are conducive to a feeling of pleasantness and to relieving anxiety.

Nevertheless, the question remains why there were no significant differences found in the other variables. Conducting further studies using extended frequencies may answer this question. Alpha waves are within the 8–12 Hz range. This study, on the other hand, used a 10 Hz frequency. It is worth stressing that some researchers divide alpha waves into low and high making them slightly different with regard to the properties assigned to them in terms of human psychology.

Whether an individual keeps his or her eyes open or closed may also play a role in how effective the stimulation of brain waves can be. Considering that having eyes open inhibits naturally the alpha amplitude, it has been presumed that training and stimulations within this frequency range should be carried out with individuals keeping their eyes closed. In this study, although the participants were instructed to relax as much as possible, they were not asked to have their eyes open or closed.

The frequency of the basic tone is yet another factor. A 432 Hz frequency was adopted for this study. However, it is likely that different sizes produce different effects. So far, there has been no research attempting to explain whether this factor could have any effect on the findings.

In addition, the exposure time appears to be of importance as well. Some among the authors of the most recent publications suggest that for the changes to occur across a larger part of the cerebral cortex, the exposure should last 9–10 minutes (Jirakittayakorn and Wong-sawat, 2017; Seifi Ala *et al.*, 2018, *op cit.* Garcia-Argibay *et al.*, 2018).

What should also be considered is the individual characteristics of individuals tested and the fact that every human organism is different and as such may react differently to the stimuli. In 2018, Katyal *et al.* confirmed that people differ from one another in terms of at what frequency their peak amplitude of alpha waves is found (Katyal, 2018). Reedijk and her team have found that inter-individual differences at the dopamine level alter the effect which binaural beats have on gamma brain waves (Reedijk, *et al.*, 2015). Hence, fitting stimulated frequencies to the individual characteristics of a particular subject's brain waves could prove to be a good method. In addition, it is worth taking into account subjects' diseases and medications taken and their influence on the starting level of alpha waves and susceptibility to stimulation.

The study outlined herein could be summarised as follows: the analysis has partially confirmed the findings produced by the other research and sees binaural beats with the average frequency of alpha waves at 10 Hz as a tool which has potential to boost mood, achieve a state of pleasantness, and alleviate anxiety. However, this technique requires further, in-depth research which would not only explain the mechanism behind the processes unfolding in the brain after it has been reached by binaural beat tones, but also specify what parameters would lead to optimal effects. ■

## Wstęp

W dzisiejszych czasach – kiedy nasz organizm nie zawsze jest w stanie sprostać wymaganiom środowiska – coraz bardziej pożądane i poszukiwane są metody terapii, które efektywnie redukują poziom stresu, pomagają się zrelaksować i poprawić nastrój. Równocześnie, dzięki postępowi nauki, możemy coraz lepiej poznawać procesy odpowiedzialne za nasze stany psychiczne i rozwijać metody, które pomagają przeciwdziałać nieprawidłowościom w tym obszarze.

Dudnienie obuszne jest jedną z technik stymulacji audiowizualnej (ang. *audio-visual entrainment*, AVE), które razem z przezczaszkową stymulacją prądem stałym (tDCS) oraz neurofeedbackiem tworzą narzędzia interwencji w neuroterapii. Podczas kiedy neurofeedback kształtuje procesy samoregulacji, przez co zalicza się do metod wolicjonalnych, tDCS i AVE mogą stanowić metody bardziej inwazyjne, w takim znaczeniu, że są niezależne od naszej woli.

Podstawą do stosowania wspomnianych technik było odkrycie bioelektrycznej aktywności mózgu. Pierwszy

szczegółowy zapis tego zjawiska u człowieka przeprowadził w latach dwudziestych XX wieku, uznany za ojca elektroencefalografii klinicznej, niemiecki psychiatra Hans Berger. W swoich badaniach zidentyfikował on fale alfa i beta (Thompson i Thompson, 2003). Pozwoliło to na opis stanów wewnętrznych ludzi nie tylko poprzez obserwację ich zachowania czy testy, ale także poprzez analizę zapisu elektrycznej aktywności różnych obszarów korowych mózgu i powiązanie ich z tymi stanami. Co więcej, okazało się, że aktywność korowa może być zmieniana przez rytmiczną stymulację bodźcową, np. ciąg migoczących bodźców świetlnych powoduje zjawisko nazwane wodzeniem stroboskopowym, czyli wzrost mocy EEG w okolicach częstotliwości, z którą wyświetlana bodźce świetlne (Becher i wsp., 2015).

### Fale mózgowo alfa

Komórki nerwowe w mózgu generują potencjały czynnościowe, dzięki którym się komunikują. Przekazanie informacji między neuronami tworzy zmianę potencjału czynnościowego, która odpowiada za powstanie pola elektromagnetycznego, którego zmiany widoczne są w zapisie elektroencefalograficznym. W zapisie czynności bioelektrycznej mózgu (EEG) historycznie wyróżnia się następujące fale mózgowo:

- delta (1,5–4 Hz) – związane z głębokim snem i anestezją,
- theta (4–8 Hz) – towarzyszą przetwarzaniu informacji o charakterze przestrzennym, kluczowe dla procesu kodowania i zapamiętywania informacji,
- alfa (8–12 Hz) – dominują podczas stanu relaksu i przy zamkniętych oczach,
- beta (12–30 Hz) – związane z ruchem i rozwiązywaniem złożonych zadań poznawczych, szczególnie wymagających uwagi (Sanders, 2018),
- gamma (30–80 Hz) – kojarzone z procesami percepcji i uwagi, łączenia informacji, kodowania informacji w pamięci krótkotrwałej (Jia i Kohn, 2011).

Pierwsze wnioski, że ze spoczynkową aktywnością mózgu związane są fale alfa wyciągnął w 1920 r. wspomniany wcześniej psychiatra Hans Berger (Thompson i Thompson, 2003). Zaobserwował on, że jest to wzorzec fal mózgowych, który dominuje przy oczach zamkniętych, a przy otwartych jest zredukowany (zjawisko opisywane dzisiaj mianem efektu Bergera). Przyczyna wiąże się z mechanizmem powstawania fal alfa – ich amplituda jest funkcją zredukowanego impulsu sensorycznego przechodzącego z jąder wzgórze do kory mózgowej. Otwarte oczy naturalnie zwiększają moc docierających do wzgórze i kory mózgowej informacji sensorycznych i w konsekwencji hamują fale alfa (Vernon i wsp., 2009).

Fale alfa zawierają się w przedziale częstotliwości od 8 do 12 Hz. Stan, w którym przeważają fale alfa, opisywany jest jako spokojny i przyjemny. Związany jest on z relaksacją mięśni, kreatywnością i może występować

podczas medytacji. Niektórzy badacze dzielą fale alfa na niskie (8–10 Hz) i wysokie (10–12 Hz) i łączą je z innymi niż relaks stanami. Niskie wiążą z procesami pamięci semantycznej, natomiast wysokie z optymalizacją procesów poznawczych i pamięcią roboczą, a w szczególności reaktywacją informacji z pamięci długotrwałej w pamięci krótkotrwałej (Marzbani i wsp., 2016; Klimesch i wsp., 2005).

Zmniejszenie mocy fal alfa po prawej stronie mózgu obserwuje się w depresji, nadużywaniu narkotyków, chorobach Parkinsona i Alzheimerera (Braverman, 1996). U osób z chorobą Alzheimerera odnotowuje się również znacznie zwiększony współczynnik theta/alfa, równoznaczny zwiększeniu rytmu theta i osłabieniu alfa (Fahimi i wsp., 2017).

Badania, które przeprowadzili Dadashi i wsp. (2015), pokazały, że trenowanie zwiększania amplitudy fal alfa i theta w płacie potylicznym metodą neurofeedback redukuje objawy i powoduje poprawę funkcjonowania u pacjentów z zespołem lęku uogólnionego GAD. Zwiększona moc fal alfa w płacie przedczołowym, czołowo-centralnym i centralno-ciemieniowym kory mózgowej powiązana jest także z lepszymi wynikami w teście Stroopa (zdolność interferencji), efektywniejszą pamięcią operacyjną i niższym poziomem lęku (Jaiswal i wsp., 2019).

### Dudnienie obuuszne

Zjawisko dudnienia obuusznego (ang. *binaural beats*) zostało pierwszy raz odnotowane przez Heinricha W. Dove'a w 1839 roku, a opisane szerzej – przez Geralda Oстера ponad pięćdziesiąt lat później (Chaieb i wsp., 2015). Kiedy dwa dźwięki o niewiele różniących się częstotliwościach (np. 300 i 305 Hz) docierają do obu uszu jednocześnie, dźwięk postrzegany przez osobę słuchającą jest o częstotliwości będącej różnicą pomiędzy dwoma prezentowanymi częstotliwościami (np. 5 Hz), tzw. dudnienie akustyczne. Jeżeli każdy z dźwięków dociera do każdego ucha osobno, generowany jest również dźwięk o częstotliwości będącej różnicą częstotliwości pierwotnych, jednak do ich fizycznego połączenia nie dochodzi na zewnątrz systemu słuchowego, tylko wewnątrz. Jest to tzw. dudnienie obuuszne. Na początku swojej drogi tony docierające do obu uszu jednocześnie łączone są w jeden percept w jądrach oliwkowych górnych i wzgórkach dolnych blaszki czworaczej, skąd jako impuls elektryczny przemieszczają się wzdłuż pnia mózgu, przez twór siatkowaty do kory słuchowej (López-Caballero i Escera, 2017).

Przeprowadzone przez Kasprzaka (2011) badanie na grupie 20 osób wykazało istotne statystycznie zmiany w sygnale EEG pod wpływem stymulacji przy pomocy dudnienia obuusznego. Badacze użyli tonów o częstotliwości 100 i 110 Hz, generujących różnicę częstotliwości 10 Hz (fale alfa). Odnotowano spadek średniej amplitudy fal alfa (8–12 Hz), ale u czterech osób zauważono bardzo wyraźną reakcję o częstotliwości 10 Hz. Efekt stymulacji



fal mózgowych przez dźwięki zaobserwowali również Becher i wsp. (2015). W swoim badaniu przy użyciu elektroencefalografii wewnątrzczaszkowej autorzy odnotowali znaczący wzrost mocy fal mózgowych w paśmie 40 Hz podczas dudnienia akustycznego o tej samej częstotliwości, a także spadek mocy w paśmie 5 Hz i 80 Hz podczas dudnienia akustycznego o tych samych częstotliwościach.

Część naukowców prezentuje pogląd, że dudnienie obuuszne nie prowadzi do stymulacji fal mózgowych, ale do poprawy połączeń między dwoma półkulami mózgowymi w części kory słuchowej. Poprawa komunikacji pomiędzy neuronami przejawia się w synchronizacji częstotliwości generowanych w lewej i prawej półkuli (Solcà i wsp., 2016). Pomimo tego, że nie ma zgodności co do mechanizmu działania dudnienia obuuszne, coraz więcej badań wskazuje na efektywność tej techniki w poprawie funkcji poznawczych, takich jak uwaga, pamięć, a także w zmniejszaniu lęku i podnoszeniu odporności na ból (García-Argibay i wsp., 2019).

Axelsen i wsp. (2020) w swoim eksperymencie z grupą osób poddanych dudnieniu obuuszne o częstotliwości 14 Hz (niskie fale beta) i technikom mindfulness pokazali, że obie te metody pozytywnie wpływają na ograniczenie zjawiska wyczerpania poznawczego. Derner i wsp. (2018) udowodnili, że dudnienie obuuszne o częstotliwości 5 Hz poprawia uczenie asocjacyjne, a dudnienie akustyczne o tej samej częstotliwości je pogarsza. Pozytywny wpływ dudnienia obuuszne i akustyczne o częstotliwości 40 Hz na funkcje poznawcze odnotowali także Engelbregt i wsp. (2019). Uczestnicy badania, którzy poddani zostali stymulacji dźwiękowej, wykonali szybciej test flankerów, mierzący odporność na bodźce zakłócające i kontrolę poznawczą, od uczestników słuchających białego szumu.

Nie wszystkie badania jednoznacznie wskazują na istotny efekt oddziaływania dudnienia obuuszne na fale mózgowie. López-Caballero i Escera (2017) badali wpływ dudnienia akustycznego i obuuszne o częstotliwościach fal theta (4,53 Hz), alfa (8,97 Hz), beta (17,93 Hz), gamma (34,49 Hz) i wyższego gamma (57,3 Hz) na obraz EEG, puls oraz przewodnictwo skórne. Badani słuchali przez 3 minuty dźwięków o poszczególnych częstotliwościach oraz, dla porównania, różowego szumu przez 90 sekund, pomiędzy danymi częstotliwościami. Dla żadnej z badanych częstotliwości nie zaobserwowano istotnych zmian w miarach EEG i psychofizjologicznych. Jak twierdzą sami autorzy, przyczyna negatywnych rezultatów eksperymentu może leżeć w małej próbie badanych (14 uczestników), dlatego należy ostrożnie podchodzić do ich interpretacji.

Metaanaliza 22 badań opublikowana w 2018 roku przez Garcíę-Argibaya i wsp. pokazała że istnieje całościowy, średni efekt stosowania metody dudnienia obuuszne na pamięć, uwagę, lęk i analgezję. Wyniki tych oraz wcześniej wspomnianych badań pozwalają stwierdzić, że wielu badaczy zauważyło występowanie efektu stymulacji czynności bioelektrycznej mózgu za pomocą

specjalnie przygotowanych dźwięków, a w szczególności za pomocą dudnienia obuuszne. Prowadzi to do pytania, czy w takim razie techniki tej można użyć jako narzędzia służącego do poprawy funkcjonowania na poziomie poznawczym lub emocjonalnym.

### Hipotezy badawcze

Celem niniejszej pracy jest sprawdzenie, czy dudnienie obuuszne o częstotliwości 10 Hz poprzez stymulację fal mózgowych o tej samej częstotliwości (fal alfa) wpłynie pośrednio na zmienne behawioralne, takie jak subiektywne odczucie nastroju, puls oraz przetwarzanie informacji nacechowanych emocjonalnie (Emocjonalny Test Stroopa). Hipoteza badawcza zakłada, że grupa osób słuchających dudnienia obuuszne o częstotliwości 10 Hz będzie miała lepsze samopoczucie i bardziej pozytywny nastrój, lepsze działanie funkcji wykonawczych w kontekście bodźców emocjonalnych oraz odnotuje się u niej spadek pulsu w porównaniu z grupą kontrolną.

### Metoda

#### Osoby badane

**Faza rekrutacji.** W badaniu uczestniczyło łącznie 30 osób: 15 osób w grupie eksperymentalnej oraz 15 osób w grupie kontrolnej. Dobór osób do grup był losowy. Uczestnicy byli przydzielani do grup według kolejności zgłaszania się do udziału w badaniu, poczynając od grupy kontrolnej, jednocześnie z zachowaniem jednakowej proporcji kobiet i mężczyzn w obu grupach. Każdy z uczestników podpisał świadomą zgodę na udział w badaniu.

**Wiek, płeć i wykształcenie.** Osoby badane były w wieku 24–49 lat, ze średnią wieku 35 lat. Łącznie przebadano 24 kobiety oraz 6 mężczyzn: 12 kobiet i 3 mężczyzn w grupie kontrolnej i eksperymentalnej. Wszyscy badani mieli wykształcenie wyższe.

#### Materiały

**Pomiar pulsu.** Do pomiaru pulsu użyto cyfrowego ciśnieniomierza nadgarstkowego firmy *Sanitas*.

**Emocjonalny Test Stroopa.** Test ten polega na wskazaniu w jak najszybszym czasie koloru czcionki, w jakim pojawiło się dane słowo. Ludzie, często nieświadomie, znajdują się pod wpływem emocjonalnego przekazu czytanych słów, co wpływa na ich uwagę i skupienie na istocie wykonywanego zadania. Zjawisko nazywane jest **emocjonalnym efektem Stroopa**. Polega on na tym, że czas reakcji na słowa o negatywnym zabarwieniu emocjonalnym jest dłuższy niż czas reakcji na słowa neutralne. Test ten mierzy podatność na pogorszenie uwagi, definiowane jako spowolnienie reakcji pod wpływem bodźców o negatywnym emocjonalnym zabarwieniu (Ben-Haim i wsp., 2016).

Podczas wykonywania testu słowa pojawiają się pojedynczo na ekranie komputera i pochodzą z dwóch kategorii – negatywnych emocjonalnie, np. śmierć, i neutralnych, np. krzesło. Zaprojektowany na potrzeby badania test składał się z trzech następujących po sobie bloków: próbnego (10 słów), neutralnego (20 powtórzonych słów, razem 40), negatywnego (20 powtórzonych słów, razem 40). Odstęp pomiędzy blokami wynosił 30 sekund. Słowa były prezentowane w czterech kolorach: niebieskim, zielonym, żółtym i czerwonym.

Lista słów została stworzona na podstawie ich walencji emocjonalnej, długości i częstości występowania w języku polskim, tak aby ostatnie dwa parametry w obu blokach były sobie możliwie równe. Do oszacowania tych parametrów skorzystano z listy 4900 afektywnych polskich słów opracowanej przez Imbira (2016).

**Przymiotnikowa Skala Nastroju UMACL.** Do pomiaru nastroju osób badanych wykorzystano Przymiotnikową Skalę Nastroju UMACL autorstwa Geralda Matthews, A. Grahama Chamberlaina i Dylana M. Jonesa, w adaptacji Ewy Goryńskiej (2005).

Test służy do pomiaru aktualnego nastroju, rozumianego jako doświadczenie afektywne o umiarkowanym czasie trwania (co najmniej kilka minut), niezwiązane z obiektem lub związane z quasi-obiektem, obejmujące trzy wymiary rdzennego afektu: pobudzenie napięciowe, pobudzenie energetyczne, tonus hedonistyczny. Polska wersja UMACL składa się z arkusza, na którym znajduje się jest 29 przymiotników. Osoba wypełniająca ma za zadanie określić na czterostopniowej skali (od „zdecydowanie tak” do „zdecydowanie nie”), w jakim stopniu każdy z nich opisuje jej obecny nastrój. Wyniki przedstawione są w trzech skalach nastroju: Pobudzenie Energetyczne (10 pozycji, od 10 do 40 punktów), Pobudzenie Napięciowe (9 pozycji, od 9 do 36 punktów) i Ton Hedonistyczny (10 pozycji, od 10 do 40 punktów), (Goryńska, 2005).

**Dudnienie obuuszne.** Dźwięk dudnienia obuusznego został utworzony przy pomocy ogólnodostępnego oprogramowania do generowania dudnienia obuusznego Gnaural. Częstotliwość dźwięku w jednej słuchawce to 432 Hz, częstotliwość w drugiej słuchawce to 442 Hz, co w efekcie daje dudnienie obuuszne 10 Hz – częstotliwość fal alfa.

**Zmienne i analiza.** Analizy zebranych danych dokonano w programie SPSS Statistics przy użyciu testu *t*-Studenta dla grup niezależnych. Celem analizy było ustalenie, czy istnieją różnice pomiędzy średnimi w wyżej wymienionych pomiarach w dwóch badanych grupach (kontrolnej i eksperymentalnej). Zmienną niezależną była przynależność do grupy. Zmienne zależne (wszystkie, oprócz pulsu, mierzone po aplikacji szumu) to:

- różnica pulsu (RP) – pomiar pulsu po pierwszych 3 minutach badania pomniejszony o pomiar pulsu na początku badania;
- czas reakcji na słowa neutralne w Emocjonalnym Teście Stroopa (CRNeu) – mierzony w milisekundach;

- czas reakcji na słowa negatywne w Emocjonalnym Teście Stroopa (CRNeg) – mierzony w milisekundach;
- Emocjonalny Efekt Stroopa (EES) – czas reakcji na słowa negatywne w Emocjonalnym Teście Stroopa pomniejszony o czas reakcji na słowa neutralne w Emocjonalnym Teście Stroopa, mierzony w milisekundach;
- Ton Hedonistyczny (TH) – wynik surowy w Przymiotnikowej Skali Nastroju, definiowany jako subiektywne odczucie w wymiarze przyjemności–nieprzyjemności (Goryńska, 2005);
- Pobudzenie Energetyczne (PE) – wynik surowy w Przymiotnikowej Skali Nastroju, definiowane jako „energia do działania” (Goryńska, 2005);
- Pobudzenie Napięciowe (PN) – wynik surowy w Przymiotnikowej Skali Nastroju, definiowane jako odczucie lęku (Goryńska, 2005).

## Procedura badania

Badanie miało charakter eksperymentu z manipulacją polegającą na słuchaniu dwa razy przez 3 minuty dźwięku, tzw. dudnienia obuusznego o częstotliwości 10 Hz.

Najpierw badanemu mierzono puls. Następnie – w grupie eksperymentalnej – osoba badana była proszona o założenie słuchawek, w których przez 3 minuty słuchała dźwięku. W grupie kontrolnej badany był proszony o w miarę możliwości swobodne zrelaksowanie się bez dźwięku. Po 3 minutach w obu grupach dokonano ponownego pomiaru pulsu oraz poproszono o wykonanie Emocjonalnego Testu Stroopa. Po zakończeniu testu osoba z grupy eksperymentalnej ponownie słuchała przez 3 minuty dźwięku w słuchawkach, a w grupie kontrolnej swobodnie relaksowała się. Po upływie 3 minut badany był poproszony o wypełnienie kwestionariusza UMACL.

## Wyniki

### Statystyki opisowe analizowanych zmiennych

**Różnica pulsu.** Analiza rozkładu zmiennej „różnica pulsu” (RP) przy pomocy testu Shapiro–Wilka wskazuje, że zarówno w grupie kontrolnej, jak i eksperymentalnej rozkład ten nie różni się istotnie od rozkładu normalnego:  $W_{RP \text{ grupa kontrolna}}(15) = 0,88; p > 0,05$ ,  $W_{RP \text{ grupa eksperymentalna}}(15) = 0,88; p > 0,05$ . Wyniki testu Levene’a pozwalają przyjąć założenie o jednorodności wariancji w porównywanych grupach:  $F_{RP} = 1,42; p > 0,05$ .

W grupie kontrolnej puls spadł średnio o 1,40 uderzeń serca na minutę ( $M = -1,40, SD = 5,63$ ), natomiast w grupie eksperymentalnej średnio o 3,20 ( $M = -3,20, SD = 6,84$ ).

**Czas reakcji na słowa neutralne w Emocjonalnym Teście Stroopa.** Analiza rozkładu zmiennej „czas reakcji na słowa neutralne w Emocjonalnym Teście Stroopa” (CRNeu) przy pomocy testu Shapiro–Wilka wskazuje, że w grupie kontrolnej i eksperymentalnej rozkład

ten nie różni się istotnie od rozkładu normalnego:  $W_{CRNeu\text{ grupa kontrolna}}(15) = 0,89; p > 0,05$ ,  $W_{CRNeu\text{ grupa eksperymentalna}}(15) = 0,87; p > 0,05$ . Wyniki testu Levene'a pozwalają przyjąć założenie o jednorodności wariancji w porównywanych grupach:  $F_{CRNeu} = 0,25; p > 0,05$ .

W grupie kontrolnej średni czas reakcji na słowa neutralne wynosił 86009,40 ms ( $M = 86009,40$ ,  $SD = 12871,59$ ), natomiast w grupie eksperymentalnej 82514,40 ms ( $M = 82514,40$ ,  $SD = 12400,03$ ).

**Czas reakcji na słowa negatywne w Emocjonalnym Teście Stroopa.** Analiza rozkładu zmiennej „czas reakcji na słowa negatywne w Emocjonalnym Teście Stroopa” (CRNeg) przy pomocy testu Shapiro-Wilka wskazuje, że w grupie kontrolnej i eksperymentalnej rozkład ten nie różni się istotnie od rozkładu normalnego:  $W_{CRNeg\text{ grupa kontrolna}}(15) = 0,92; p > 0,05$ ,  $W_{CRNeg\text{ grupa eksperymentalna}}(15) = 0,89; p > 0,05$ . Wyniki testu Levene'a pozwalają przyjąć założenie o jednorodności wariancji w porównywanych grupach:  $F_{CRNeg} = 0,79; p > 0,05$ .

W grupie kontrolnej średni czas reakcji na słowa negatywne wynosił 83176,20 ms ( $M = 83176,20$ ,  $SD = 10740,95$ ), natomiast w grupie eksperymentalnej 78735,47 ms ( $M = 78735,47$ ,  $SD = 9322,51$ ).

**Emocjonalny Efekt Stroopa.** Analiza rozkładu zmiennej Emocjonalny Efekt Stroopa (EES) przy pomocy testu Shapiro-Wilka wskazuje, że zarówno w grupie kontrolnej, jak i eksperymentalnej rozkład ten nie różni się istotnie od rozkładu normalnego:  $W_{EEF\text{ grupa kontrolna}}(15) = 0,90; p > 0,05$ . W grupie eksperymentalnej, rozkład nie różni się od normalnego przy założeniu poziomu istotności  $p > 0,01$ :  $W_{EEF\text{ grupa eksperymentalna}}(15) = 0,85; p > 0,01$ . Wyniki testu Levene'a pozwalają przyjąć założenie o jednorodności wariancji w porównywanych grupach:  $F_{EES} = 0,00; p > 0,05$ .

W grupie średnia różnica czasu reakcji na słowa emocjonalnie negatywne i neutralne, tzw. Emocjonalny Efekt Stroopa, wynosiła - 2835,60 ms ( $M = - 2835,60$ ,  $SD = 3879,92$ ), natomiast w grupie eksperymentalnej - 3778,93 ms ( $M = - 3778,93$ ,  $SD = 3949,97$ ).

**Ton Hedonistyczny.** Analiza rozkładu zmiennej Ton Hedonistyczny (TH) przy pomocy testu Shapiro-Wilka wskazuje, że w grupie kontrolnej i eksperymentalnej rozkład ten nie różni się istotnie od rozkładu normalnego:  $W_{TH\text{ grupa kontrolna}}(15) = 0,92; p > 0,05$ ,  $W_{TH\text{ grupa eksperymentalna}}(15) = 0,95; p > 0,05$ . Wyniki testu Levene'a pozwalają przyjąć założenie o jednorodności wariancji w porównywanych grupach:  $F_{TH} = 0,04; p > 0,05$ .

W grupie kontrolnej średni wynik surowy Tonu Hedonistycznego wynosił 30,53 ( $M = 30,53$ ,  $SD = 5,59$ ), natomiast w grupie eksperymentalnej 35 ( $M = 35,00$ ,  $SD = 4,93$ ). Po normalizacji wyniku ze względu na daną grupę wiekową i płeć średnia dla grupy kontrolnej leży w 5. stopniu - wynik przeciętny, dla grupy eksperymentalnej w 7. stopniu - wynik wysoki.

**Pobudzenie Napięciowe.** Analiza rozkładu zmiennej Pobudzenie Napięciowe (PN) przy pomocy testu

Shapiro-Wilka wskazuje, że w grupie kontrolnej rozkład ten nie różni się istotnie od rozkładu normalnego:  $W_{PN\text{ grupa kontrolna}}(15) = 0,88; p > 0,05$ . W grupie eksperymentalnej rozkład Pobudzenia Napięciowego nie różni się od rozkładu normalnego, przy założeniu poziomu istotności  $p < 0,001$ :  $W_{PN\text{ grupa eksperymentalna}}(15) = 0,80; p > 0,001$ . Wyniki testu Levene'a pozwalają przyjąć założenie o jednorodności wariancji w porównywanych grupach:  $F_{PN} = 3,53; p > 0,05$ .

W grupie kontrolnej średni wynik surowy Pobudzenia Napięciowego wynosił 16 ( $M = 16,00$ ,  $SD = 5,67$ ), natomiast w grupie eksperymentalnej 12,67 ( $M = 12,67$ ,  $SD = 3,64$ ). Po normalizacji wyniku ze względu na daną grupę wiekową i płeć średnia dla grupy kontrolnej leży w 4.-5. stopniu - wynik niski do przeciętnego, dla grupy eksperymentalnej w 3-4 stopniu - wynik niski.

**Pobudzenie Energetyczne.** Analiza rozkładu zmiennej Pobudzenie Energetyczne (PE) przy pomocy testu Shapiro-Wilka wskazuje, że zarówno w grupie kontrolnej, jak i eksperymentalnej rozkład ten nie różni się istotnie od rozkładu normalnego:  $W_{PE\text{ grupa kontrolna}}(15) = 0,98; p > 0,05$ ,  $W_{PE\text{ grupa eksperymentalna}}(15) = 0,98; p > 0,05$ . Wyniki testu Levene'a pozwalają przyjąć założenie o jednorodności wariancji w porównywanych grupach:  $F_{PE} = 0,85; p > 0,05$ .

W grupie kontrolnej średni wynik surowy Pobudzenia Energetycznego wynosił 27,40 ( $M = 27,40$ ,  $SD = 5,42$ ), natomiast w grupie eksperymentalnej 28,47 ( $M = 28,47$ ,  $SD = 7,10$ ). Po normalizacji wyniku ze względu na daną grupę wiekową i płeć średnia dla grupy kontrolnej leży w 3.-4. stopniu - wynik niski, dla grupy eksperymentalnej 4. stopniu - wynik niski.

**Tabela 1.** Statystyki opisowe dla zmiennych

Zmienna	Grupa kontrolna		Grupa eksperymentalna	
	średnia	odchylenie standardowe	średnia	odchylenie standardowe
RP	-1,40	5,63	-3,20	6,84
CRNeu	86009,40	12871,59	82514,40	12400,03
CRNeg	83176,20	10740,95	78735,47	9322,51
EES	-2835,60	3879,92	-3778,93	3949,97
TH	30,53	5,59	35,00	4,93
PN	16,00	5,67	12,67	3,64
PE	27,40	5,42	28,47	7,10

**Adnotacja.** RP – różnica pulsu; CRNeu – czas reakcji na słowa neutralne w Emocjonalnym Teście Stroopa; CRNeg – czas reakcji na słowa negatywne w Emocjonalnym Teście Stroopa; EES – Emocjonalny Efekt Stroopa; TH – ton hedonistyczny; PN – pobudzenie napięciowe; PE – pobudzenie energetyczne

### Testowanie hipotez

Analiza testem *t*-Studenta dla prób niezależnych wykazała brak istotnych statystycznie różnic pomiędzy grupą kontrolną a eksperymentalną w średniej różnicy pulsu (RP), czasie reakcji na słowa neutralne (CRNeu) i negatywne (CRNeg) w Emocjonalnym Teście Stroopa,

Emocjonalnym Efekcie Stroopa (EES), Pobudzeniu Napięciowym (PN) i Energetycznym (PE):  $t_{RP}(28) = 0,79$ ;  $p > 0,05$ ,  $t_{CRNeu}(28) = 0,76$ ;  $p > 0,05$ ,  $t_{CRNeg}(28) = 1,21$ ;  $p > 0,05$ ,  $t_{EES}(28) = 0,66$ ;  $p > 0,05$ ,  $t_{PN}(28) = 1,92$ ;  $p > 0,05$ ,  $t_{PE}(28) = -0,46$ ;  $p > 0,05$ . Jednocześnie analiza wykazała istotną statystycznie różnicę pomiędzy grupą kontrolną a eksperymentalną na skali Tonu Hedonistycznego (TH):  $t_{TH}(28) = -2,32$ ;  $p < 0,05$ ,  $d$  Cohena = 0,88. Wartość współczynnika  $d$  Cohena wskazuje na dużą siłę tej zależności.

**Tabela 2.** Wyniki testu  $t$ -Studenta

Zmienna	$t$	Istotność
RP	0,79	0,44
CRNeu	0,76	0,46
CRNeg	1,21	0,24
EES	0,66	0,52
TH	-2,32	0,03*
PN	1,92	0,07
PE	-0,46	0,65

**Adnotacja.** RP – różnica pulsu; CRNeu – czas reakcji na słowa neutralne w Emocjonalnym Teście Stroopa; CRNeg – czas reakcji na słowa negatywne w Emocjonalnym Teście Stroopa; EES – Emocjonalny Efekt Stroopa; TH – ton hedonistyczny; PN – pobudzenie napięciowe; PE – pobudzenie energetyczne

\*  $p < 0,05$

## Dyskusja

Celem badania było odpowiedzenie na pytanie, czy przy pomocy dudnienia obusznego o częstotliwości fal alfa 10 Hz można zaobserwować zmiany funkcjonowania przejawiające się obniżeniem pulsu, podwyższeniem sprawności funkcji wykonawczych oraz podwyższeniem subiektywnego odczucia nastroju. Przeprowadzona analiza nie wskazuje jednoznacznych rezultatów. Z jednej strony, stwierdzono pozytywny wpływ dudnienia obusznego na subiektywne samopoczucie przejawiające się podwyższonym tonem hedonistycznym. Z drugiej strony, wyniki nie wskazują na istotną różnicę w pomiarze pulsu, pobudzenia energetycznego, pobudzenia napięciowego i funkcji wykonawczych pod wpływem emocji, a te komponenty również stanowią istotne elementy stanu wolnego od stresu i lęku.

Warto jednak zauważyć, że w grupie słuchającej dudnienia obusznego odnotowano średnio większy spadek pulsu, niższy czas reakcji na słowa neutralne i negatywne w Emocjonalnym Teście Stroopa oraz niższe pobudzenie napięciowe. Pobudzenie energetyczne było zbliżone w obu grupach. Wyniki te okazały się nieistotne statystycznie, ale ich kierunek zachęca do dalszych poszukiwań. Zmienną, w zakresie której obie grupy się różniły, był ton hedonistyczny rozumiany jako odczucie na skali przyjemność–nieprzyjemność. Koreluje on ujemnie z lękiem, negatywnym afektem i neurotyzmem, a dodatnio z pozytywnym afektem (Goryńska, 2005).

Średnia wartość tonu hedonistycznego w grupie podanej stymulacji dudnieniem obusznym była wysoka w porównaniu z przeciętną w grupie niestymulowanej. Dodatkowo, zależność ta charakteryzowała się dużą siłą. Na tej podstawie można wyciągnąć wnioski, że dudnienie obuszne o częstotliwości 10 Hz sprzyja odczuwaniu przyjemności i obniżeniu lęku.

Pozostaje jednak pytanie, dlaczego nie zaobserwowano istotnych różnic w zakresie innych zmiennych. Być może przeprowadzenie dalszych badań z użyciem rozszerzonych częstotliwości pozwoli odpowiedzieć na to pytanie. Fale alfa zawierają się w przedziale 8–12 Hz, natomiast w opisywanym badaniu użyto częstotliwości średniej – 10 Hz. Warto zauważyć, że wedle niektórych badaczy fale te dzielą się na niskie i wysokie, nieznacznie różniące się przypisywanymi do nich właściwościami dla psychiki.

Efektywność stymulacji fal mózgowych alfa może odgrywać również to, czy badany ma oczy otwarte, czy zamknięte. Ponieważ otwarte oczy naturalnie hamują amplitudę alfy, istnieje przypuszczenie, że treningi i stymulacje w obszarze tych częstotliwości powinny odbywać się przy oczach zamkniętych. W omawianym badaniu uczestnicy dostali instrukcję z prośbą o możliwe zrelaksowanie się, jednak nie dotyczyła ona zamknięcia oczu lub otwarcia oczu.

Kolejnym czynnikiem jest częstotliwość tonu podstawowego. Do celów niniejszego eksperymentu użyto częstotliwości 432 Hz. Istnieje jednak możliwość, że różne wielkości wywołują odmienne efekty. Do tej pory nie przeprowadzono badań wyjaśniających, czy ten czynnik ma jakikolwiek wpływ na osiągnięte wyniki.

Ponadto ważny wydaje się także czas ekspozycji. Niektórzy autorzy najnowszych publikacji wskazują, że aby uzyskać zmiany w większej części kory mózgowej, ekspozycja powinna trwać 9–10 minut (Jirakittayakorn i Wongsawat, 2017; Seifi Ala i wsp., 2018, za: Garcia-Argibay i wsp., 2018).

Należy również wziąć pod uwagę indywidualne cechy osób badanych i to, że każdy organizm jest inny i może inaczej reagować na bodźce. W 2018 Katyal i współpracownicy potwierdzili, że ludzie różnią się między sobą pod względem częstotliwości fal alfa, dla których występuje u nich szczytowa amplituda (Katyal, 2018). Natomiast Reedijk i jej zespół stwierdzili, że wpływ na efekty oddziaływania dudnienia obusznego na fale mózgowie gamma mają różnice międzyosobnicze w poziomie dopaminy (Reedijk i wsp., 2015). Dobrym sposobem mogłoby się zatem okazać dobranie stymulowanych częstotliwości do indywidualnej charakterystyki fal mózgowych danego badanego. Warto także wziąć pod uwagę choroby badanych osób oraz przyjmowane przez nich leki – i ich wpływ na poziom wyjściowy fal alfa oraz podatność na stymulację.

Opisane tu badanie można podsumować następująco: przeprowadzona analiza częściowo potwierdza wyniki

innych badań i przedstawia dudnienie obuuszne o średniej częstotliwości fal alfa 10 Hz jako narzędzie mające potencjał do wspomagania poprawy nastroju, osiągnięcia stanu zadowolenia i zmniejszenia niepokoju. Technika ta wymaga jednak pogłębionych badań, które nie

tylko wyjaśniłyby mechanizm, który stoi za procesami zachodzącymi w mózgu po dotarciu do niego dźwięków dudnienia obuuszne, ale również sprecyzowałyby, przy jakich parametrach można osiągnąć optymalne efekty. ■

Conflict of interest and financial support non declared. / Nie zgłoszono konfliktu interesów oraz dofinansowania.

The work described in this article has been carried out in accordance with The Code of Ethics of the World Medical Association (Declaration of Helsinki) for experiments involving humans, EU Directive 2010/63/EU for animal experiments, and Uniform Requirements for manuscripts submitted to biomedical journals. / Treści przedstawione w artykule są zgodne z zasadami Deklaracji Helseńskiej, dyrektywami EU oraz ujednoliconymi wymaganiami dla czasopism biomedycznych.

## References / Piśmiennictwo

1. Axelsen JL, Kirk U, Staiano W. On-the-Spot Binaural Beats and Mindfulness Reduces the Effect of Mental Fatigue. *J Cogn Enhanc* 2020; 4, 31-39.
2. Becher A-K, Höhne M, Axmacher N, Chaieb L, Elger CE, Fell J. Intracranial electroencephalography power and phase synchronization changes during monaural and binaural beat stimulation. *Eur J Neurosci* 2015; 41: 254-263.
3. Ben-Haim MS, Williams P, Howard Z, Mama Y, Eidels A, Algom D. The Emotional Stroop Task: Assessing Cognitive Performance under Exposure to Emotional Content. *Journal Of Visualized Experiments: Jove* 2016; 112.
4. Braverman E. Brain waves and Alzheimer's Disease. *Total Health* 1996; 18(3), 24.
5. Chaieb L, Wilpert EC, Reber TP, Fell J. Auditory beat stimulation and its effects on cognition and mood states. *Frontiers in Psychiatry* 2015; 6.
6. Dadashi M, Birashk B, Tareman F, Asgarnejad AA, Momtazi S. Effects of Increase in Amplitude of Occipital Alpha & Theta Brain Waves on Global Functioning Level of Patients with GAD. *Basic and Clinical Neuroscience* 2015; 6(1), 14-20.
7. Derner M, Chaieb L, Surges R, Staresina BP, Fell J. Modulation of Item and Source Memory by Auditory Beat Stimulation: A Pilot Study With Intracranial EEG. *Frontiers in Human Neuroscience* 2018.
8. Engelbregt H, Meijburg N, Schulten M, Pogarell O, Deijen JB. The Effects of Binaural and Monoaural Beat Stimulation on Cognitive Functioning in Subjects with Different Levels of Emotionality. *Advances in Cognitive Psychology* 2019; 15(3), 199-207.
9. Fahimi G, Tabatabaei SM, Fahimi E, Rajebi H. Index of Theta/Alpha Ratio of the Quantitative Electroencephalogram in Alzheimer's Disease: A Case-Control Study. *Acta Medica Iranica* 2017; 55(8), 502-506.
10. Garcia-Argibay M, Santed MA, Reales JM. Efficacy of binaural auditory beats in cognition, anxiety, and pain perception: a meta-analysis. *Psychological Research* 2019; 83(2), 357-372.
11. Goryńska E. Przymiotnikowa Skala Nastroju UMACL Gerald Mattheusa, A. Grahama Chamberlaina, Dylana M. Jonesa: podręcznik. Pracownia Testów Psychologicznych Polskiego Towarzystwa Psychologicznego, 2005.
12. Imbir KK. Affective Norms for 4900 Polish Words Reload (ANPW\_R): Assessments for Valence, Arousal, Dominance, Origin, Significance, Concreteness, Imageability and, Age of Acquisition. *Front Psychol* 2016; 7: 1081.
13. Jaiswal S, Tsai S-Y, Juan C-H, Muggleton NG, Liang W-K. Low delta and high alpha power are associated with better conflict control and working memory in high mindfulness, low anxiety individuals. *Social Cognitive & Affective Neuroscience* 2019; 4(6), 645-655.
14. Jia X, Kohn A. Gamma rhythms in the brain. *PLoS biology* 2011; 9(4), e1001045.
15. Kasprzak C. Influence of Binaural Beats on EEG Signal. *Acta Physica Polonica* 2011; A, 119(6A), 986-990.
16. Katyal S, He S, He B, Engel SA. Frequency of alpha oscillation predicts individual differences in perceptual stability during binocular rivalry. *Hum Brain Mapp.* 2019; 40: 2422-2433.
17. Klimesch W, Schack B, Sauseng P. The Functional Significance of Theta and Upper Alpha Oscillations. *Experimental Psychology* 2005, 52(2), 99-108.
18. López-Caballero F, Escera C. Binaural beat: A failure to enhance EEG power and emotional arousal. *Frontiers in Human Neuroscience* 2017; 11.
19. Marzbani H, Marateb, HR, Mansourian M. Neurofeedback: A Comprehensive Review on System Design, Methodology and Clinical Applications. *Basic and clinical neuroscience* 2016; 7(2), 143-158.
20. Reedijk SA, Bolders A, Colzato LS and Hommel B. Eliminating the attentional blink through binaural beats: a case for tailored cognitive enhancement. *Front. Psychiatry* 2015; 6: 82.
21. Sanders L. Brain waves may help sculpt attention. *Science News* 2018; 193(6), 16-17.
22. Solcà M, Mottaz A, Guggisberg AG. Binaural beats increase interhemispheric alpha-band coherence between auditory cortices. *Hearing Research* 2016; 332, 233-237.
23. Thompson M, Thompson L. Neurofeedback. Wprowadzenie do podstawowych koncepcji psychofizjologii stosowanej. Wydawnictwo Biomed Neurotechnologie, Wrocław 2012.
24. Vernon D, Dempster T, Bazanova O, Rutterford N, Pasqualini Smith M, Andersen S. Alpha Neurofeedback Training for Performance Enhancement: Reviewing the Methodology. *Journal of Neurotherapy* 2009; 13, 214-227.

