

Jan MISZCZAK¹, Stanisław DEC¹, Ewa ZALEWSKA²

**ZNACZENIE ZMIENNOŚCI ZAPISU EEG W CZASIE
REAKCJI ZATRZYMANIA DLA INTERPRETACJI
ELEKTROENCEFALOGRAMÓW WYKONYWANYCH
U PILOTÓW PRZY OTWARTYCH OCZACH W CZASIE
AKTYWNYCH DZIAŁAŃ**

**SIGNIFICANCE OF EEG VARIABILITY DURING
SUPPRESSION REACTION FOR INTERPRETATION OF EEG
PERFORMED IN PILOTS WITH OPEN EYES DURING
ACTIVITIES**

¹ Wojskowy Instytut Medycyny Lotniczej, Warszawa

Pracownia Neurofizjologii Klinicznej i Doświadczalnej, Zakład Fizjologii Lotniczej

² Instytut Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej im. Macieja Nałęcz, PAN, Warszawa

¹ Military Institute of Aviation Medicine, Warsaw

Laboratory of Clinical and Experimental Neurophysiology,

Department of Aviation Physiology

² The Maciej Nałęcz Institute of Biocybernetics and Biomedical Engineering,

Polish Academy of Sciences, Warsaw

STRESZCZENIE: Wstęp. Praca przedstawia badania nad zmiennością aktywności bioelektrycznej mózgu pilotów zarejestrowanej przy zamkniętych oczach w czasie standardowo wykonywanych stymulacją otwarcia oczu określanych jako reakcja zatrzymania (Rz) wg Międzynarodowej Federacji Towarzystw Neurofizjologicznych (IFCN). **Celem** pracy było wyodrębnienie wzorców reaktywności mózgu w obrazie EEG w czasie reakcji zatrzymania w odniesieniu do cech morfologicznych zapisu poprzedzającego tę formę stymulacji (spoczynek, hiperwentylacja). Założeniem pracy było znalezienie kryteriów neurometrycznych aktywności bioelektrycznej mózgu rejestrowanej przy otwartych oczach w czasie aktywnych działań pilota, w tym na symulatorach lotniczych w porównaniu z wykonywanymi standardowo zapisami EEG. **Metoda.** Dokonano analizy EEG (metodami FFT, AR, CSA, podobieństwo, złożoność i mapping) charakterystyk czynności

Adres do korespondencji: prof. dr hab. n. med. Jan Miszczak, Pracownia Neurofizjologii Klinicznej i Doświadczalnej, Zakład Fizjologii Lotniczej WIML, 01-755 Warszawa, ul. Krasińskiego 54, e-mail: jmiszczak@wiml.waw.pl

EEG/Rz w spoczynku i po Hw u 30 losowo wybranych osób klinicznie zdrowych w wieku 24-30 lat. Zmienność aktywności bioelektrycznej w czasie Rz odnoszono do trzech wzorców czynności podstawowej obrazu EEG: A: zapisy z dominującą czynnością monomorficzną, B: z polimorficzną czynnością, C: z tzw. zapisem niskonapięciowym (alternans). Oceniając dynamikę zmienności EEG/Rz w domenie czasu, częstotliwości i rozkładu czasowo-przestrzennego wskaźnikami energetycznej reaktywności różnych funkcjonalnie struktur mózgowych z uwzględnieniem możliwości wpływu jednoczesnej aktywności systemu okoruchowego na zapis EEG. **Wyniki.** Uzyskane dane umożliwiają szerszą interpretację charakterystyk zapisów EEG wykonywanych przy otwartych oczach, wspomagając ocenę wykonywanych rutynowo pilotom badań czynnościowych (KNC, symulatory lotnicze, testy neuropsychologiczne). **Wnioski.** Wyniki sugerują niezbędność wprowadzenia badania EEG przy otwartych oczach do standardów medycyny lotniczej jako nowej formy oceny wskaźnikami elektroneurometrycznymi reaktywności ośrodkowego układu nerwowego w porównaniu z dotychczas stosowanym programem zalecanym dla diagnostyki klinicznej **SŁOWA KLUCZOWE:** QEEG\Rz, aktywność okulo-motoryczna, alfa/gamma oscylacje, funkcje poznawcze, reaktywność psychomotoryczna

SUMMARY: Background. To investigate variability of the bioelectrical brain activity recorded in pilots with closed eyes recorded during standard stimulation of eye opening, defined by the International Federation of Clinical Neurophysiology (IFCN) as suppression reaction (SR). **Objectives.** This study aimed at isolating patterns of brain reactivity in EEG records during SR in relation to morphological features in EEG before this form of stimulation (rest, hyperventilation). This study had to find neurometric criteria of brain bioelectrical activity, recorded at opened eyes during pilot's activities, including training on the aviation simulators, and to compare it with standard EEG records. **Methods.** EEG records were analyzed (FFT, AR, CSA, similarity, complexity, and mapping) together with characteristics of EEG/SR at rest and after hyperventilation in 30 randomly selected, clinically healthy individuals, aged between 24 and 30 years. Examined individuals were divided into three groups: A, B, C of 10 individual each. Variability of the bioelectrical activity during SR was compared with three patterns of the basic activity in EEG records: A: records with predominating monomorphic activity; B: with polymorphic activity, and C: with so-called electrical alternans record. Dynamics of variability EEG/SR was assessed in time domain, frequency, and time-space distribution with the indices of energetic reactivity of functionally different brain structures, taking into consideration possible effect of simultaneous activity of oculomotor system on EEG record. **Results.** The obtained results enable wider interpretation of EEG records characteristics, when it is recorded with open eyes. They also help to evaluate the results of tests routinely performed in pilots (low-pressure chamber, human centrifuge, flight simulators, neuropsychological tests). **Conclusions.** The obtained results suggest that EEG

recording in pilots with opened eyes must be added to the standards of aviation medicine as a new form of evaluation of CNS reactivity with electroneurometric indices versus currently used program recommended for clinical diagnostics

KEY WORDS: *QEEG/SR, oculomotor activity, oscillation alpha/gamma, cognitive functions, psychomotor activity*

Wstęp

W piśmiennictwie światowym medycyny lotniczej coraz częściej pojawiają się prace o badaniach obejmujących oceny indywidualnych cech aktywności bioelektrycznej mózgu w odniesieniu do neurobehawioralnych procesów, różnych poznawczych reakcji czasowych (*real time*), także w odniesieniu do warunków typowego obciążenia pracą w lotnictwie [1,2,3,4]. Założenia badań pilotów w ich aktywnym środowisku (lot, test z zastosowaniem symulatorów lotniczych, badania psychoneurometryczne) wymagają wykonania zadania narzuconego przez ustalony program prowadzenia lotu, obserwacji wirtualnych zagrożeń wyrażonych wizualnymi wskaźnikami obrazowanymi na podświetlanych ekranach kabiny samolotu. Wszystkie te czynności łącznie z nakazami słuchowymi od kierownika lotu pilot wykonuje w określonym, narzuconym czasie, także w zaprogramowanym jego deficycie.

Dla neurofizjologa są to bloki informacyjno-zadaniowe (pakiety informacji), w których z punktu widzenia oceny wskaźnikami neurofizjologicznymi w obrazie EEG (elektroneurometria czynnościowa) uwidaczniają się obrazy procesów mózgowych związanych z globalną aktywnością mózgu (*general activity, excitation activity*), z aktywnością selekcyjną poszczególnych modułów mózgowych i wzmożoną selektywną uwagą. Ta aktywność w obrazach elektroneurofizjologicznych związana ze swoistą organizacją trzech poziomów kreatywności energetycznej czynności mózgu korowej, podkorowej i neurovegetatywnej jest ściśle odnieszona do funkcji działania umysłowego i ogólnie psychoruchowego (*mental activity, perception activity, motor activity, behavior activity*) w narzuconym eksperymentalnie aktem przymusu przyczynowo-skutkowego działania [4,5,6].

Możliwość porównania aktywności mózgu rejestrowanej w czasie całej określonej i złożonej sytuacji funkcjonowania pilota, z wzorcem w badaniu standardowym wg ICFN (*resting EEG*) jest jednym z problemów rozwiązywanych w naszej pracy. Ocena wpływu pojawiających się „bodźców czynnościowych” na aktywność bioelektryczną mózgu wymaga uwzględnienia współzależności między czasem ich trwania i zanikania oraz zmienności położenia przestrzennego, a także korelacji prędkości ich pojawiania z poziomem reakcji okoruchowych [6,7]. Wymienione parametry są także bardzo ważne w odniesieniu do badań nawigatorów naprowadzania samolotów. Stwierdzenie osobniczej wrażliwości okoruchowej np. liczby ruchów powiek i gałek ocznych, w tym sakkadowych, związanych z procesem odświeżania pola widzenia i śledzenia obrazów, skutkują w EEG charakterystyką tzw. reaktywności poznawczej (*temporal orienting reactivity*). Konieczność obiektywnej rejestracji tych parametrów, ich analizy oraz interpretacji stają się aktualnie niezbędnym wymogiem określania stopnia skuteczności działań personelu lotniczego. Wymaga szczególnego podkreślenia istnienie istotnych różnic w interpreta-

cji badań EEG wykonywanych wg standardów IFCN w celu klinicznych diagnoz osób chorych, z oceniającymi dynamikę zmian aktywności bioelektrycznej u osób zdrowych wykonujących testy wydolnościowe w zadanym określonym eksperymencie.

Z powyższym paradygmatem wiąże się wyjątkowo ważny problem uzyskania wzorców EEG związanych ze specyficzną działalnością pilota i ich porównanie z badaniem i opisem standardowym wg IFCN. Ustalenie indywidualnego, wyjściowego wzorca „*pattern EEG*” obejmującego w polifizjogramie model reaktywności energetycznej badanej osoby umożliwia poznanie dynamiki procesu poznawczo-sprawczego związanego z wykonywanymi działaniami, obiektywizując najprostsze parametry funkcji UN, jakimi są czas reakcji prostej i odroczonej, formowane przez dwa odmienne procesy mózgowe [8,9].

Badania czynnościowe EEG przy otwartych oczach są nowym obszarem eksploracji aktywności bioelektrycznej mózgu przedstawiając odmienny wzór-obraz reaktywności w porównaniu do badaniami przy zamkniętych oczach (standard), które mogą być w tym aspekcie uważane jako nieaktywne EEG (*resting EEG*) w porównaniu z aktywnym w czasie wykonywania zadań (*activity EEG*- określenia własne).

Dla interpretacji badania EEG podczas wykonywanej czynności w czasie rzeczywistym (lot) lub ćwiczeń z zastosowaniem symulatorów (eksperyment) ze względów metodycznych (*holter-monitoring*) i merytorycznych (wieloparametryczność danych) wykorzystywane są programy do automatycznych ich porównań (korelacji, opracowań statystycznych), zawartych w pakietach niezbędnych dla analizy wielu parametrycznie różniących się jednocześnie rejestrowanych sygnałów (EEG, EOG, EMG, EKG, PG) [10]. Oddzielnym rozważaniem w pracy problemem badawczym jest powiązanie (procesy koneksji i dyskoneksji), lokalizacji „wzorca reaktywności” w strukturach aktywnych podczas wykonywania określonego zadania wzbudzającego (modalne do bodźca struktury) i interakcje z innymi mającymi wtórne znaczenie czynnościowe w realizowaniu aktu działania [11].

Innym z ważnych problemów badania aktywności bioelektrycznej mózgu przy otwartych oczach jest wyjaśnienie: czy wskaźnik morfologii (amplituda, częstotliwość, faza) w Rz oceniany w paśmie alfa w badaniu spoczynkowym, po stymulacji standardowej Rz określany jako „*alfa response*” jest porównywalny z „*alfa evoked*” ujawniany w czasie określonych czynności. Ta hipoteza badana jest także dla różnych pasm częstotliwości: pasma *theta - response\evoked*, *gamma - response\evoked*. Opisane różnice mogą także dotyczyć anatomicznej topologicznej dystrybucji i interakcji poszczególnych pasm częstotliwości aktywności bioelektrycznej w czasie określonych działań [11,12,13]. Wymienione procesy związane z generowaniem lokalnej, rozproszonej lub rozlanej aktywności oscylacyjnej, a także z różną interakcją czynnościową z endogennymi rytmemi w odniesieniu do wpływu narzuconej zewnętrznie stymulacji (działania) stanowią przedmiot badań wielu laboratoriów związanych z medycyną lotniczą [13,14,15,16].

Ocena procesów zmienności EEG w czasie dynamicznych stymulacji określonych działaniem jest także związane z wyodrębnieniem i interpretacją obecności tzw. rytmów trwałych (*persistance*), wodzenia wzrokowego rytmów mózgowych (*visually driving process*) lub ich blokowania (*blocking process*).

Powyższe są również przedmiotem naszych zainteresowań w aspekcie ich dynamicznej zależności od cech morfologicznych aktywności spoczynkowej i cha-

rakteru procesów oscylacyjnych w różnych modułach czynnościowych mózgu. Stało się to powodem powstania w naszych analizach określeń „*independent activity*” i „*dependent activity*” EEG w obszarze interpretacyjnym jako rytm „zależny” i „niezależny” od stanu chwilowego. W dalszych rozważaniach powyższe określenia stają się niezbędne dla ścisłej oceny zjawisk (ERD - *event related desynchronisation* \s ERS - *event related synchronisation process*) w rozumieniu indywidualnego progu osobniczej sensibilitywności procesów percepcji, uwagi i sprawczego działania [16,17].

Metoda

Szeroki zakres możliwości technicznych i wykorzystywania w badaniach nowoczesnych, w pełni skomputeryzowanych, systemów Neuroscan i GrassTelefactor, nad wyróżnieniem w tle aktywności bioelektrycznej mózgu zmiennych zależnych i niezależnych od aktualnie wykonywanej stymulacji (czynności, funkcji) w różnych topolokalizacyjnie i czynnościowo strukturach OUN umożliwia obiektywne obserwacje, akwizycje, pomiary i analizy stosowane w obszarze współczesnej elektro-neurometrii czynnościowej. Odnosi się to szczególnie do zastosowania metod i programów pozwalających odróżnić swoistą reaktywność układu nerwowego na stymulacje zewnętrzne, od form nieswoistych, zależnych od emocji i innych uwarunkowań interakcjonalnych, jak np. energetyczna aktywność okoruchowa, oscylacje endogenne [17,18,19].

Analizie poddano 30 prawidłowych elektroencefalogramów wykonanych dwukrotnie z przerwą minimum 6 miesięcy u tych samych zdrowych klinicznie pilotów i nawigatorów naprowadzania. Wiek badanych od 24 do 30 lat. EEG oceniano metodami rozwiniętej analizy spektralnej i porównawczej, uwzględniając odcinki zapisów w czasie Rz (tzw. reakcji zatrzymania) związanej z otwarciem i zamknięciem oczu trwającej od 8 do 20 s w czasie zapisu spoczynkowego i po teście Hv. Każdą rejestrację Rz poprzedzano minimum 2 min badaniem spoczynkowym dla ustalenia morfologicznych cech charakteryzujących zapis poprzedzający oraz oceny tzw. linii bazy, parametru niezbędnego w ocenie kolejnych prób reakcji zatrzymania np. po Hw. Badania wykonywano w godzinach przedpołudniowych, w pozycji siedzącej, w pomieszczeniu zaciemnionym, izolowanym akustycznie i elektrycznie. Procedura była powtarzana minimum dwukrotnie. Wszystkie oceniane elektroencefalogramy wykonane programem polifizjograficznym (OCG, HEOG, VEOG, EKG, PG), podzielono na trzy grupy w zależności od dominującej charakterystyki morfologicznej w spoczynku, uznanej za stacjonarną dla dwóch kolejnych badań wzorca.

Grupa „A” zapisy z dominującą monomorficzną czynnością podstawową.

Grupa „B” zapisy z polimorficzną czynnością podstawową.

Grupa „C” zapisy płaskie (alternans).

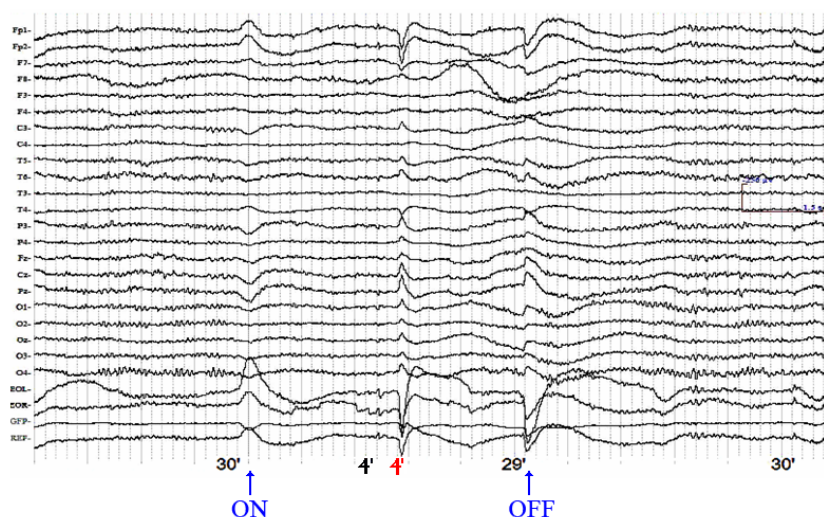
Analiza widmowa obejmowała: metody FFT, CSA\AR. oraz algorytmy pozwalające znaleźć cechy podobieństwa i określić złożoność ocenianych sygnałów [20,21,22]. W każdym ocenianym przypadku weryfikowano wpływ elementów artefaktów biologicznych (wskaźnik odświeżania pola widzenia związany z ruchem powiek i gałek ocznych oraz ruchów oczu wykonywanych w czasie śledzenia obra-

zu. Całość badania monitorowano i rejestrowano videograficznie w paśmie podczerwieni. Rejestrowano przy otwartych oczach elementy dynamiki aktywności źrenicy w czasie aktywnych działań pilota. Ze względu na wielką złożoność fizjologiczną zjawiska oraz zmienności reakcji źrenic w warunkach jasnego i zaciemnionego środowiska (*maximal rod response in dark adapted eye*) [11] jest to przedmiotem oddzielnego opracowania.

Wyniki

Uzyskane dane z przeprowadzonych badań oraz oceny ich analiz ilustrują poniżej przedstawione ryciny i tabele zbiorcze. Rycina 1 obrazuje przykład zmienności wielokanałowego zapisu EEG z widoczną, zależną od rozpoznawanego obrazu, reakcją na stymulację wzrokową, zapis przed Rz, w czasie otwarcia oczu, rozpoznawaniu bodźca oraz po „reakcji zatrzymania”.

Przedstawione dane ilustrują wielką możliwość elektroneurometrycznej oceny aktywności bioelektrycznej OUN w różnej fazie zaprogramowanego działania.



Ryc.1. Przykładowe wykorzystanie w pracy wielokanałowego monomorficznego zapisu EEG z uwidocznioną ocenianą reakcją zatrzymania (Rz), zależną od rozpoznawanego obrazu na stymulację wzrokową (zapis przed, w czasie i po otwarciu oczu oraz po rozpoznaniu bodźca).

Fig. 1. Example of monomorphic EEG with visible and assessed suppression reaction (SR) depended on recognized picture to visual stimulation (recorded before, during, and after eyes opening and recognition of stimulus).

W zapisie widoczne są zróżnicowane morfologicznie fragmenty aktywności bioelektrycznej zależne od faz wykonywanej czynności. W części pierwszej obrazu rytm spoczynkowy jest wysoce zorganizowany o dominującej częstotliwości 8,5-10,5 Hz i amplitudzie typowo różnicującej obszar tyłomózgowia od przodomózgowia. Część druga to obraz zmian w rytmie podstawowym związanych z typową reakcją zatrzy-

mania powstała w czasie otwarcia oczu z nieswoistym procesem desynchronizacji jednorodnym morfologicznie we wszystkich odprowadzeniach. Ten fragment zapisu jest wyrazem aktywacji nieswoistego układu siatkowatego. Kolejna trzecia część zapisu w czasie reakcji zatrzymania obrazuje zmianę powstałą w wyniku przygotowania do rozpoznania mającego pojawić się obrazu. Na obraz aktywności bioelektrycznej tej fazy Rz wpływają znacząco dwa elementy. Pierwszy, to neuronalny przejaw procesu selektywnej uwagi wzrokowej ujawniany reakcjami orientacyjnymi w postaci aktywności alfa (*alpha respons*) różnej od opisywanej w zapisie spoczynkowym. Drugi, znacząco zależny od czynności okoruchowej proces związany z poszukiwaniem w przestrzeni obrazu. W charakterystyce morfologicznej ostatniej fazy Rz związanej z procesem postrzegania obrazu i jego rozpoznania dominuje obraz aktywnej wywołanej alfa czynności (*alpha evoked activity*) występującej asymetrycznie półkulowo, głównie w odprowadzeniach czołowych i skroniowych (aktywność związana z procesami asocjacji i pamięci) oraz potylicznych (aktywność związana z monomodalnym bodźcem dla kory wzrokowej aktem widzenia). Fragment końcowy zapisu przedstawia czynność spoczynkową po przebytej stymulacji w postaci tzw. rytmu „przetrwania” (*persistence rhythm*) który jest różny od zapisu przed Rz. Rytm „przetrwania” obrazuje zmienność zależną od wpływu nieswoistych endogennych procesów współbieżnych z aktem wykonywanych działań w czasie otwartych oczu [20].

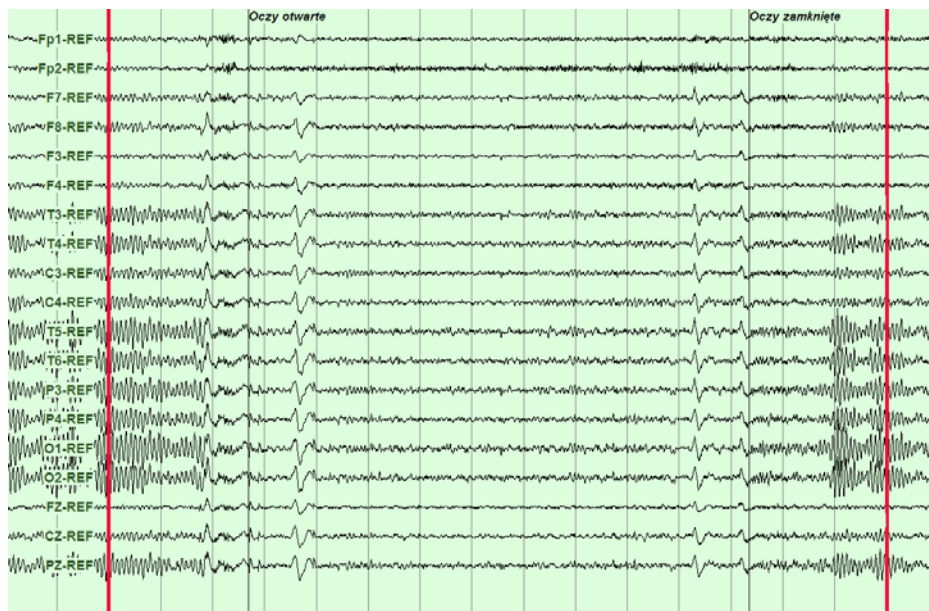
W skład Rz (*total*) wchodzi:

Rz 1 – zawiera fragment zapisu EEG przed otwarciem oczu, otwarciem oczu i fragment 2,5 s zapisu z otwartymi oczami (T = 5 s).

Rz 2 – zawiera środkowy fragment zapisu EEG w czasie reakcji otwarcia oczu, (T = 4 s).

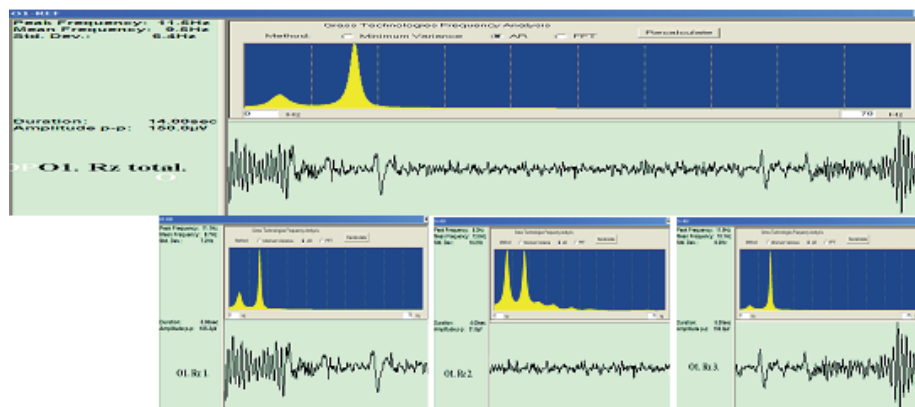
Rz 3 – zawiera końcowy fragment zapisu przy oczach otwartych, zamknięciu oczu i fragment zapisu EEG po zamknięciu oczu, (T = 5 s).

Ryciny 2, 3, 4, 5, 6 i 7 oraz sekwencje A, B, C, D, E obrazują metodą autoregresji (AR/CSA) dynamikę zmienności aktywności bioelektrycznej ocenianych trzech grup, w czasie reakcji zatrzymania, zarejestrowaną ze wszystkich 21 odprowadzeń oraz dla dwóch wybranych okolic potylicznych mających podstawowe znaczenie w ocenie reaktywności stymulowanego układu wzrokowego (odprowadzenia O1, O2).



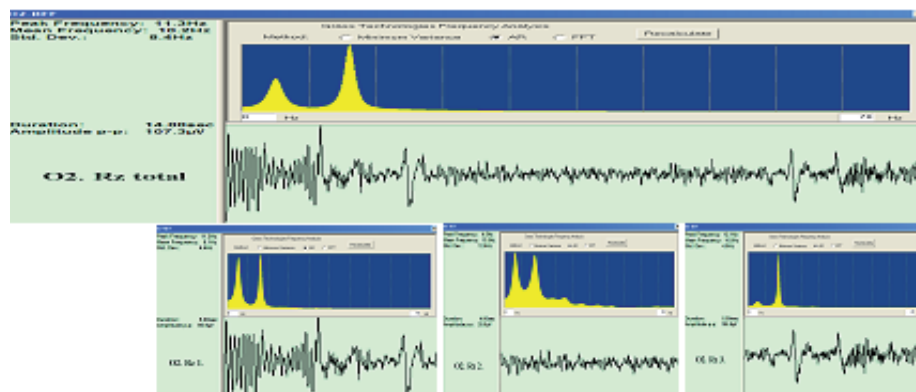
Ryc.2. Zapis monomorficzny (Nr 113G\2009) z Rz (t) „spoczynkowy” (T=14 s). Obrazuje analizę zmienności ocenianej reakcji zatrzymania metodą AR\CSA, zarejestrowaną ze wszystkich odprowadzeń oraz mającą podstawowe znaczenie dla reaktywności stymulowanego układu wzrokowego wybranych okolic potylicznych (odprowadzenia O1, O2) Przedstawione dane wskazują na konieczność odrębnej interpretacji procesu Rz w zależności od form stymulacji. W skład Rz (t) wchodzi: Rz 1 – zawiera fragment zapisu EEG przed otwarciem oczu, otwarcie oczu i fragment zapisu z otwartymi oczami, (T=5 s); Rz 2 – zawiera środkowy fragment zapisu EEG w czasie reakcji otwarcia oczu, T = 4 s., i Rz 3 – zawiera końcowy fragment zapisu przy oczach otwartych, zamknięcie oczu i fragment zapisu EEG po zamknięciu oczu (T=5 s).

Fig. 2. Monomorphic EEG record (No. 113G/2009) with SR(t) “at rest” (T=14 sec.). It illustrates analysis of SR with R/CSA method, recorded from all leads and having basic importance for stimulated visual system reactivity of the selected occipital areas (lead O1, O2). Presented data indicates necessity of the separate interpretation of SR, depending on the forms of stimulation. SR(t) includes: SR1: fragment of EEG record before eyes opening and fragment with eyes closure (T=5 sec.); SR2: middle fragment of EEG record during reaction of eyes opening (T=4 sec.); SR3: final fragment of EEG record with opened eyes, closing the eyes, and fragment of EEG after closing the eyes (T=5 sec.).



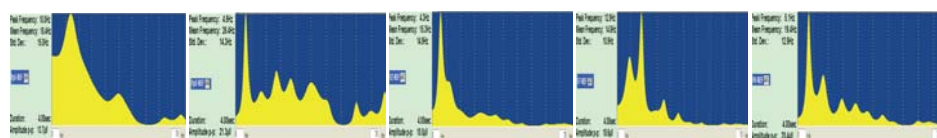
Ryc. 2A. Analiza CSA metodą AR okolicy O1 (EEG nr 113G\2009). Zapis Rz (t) spoczynkowej przed Hw, T=14 s. – górna część obrazu. Dolny fragment ilustruje trzy składowe Rz (t): Rz 1, Rz 2 i Rz 3.

Fig. 2A. CSA analysis with AR method of O1 area (EEG No. 113G/2009). Upper tracing: recorded rest SR(t) before hyperventilation (T=14 sec.); lower tracing illustrates three components of SR(t): SR1, SR2, and SR3.



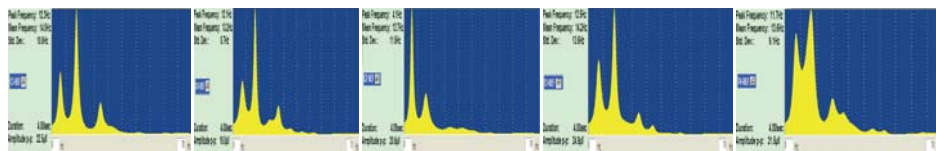
Ryc. 2B. Analiza CSA metodą AR okolicy O2 (EEG nr 113G\2009). Rz (t) spoczynkowej przed Hw, T=14 s. – górna część obrazu. Dolny fragment ilustruje trzy składowe Rz (t): Rz 1, Rz 2 i Rz 3.

Fig. 2B. CSA analysis with AR method of O2 area (EEG No. 113G/2009). Upper tracing: recorded rest SR(t) before hyperventilation (T=14 sec.); lower tracing illustrates three components of SR(t): SR1, SR2, and SR3.



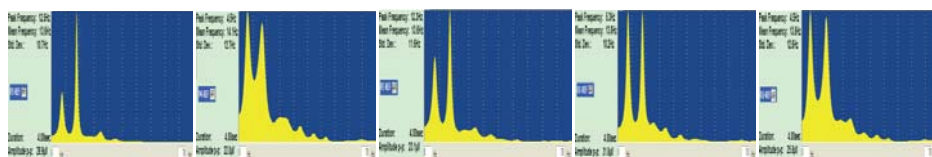
Ryc. 2C. Analiza CSA metodą AR pasa przedniego (odpowiedzenia: Fp1, Fp2, Fz, F7, F8). Zapis EEG nr 113G\2009 – Rz 2 spoczynkowa przed Hw, (T=4 s).

Fig. 2C. CSA analysis with AR method of the anterior band (Fp1, Fp2, Fz, F7, F8). EEG No. 113G\2009: rest SR2 before hyperventilation (T=4sec.).



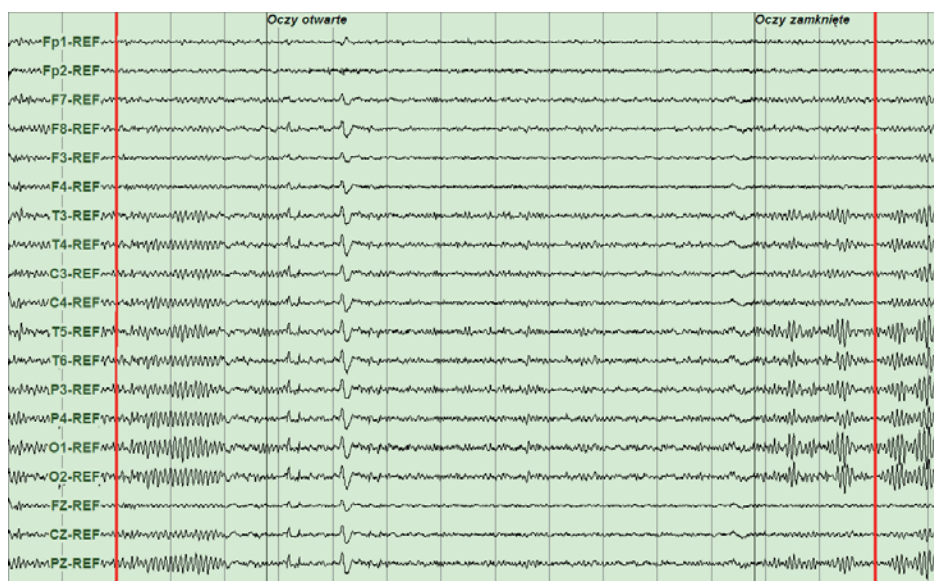
Ryc. 2D. Analiza CSA metodą AR pasa środkowego (odprowadzenia: C3, C4, Cz, T3, T4). Zapis EEG nr 113G\2009 – Rz 2 spoczynkowa przed Hw, (T=4 s).

Fig. 2D. CSA analysis with AR method of the middle band (C3, C4, Cz, T3, T4). EEG No. 113G\2009: rest SR2 before hyperventilation (T=4 sec.).



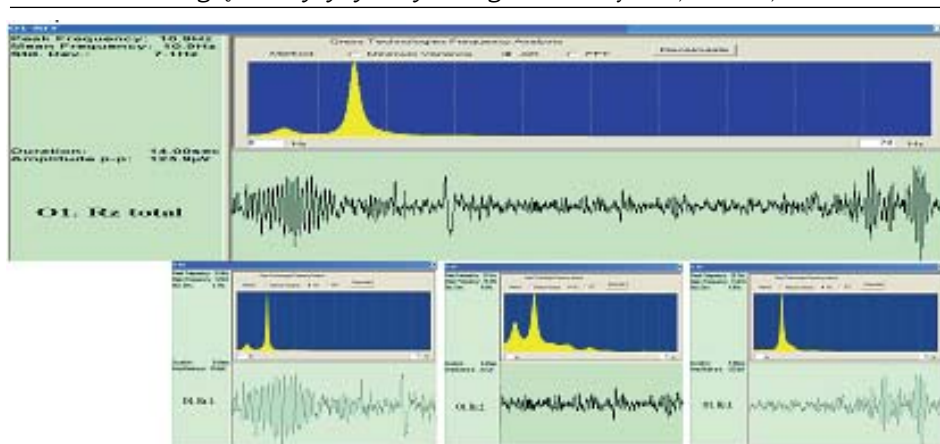
Ryc. 2E. Analiza CSA metodą AR pasa tylnego (odprowadzenia: P3, P4, Pz, O1, O2). EEG nr 113G\2009 – Rz 2 spoczynkowa przed Hw, (T=4 s).

Fig. 2E. CSA analysis with AR method of the posterior band (P3, P4, Pz, O1, O2). EEG No. 113G/2009: rest SR2 before hyperventilation (T=4 sec.).

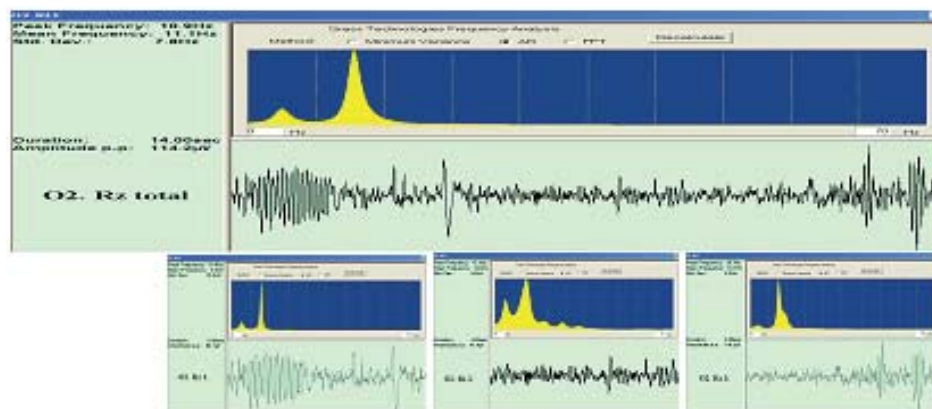


Ryc. 3. Zapis monomorficzny (EEG nr 113G\2009). Zapis spoczynkowy, Rz (t) po Hw, (T=14 s).

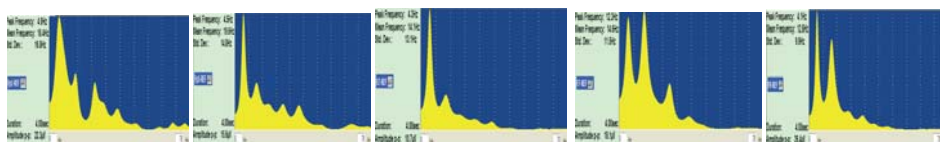
Fig. 3. Monomorphic EEG record (EEG No. 113G\2009: rest SR2 before hyperventilation (T=4 sec.).



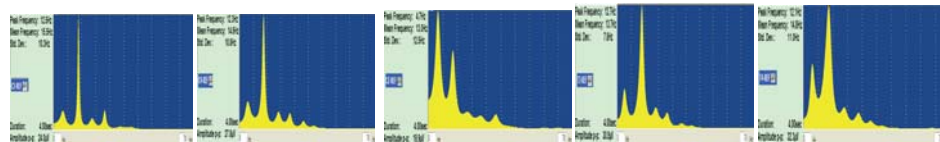
Ryc. 3A. Analiza CSA metodą AR okolicy O1. (EEG nr 113G\2009). Rz (t) po Hw. T=14 s. – górna część obrazu. Dolny fragment ilustruje trzy składowe Rz (t): Rz 1, Rz 2 i Rz 3.
 Fig. 3A. CSA analysis with AR method of O2 area (EEG No. 113G/2009). Upper tracing: recorded rest SR(t) after hyperventilation (T=14 sec.); lower tracing: three SR(t) components: SR1, SR2, and SR3.



Ryc. 3B. Analiza CSA metodą AR okolicy O2. (EEG nr 113G\2009). Rz (t) spoczynkowa po Hw, T=14 s. – górna część obrazu. Dolny fragment ilustruje trzy składowe Rz(t): Rz 1, Rz 2 i Rz 3.
 Fig. 3B. CSA analysis with AR method of O2 area (EEG No. 113G/2009). Upper tracing: rest SR(t) after hyperventilation (T=14 sec.); lower tracing: three components of SR(t): SR1, SR2, and SR3.

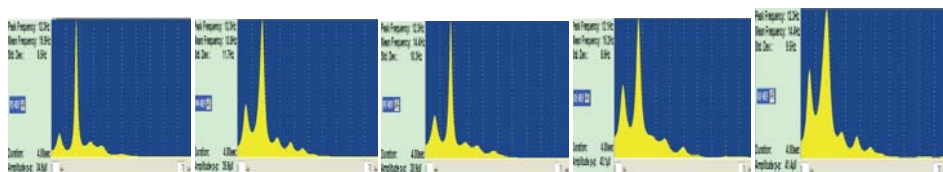


Ryc. 3C. Pas przedni (Fp1, Fp2, Fz, F7, F8). EEG nr 113G\2009 – zapis monomorficzny. Rz 2 spoczynkowa po Hw, (T=4 s).
 Fig. 3C. Anterior band - monomorphic EEG record (EEG No. 113G/2009). Rest SR2 after hyperventilation (T=4 sec.).



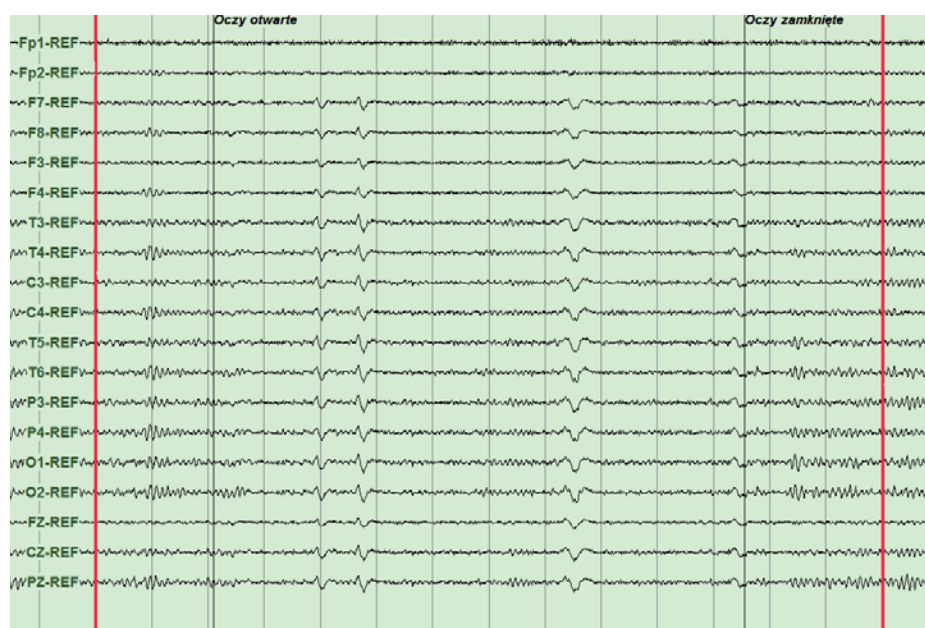
Ryc. 3D. Pas środkowy (C3, C4, Cz, T3, T4). EEG nr 113G\2009. – zapis monomorficzny. Rz 2 spoczynkowa po Hw. (T=4 s).

Fig. 3D. Monomorphic EEG record (EEG No. 113G/2009). Middle band (Fp1, Fp2, Fz, F7, F8). Rest SR2 after hyperventilation (T=4 sec.).



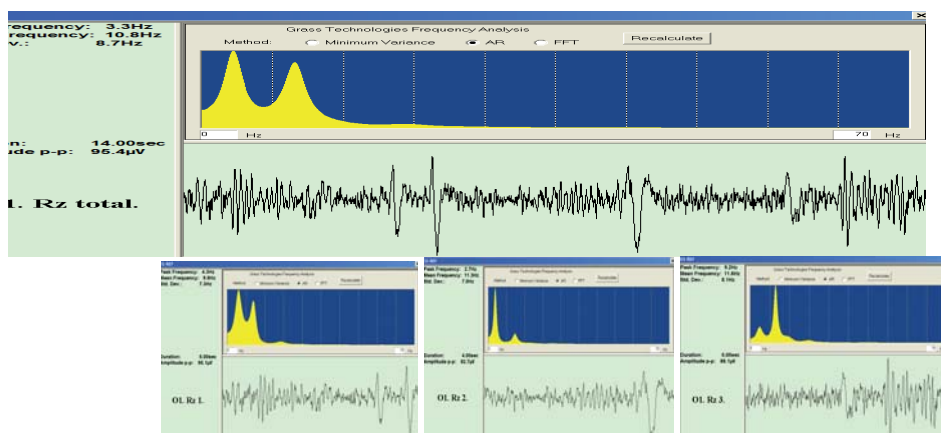
Ryc. 3E. Pas tylny (P3, P4, Pz, O1, O2). EEG nr 113G\2009 – zapis monomorficzny. Rz 2 spoczynkowa po Hw, (T=4 s).

Fig. 3E. Posterior band - monomorphic EEG record (EEG No. 113G/2009). Rest SR2 after hyperventilation (T=4 sec.).



Ryc. 4. Zapis polimorficzny (EEG nr 155G\2010). Zapis „spoczynkowy” Rz (t) przed Hw, (T=14 s).

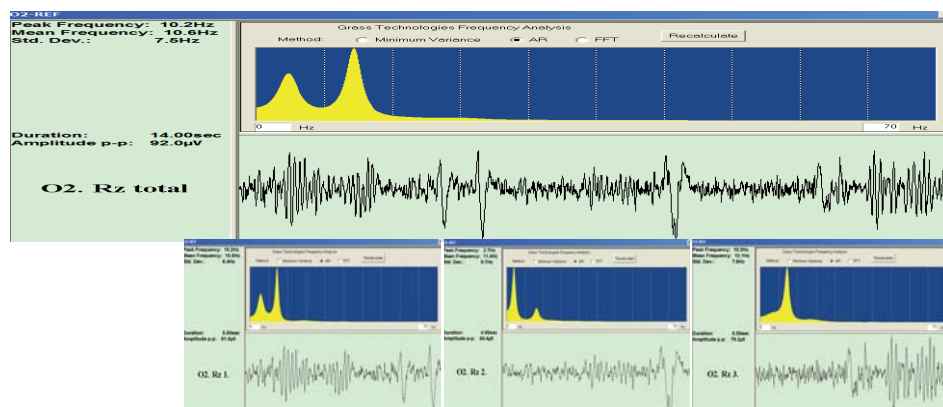
Fig. 4. Polymorphic EEG record (EEG No. 155G/2010). „Rest” record of SR(t) before hyperventilation (T=14 sec.).



Ryc. 4A. Analiza CSA metodą AR okolicy O1. (EEG nr 155G\2010). Rz (t) przed Hw. (T=14 s).

– górna część obrazu. Dolny fragment ilustruje trzy składowe Rz (t): Rz 1, Rz 2 i Rz 3.

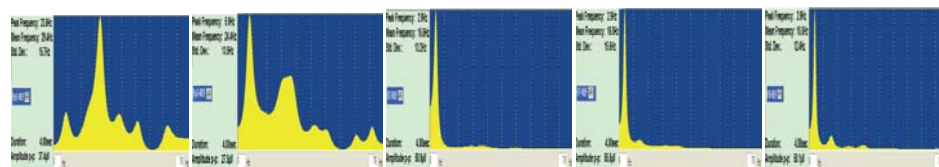
Fig. 4A. CSA analysis with AR method of O1 area (EEG No. 155G/2010). Upper tracing: SR(t) before hyperventilation (T=14 sec.); lower tracing: three components of SR(t): SR1, SR2, and SR3.



Ryc. 4B. Analiza CSA metodą AR okolicy O2. (EEG nr 155G\2010). Rz (t) przed Hw. (T=14 s).

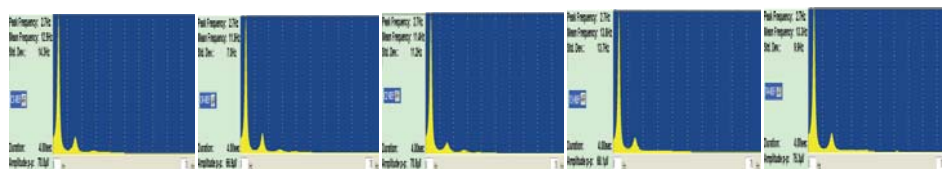
– górna część obrazu. Dolny fragment ilustruje trzy składowe Rz (t): Rz 1, Rz 2 i Rz 3.

Fig. 4B. CSA analysis with AR method of O2 area (EEG No. 155G/2010). Upper tracing: SR(t) before hyperventilation (T=14 sec.); lower tracing: three components of SR(t): SR1, SR2, and SR3.



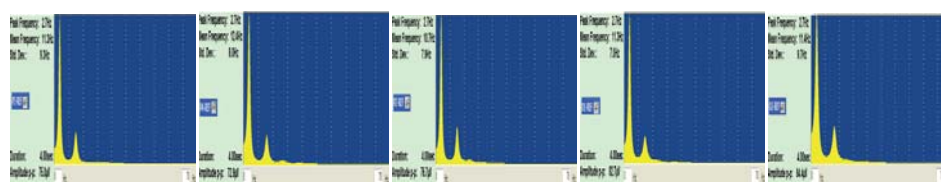
Ryc. 4C. Analiza CSA metodą AR pasa przedniego (Fp1, Fp2, Fz, F7, F8). EEG nr 155G\2010 – zapis polimorficzny. Rz 2 przed Hw. (T=4 s).

Fig. 4C. Anterior band CSA analysis with AR (Fp1, Fp2, Fz, F7, F8). EEG record No. 155G/2010 – polymorphic record. SR2 before hyperventilation (T=4 sec.).



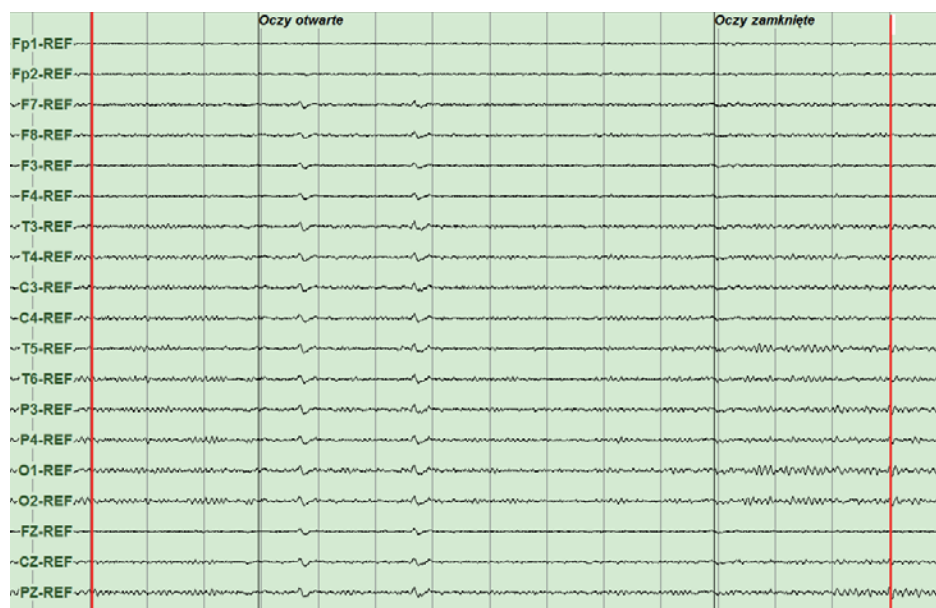
Ryc. 4D. Analiza CSA metodą AR pasa środkowego (C3, C4, Cz, T3, T4). EEG nr 155G\2010 – zapis polimorficzny. Rz 2 przed Hw, (T=4 s).

Fig. 4D. Middle band CSA analysis with AR (C3, C4, Cz, T3, T4). EEG record No. 155G/2010 – polymorphic record. SR2 before hyperventilation (T=4 sec.).



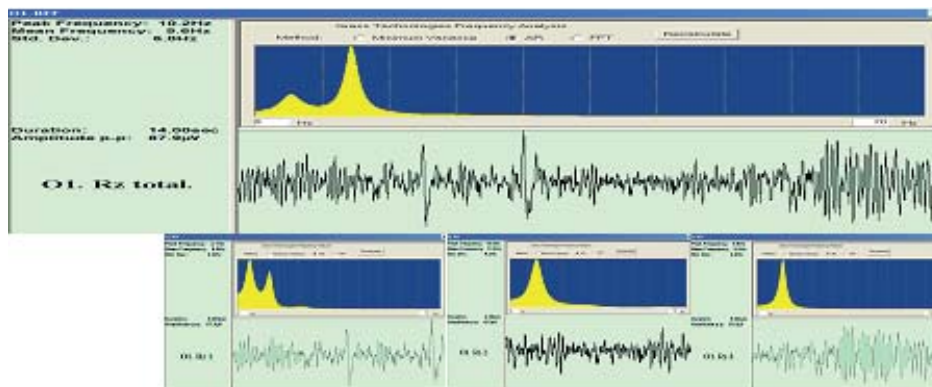
Ryc. 4E. Analiza CSA metodą AR pasa tylnego (P3, P4, Pz, O1, O2). EEG nr 155G\2010 – zapis polimorficzny. Rz 2 przed Hw, (T=4 s).

Fig. 4E. CSA analysis with AR method of the posterior band (P3, P4, Pz, O1, O2). EEG No. 155G/2010 - polymorphic record. SR2 before hyperventilation (T=4 sec.).

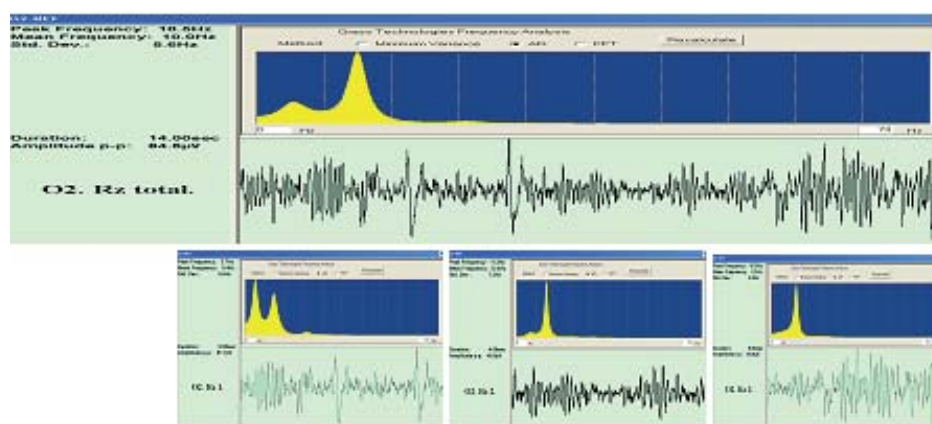


Ryc. 5. Zapis polimorficzny (EEG nr 155G\2010). Zapis Rz (t) spoczynkowy po Hw, (T=14 s).

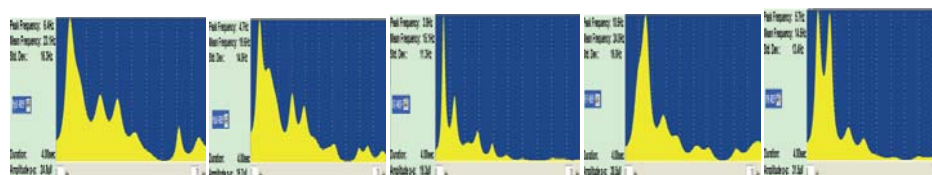
Fig. 5. Polymorphic EEG record (EEG No. 155G/2010). Rest SR(t) after hyperventilation (T=14 sec.).



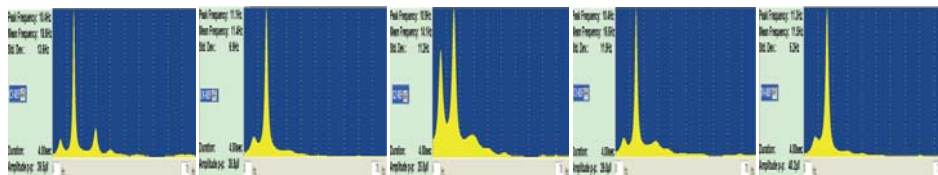
Ryc. 5A. Analiza CSA metodą AR okolicy O1. (EEG nr 155G\2010). Rz (t) po Hw, (T=14 s). – górna część obrazu. Dolny fragment ilustruje trzy składowe Rz (t): Rz 1, Rz 2 i Rz 3. s.
 Fig. 5A. CSA analysis with AR method of O1 area (EEG No. 155G/2010). Upper tracing: SR(t) after hyperventilation (T=14 sec.); lower tracing: three components of SR(t):



Ryc. 5B. Analiza CSA metodą AR okolicy O2. (EEG nr 155G\2010). Rz (t) spoczynkowy po Hw, (T=14 s). – górna część obrazu. Dolny fragment ilustruje trzy składowe Rz (t): Rz 1, Rz 2 i Rz 3.
 Fig. 5B. CSA analysis with AR method of O2 area (EEG No. 155G/2010). Upper tracing: SR(t) after hyperventilation (T=14 sec.); lower tracing: three components of SR(t): SR1, SR2, and SR3.

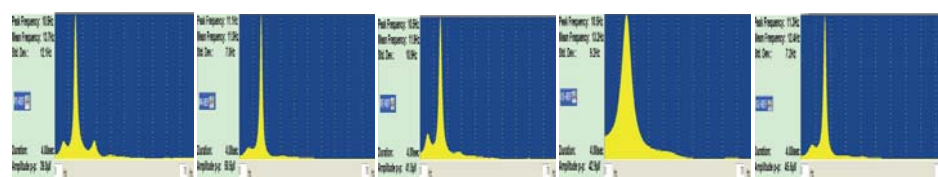


Ryc. 5C. Analiza CSA metodą AR pasa przedniego (Fp1, Fp2, Fz, F7, F8). EEG nr 155G\2010 – zapis polimorficzny. Rz 2 spoczynkowa po Hw, (T=4 s).
 Fig. 5C. Anterior band CSA analysis with AR (Fp1, Fp2, Fz, F7, F8). EEG record No. 155G/2010 – polymorphic record. SR2 after (T=4 sec.).



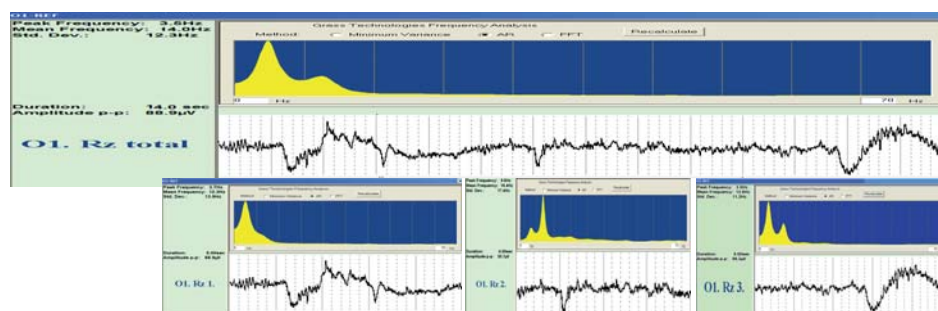
Ryc. 5D. Analiza CSA metodą AR pasa środkowego (C3, C4, Cz, T3, T4). EEG nr 155G\2010 – zapis polimorficzny. Rz 2 spoczynkowa po Hw, (T=4 s).

Fig. 5D. Middle band CSA analysis with AR (C3, C4, Cz, T3, T4). EEG record No. 155G/2010 – polymorphic record. SR2 after hyperventilation (T=4 sec.).



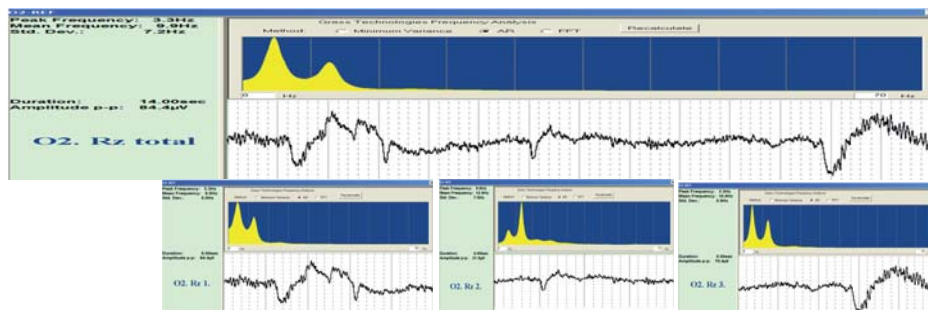
Ryc. 5E. Pas tylny (P3, P4, Pz, O1, O2). EEG nr 155G\2010 – zapis polimorficzny. Rz 2 spoczynkowa po Hw, (T=4 s).

Fig. 5E. Polymorphic record of the posterior band (P3, P4, Pz, O1, O2). Rest SR2 after hyperventilation (T=4 sec.).



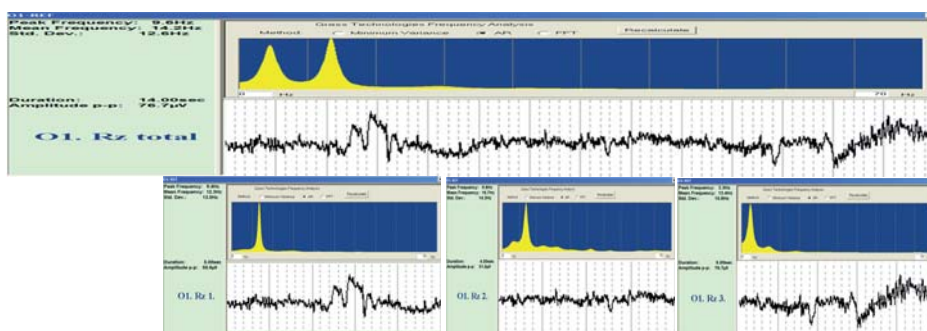
Ryc. 6A. Zapis EEG niskonapięciowy. Analiza CSA metodą AR okolicy O1. (EEG nr 146G\2010). Rz (t) przed Hw, (T=14 s). – górna część obrazu. Dolny fragment ilustruje trzy składowe Rz (t): Rz 1, Rz 2 i Rz 3. s.

Fig. 6A. Low voltage EEG. CSA analysis with AR method of O1 area (EEG No. 146G/2010). Upper tracing: SR(t) before hyperventilation (T=14 sec.); lower tracing: three components of SR(t): SR1, SR2, and SR3 s.



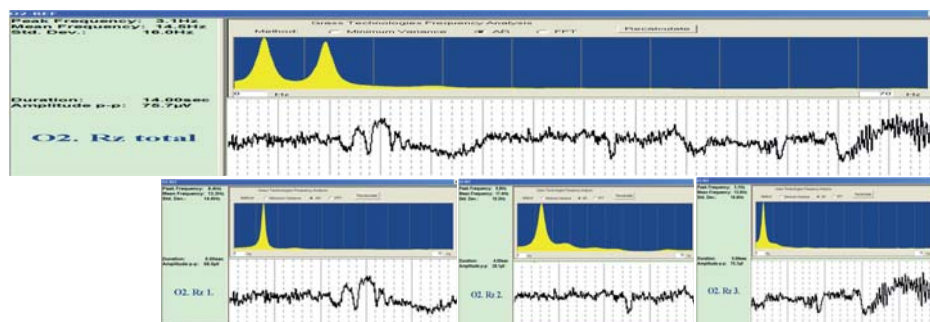
Ryc. 6B. Zapis EEG niskonapięciowy. Analiza CSA metodą AR okolicy O2. (EEG nr 146G\2010). Rz (t) przed Hw, (T=14 s). – górna część obrazu. Dolny fragment ilustruje trzy składowe Rz (t): Rz 1, Rz 2 i Rz 3. s.

Fig. 6B. Low voltage EEG. CSA analysis with AR method of O2 area (EEG No. 146G/2010). Upper tracing: SR(t) before hyperventilation (T=14 sec.); lower tracing: three components of SR(t): SR1, SR2, and SR3 s.



Ryc. 7A. Zapis EEG niskonapięciowy. Analiza CSA metodą AR okolicy O1. (EEG nr 146G\2010). Rz (t) po Hw, (T=14 s). – górna część obrazu. Dolny fragment ilustruje trzy składowe Rz (t): Rz 1, Rz 2 i Rz 3. s.

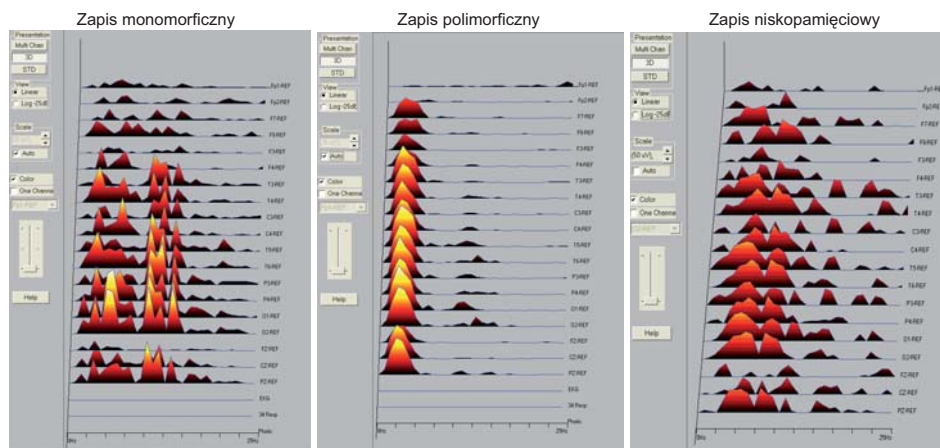
Fig. 7A. Low voltage EEG. CSA analysis with AR method of O2 area (EEG No. 146G/2010). Upper tracing: SR(t) before hyperventilation (T=14 sec.); lower tracing: three components of SR(t): SR1, SR2, and SR3 s.



Ryc. 7B. Zapis EEG niskonapięciowy. Analiza CSA metodą AR okolicy O2. (EEG nr 146G\2010). Rz (t) po Hw, (T=14 s). – górna część obrazu. Dolny fragment ilustruje trzy składowe Rz (t): Rz 1, Rz 2 i Rz 3. s. Zapis monomorficzny zapis polimorficzny Zapis niskonapięciowy.

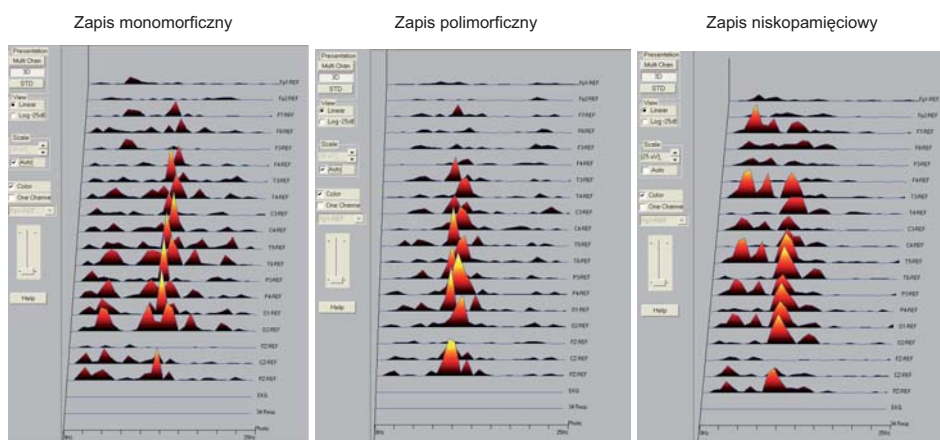
Fig. 7B. Low Voltage EEG. CSA analysis with AR method of O2 area (EEG No. 146G/2010). Upper tracing: SR(t) after hyperventilation (T=14 sec.); lower tracing: three components of SR(t): SR1, SR2, and SR3 s. Monomorphic EEG. Polymorphic EEG. Low voltage EEG.

Przedstawione obrazy prezentują obiektywne w skali neuroenergetycznej charakterystyki zmian zachodzących w OUN zależnych od form stymulacji czynnościowej. Obserwowany trend dynamiki zarejestrowanych zmian dokumentuje ich związek z osobniczą charakterystyką czynności przedstymulacyjnej i interakcjonizmem aktywności okoruchowej, najmniej znaczący w drugiej i trzeciej grupie zapisów. Uzyskane wyniki uzasadniają potrzebę metod rejestracji i analizy aktywności bioelektrycznej OUN przy otwartych oczach dla pełniejszej interpretacji procesów mózgowych zachodzących w czasie aktywnych działań personelu lotniczego. Przedstawione dane wskazują również na niezbędność odrębnej od standardowej wg IFCN interpretacji zapisu EEG wykonywanego przy otwartych oczach. Przedstawione ryciny 8 i 9 prezentują graficznie zastosowanie metod neuroobrazowania do oceny zmienności aktywności bioelektrycznej mózgu związanej z wpływem interakcjonizmu różnych generatorów energetycznych na obraz EEG. Ryciny 8 A i B przedstawiają graficznie zastosowanie metody neuroobrazowania (CSA) zmienności rozkładu energii aktywności bioelektrycznej związanej z wpływem aktywności motorycznej układu wzrokowego w czasie reakcji zatrzymania. Zwraca uwagę wielkie znaczenie powyższej formy obrazowania dla interpretacji procesów związanych z postrzeganiem, uwagą i decyzją.



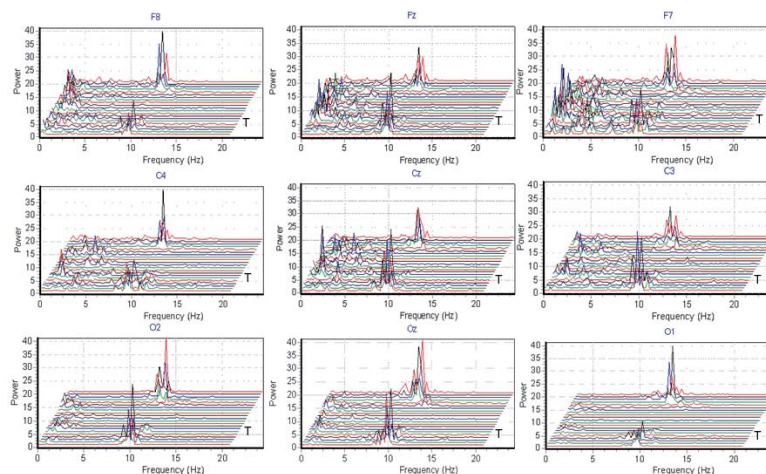
Ryc. 8A. Jednoczasowa analiza porównawcza Rz 2 spoczynkowego przed Hw (T=4 s) z 19 odprowadzeń (kanałów) w zapisach EEG: monomorficznym, polimorficznym i niskopamięciowym.

Fig. 8A. Simultaneous comparative analysis of the rest SR2 before hyperventilation (T=4 sec.) from 19 leads in: monomorphic, polymorphic, and low voltage EEG.



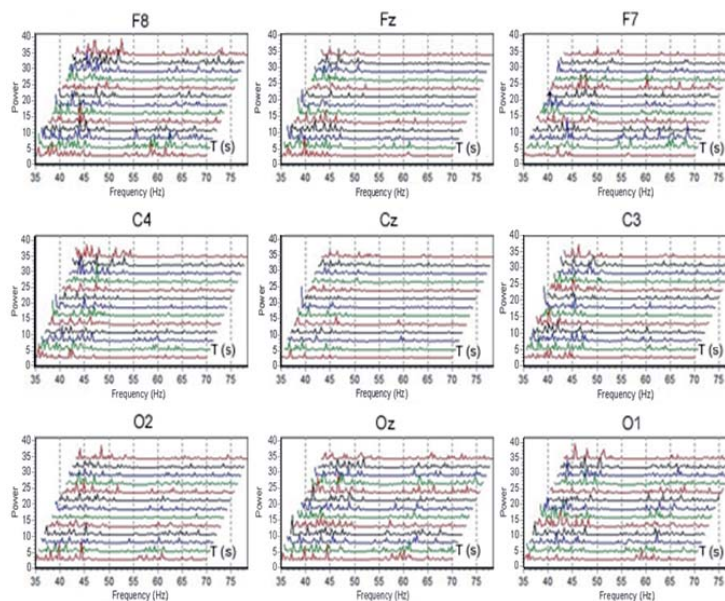
Ryc. 8B. Jednoczasowa analiza porównawcza Rz 2 spoczynkowego po Hw (T=4 s) z 19 odprowadzeń (kanałów) w zapisach EEG: monomorficznym, polimorficznym i niskopamięciowym.

Fig. 8B. Simultaneous comparative analysis of the rest SR2 after hyperventilation (T=4 sec.) from 19 leads (channels) in: monomorphic, polymorphic, and low voltage EEG.



Ryc. 9A. Badanie 010010. 010011. Analiza CSA metodą FFT w przedziale 0-20 Hz. Rz w monomorficznym zapisie.

Fig. 9A. EEG 010010.010011. CSA analysis with FFT for frequency 0 to 20 Hz. SR in monomorphic record.

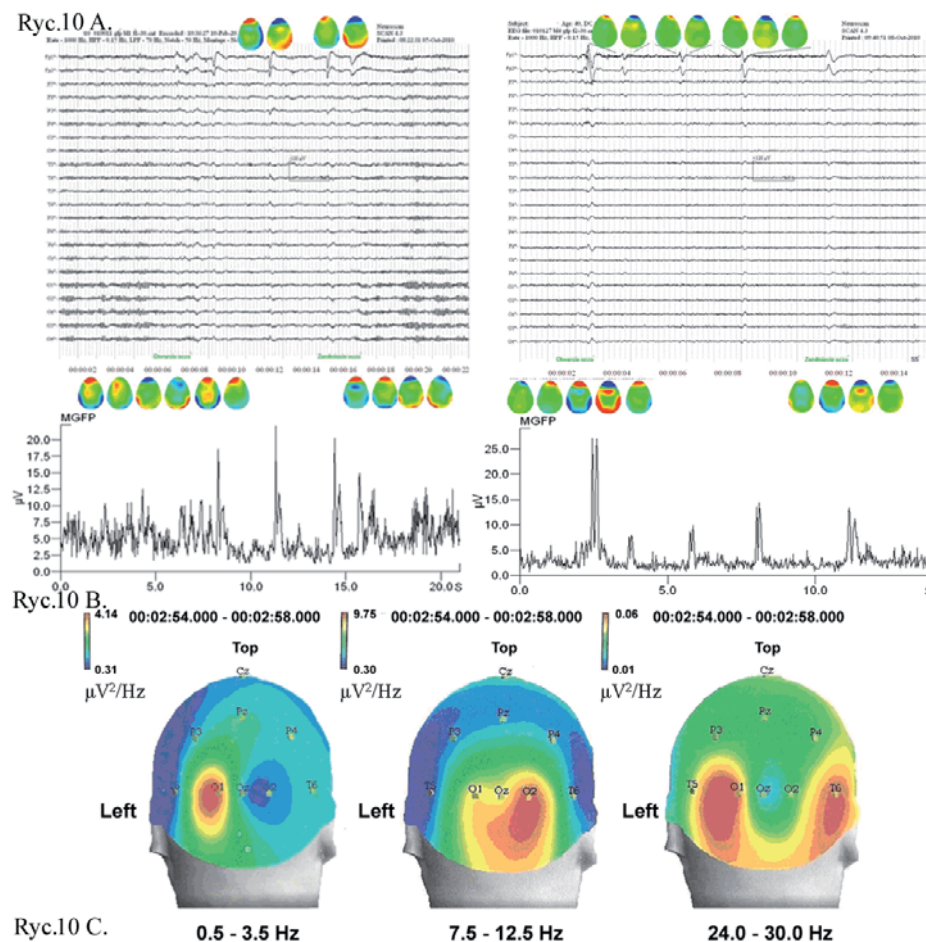


Ryc. 9B. Ten sam fragment zapisu EEG co na rycinie 9A, analizowany w paśmie 35-70 Hz. Przedstawione dane ujawniają wysokie zróżnicowanie charakterystyki morfologicznej Rz w grupie zapisów płaskich (alternans) i polimorficznych w obszarze dla pasm częstotliwości beta₂ i gamma, a dla zapisów monomorficznych częstotliwości w paśmie 0,5-20 Hz.

Fig. 9B. The same EEG as in Fig. 9A, analyzed in 35 to 70 Hz. Presented data reveal high diversity of SR morphological characteristics in the group of alternants and polymorphic records for beta₂ and gamma frequency bands. Monomorphic records for frequency 0.5 to 20 Hz.

Ryciny 9A i 9B ilustrują wyniki ilościowej analizy CSA zmienności EEG\Rz metodą FFT wszystkich przypadków w badanej grupie zapisów monomorficznych w pasmach 0,5-20 Hz i 35-70 Hz.

Ryciny 10 A, B, C przedstawiają graficzne zastosowanie metody neuroobrazowania (mappingu amplitudowego, częstotliwościowego i mocy sygnału EEG).



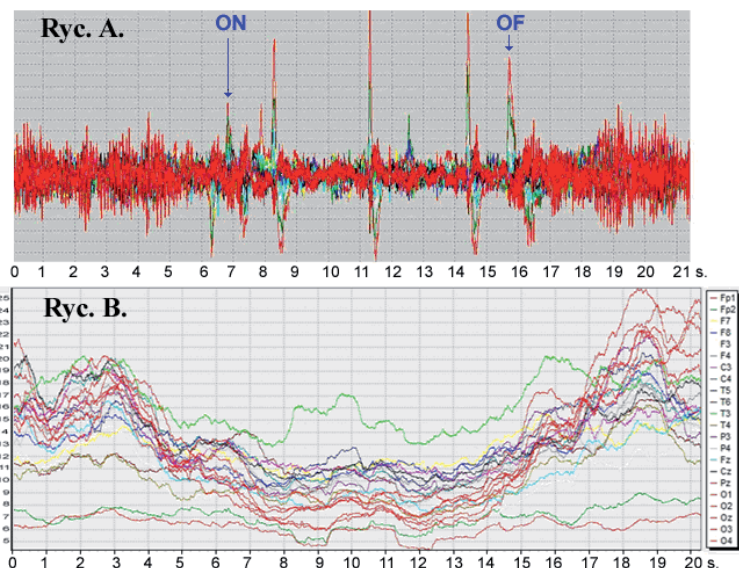
Ryc. 10. Metoda neuroobrazowania (mapping amplitudowy, częstotliwościowy i moc sygnału EEG) zmienności rozkładu energii aktywności bioelektrycznej związanej z wpływem motoryki układu wzrokowego w czasie reakcji zatrzymania (ryc. 10A) oraz rozkład całej energii sygnału obrazowanej wskaźnikami MGFP – ryc. 10B. Ryc. 10C - mapy mocy energii obrazują asymetrię rozkładu energii w tyłomózgowiu w czasie reakcji zatrzymania w paśmie częstotliwości 0,5-3,5 Hz związanej z ruchem bocznym gałki ocznej oraz zachowaną symetrią w paśmie 7,5-12,5 Hz i 24,0-30,0 Hz.

Fig. 10. Neuroimaging technique (amplitude, frequency mapping and EEG signal power) diversity distribution of bioelectrical energy associated with an effect of the oculomotor activity during SR (see Fig. 10A) and distribution of the total signal energy imaged with MGFP indices: Fig. 10B. Fig. 10C. Maps of energy power illustrate asymmetric distribution of energy in rhombencephalon during SR at frequency 0.5 to 12.5 Hz related to the eye movement and symmetry at frequencies 7.5 to 12.5 Hz and 24.0 to 30.0 Hz.

Powyżej przedstawione wykresy stanowią merytoryczne uzupełnienie i porównanie ilustrowanych wcześniej zmienności, badanych inną metodą, procesów zachodzących w różnych obszarach mózgu (pas przedni, środkowy, tylny) oraz dynamiki zmian w kolejnych 2 sekundowych sekwencjach czasowych. Zwracają uwagę powtarzalne, zależne od zapisu spoczynkowego i w przebiegu czasowym, Rz cechy procesów ERS i ERD w różnych strefach mózgu i związanych z tym lokalnych modułach OUN [6]. Uzyskane dane ujawniają wysokie zróżnicowanie charakterystyki morfologicznej Rz w grupie zapisów płaskich (alternans) i polimorficznych w obszarze pasma częstotliwości beta-2 i gamma, a dla zapisów z dominującą monomorficzną częstotliwością w paśmie od 0,5 do 20 Hz. W tym aspekcie wyniki analiz wyraźnie sugerują niezbędność odmiennej oceny i interpretacji wskaźników Rz/EEG w czasie stymulacji aktywnym działaniem w zależności od osobniczych dominujących cech zapisu poprzedzającego oraz koniecznością zastosowań zróżnicowanych metod pomiaru i analizy EEG w czasie aktywnych działań pilotów metodą szerokich pasm (*full band*).

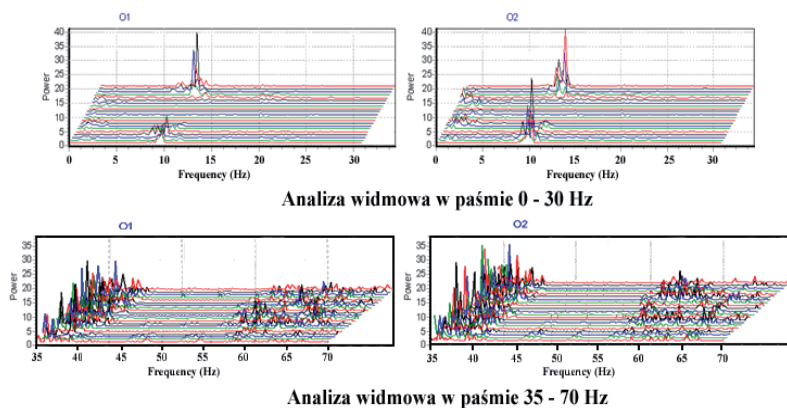
Powyżej przedstawiony przebieg rozkładów energetycznych w OUN w czasie Rz ilustruje lokalne i strefowe asymetrie rozkładu energii w linii środkowej z przewagą w tyłomózgowiu w paśmie częstotliwości 0,5-3,5 Hz związanej z ruchem bocznym gałki ocznej z zachowaną symetrią w paśmie 8-11 Hz typowym dla aktywności układu wzrokowego. Zaznaczone w obrazie różnice współbieżnie uformowanych w czasie Rz amplitudowych i częstotliwościowych map potwierdzają hipotezy odmiennego wpływu przebiegających w tym samym czasie różnorodnych procesów aktywności wzrokowej i okulomotorycznej na obraz EEG. Powyższa interpretacja może stanowić o słuszności wyboru zastosowania wybranych metod obrazowania przebiegu Rz i badania EEG przy otwartych oczach jako podstawowego warunku obiektywnej oceny jednoczasowych procesów ze stymulowanym zewnątrz działaniem pilota związanych z aktywnością okoruchową (akomodacja, konwergencja, dynamika aktywności żrenicznej).

Ryciny 11, 12 i 13 przedstawiają wyniki zmienności ocenianej przed, w czasie, i po Rz metodą FFT zmienności EEG\Rz przypadków we wszystkich w trzech badanych grupach zapisów: monomorficzne – grupa A, zapisy polimorficzne – grupa B i grupa C – zapisy niskonapięciowe (płaskie), w pasmach 0,3-30 Hz i 35-70 Hz. Kolejne obrazy związane z dynamiką parametru złożoności Rz wskazują na nowe możliwości wykorzystania tego wskaźnika do interpretacji zachodzących procesów w różnych modułach mózgowych.



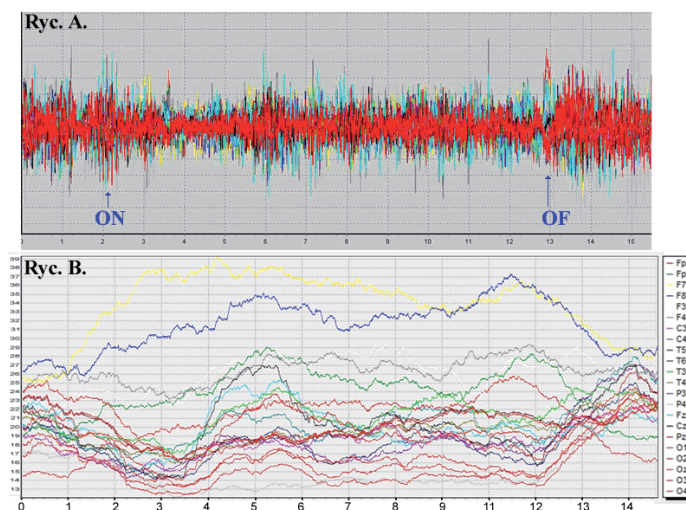
Ryc. 11. Badanie 010010. 010011. Analiza CSA Rz w monomorficznym zapisie. Na rysunku A (górnym) pokazane są sygnały nałożone ze wszystkich odprowadzeń. Strzałkami zaznaczone jest otwarcie i zamknięcie oczu. Na rysunku B pokazane są wykresy współczynnika złożoności dla odcinków 2 s z sygnałów z rysunku A. Dla większości kanałów wartości współczynnika maleją po otwarciu oczu i po zamknięciu powracają do poziomu wyjściowego.

Fig. 11. EEG 010010.010011. CSA analysis of SR in monomorphic record. Fig. 11A. Signals from all leads. Arrows indicate eyes opening and closure. Fig. 11B. Graphs of the complexity index for a 2-second intervals as per Fig. A. For the majority of leads this index values decrease after eyes opening and return to initial level after eyes closure.



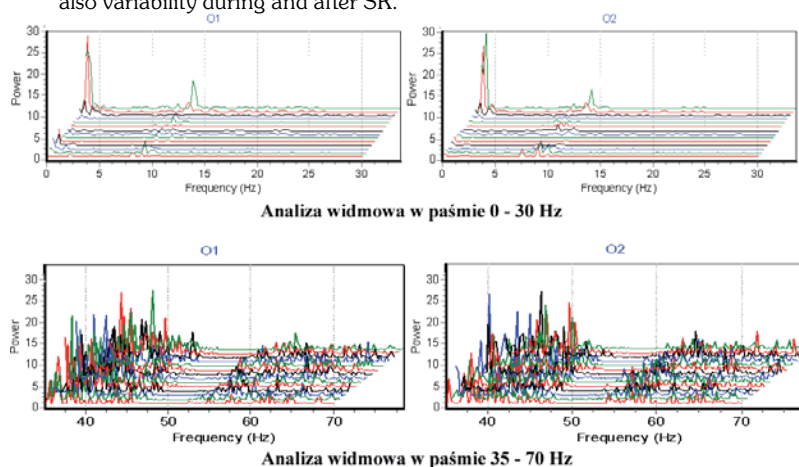
Ryc. 11C. Analiza widmowa wspomaga różnicowanie reakcji mózgu (odprowadzenia O1 i O2) na otwarcie oczu w paśmie od 0-30 Hz. Natomiast w paśmie 35-70 Hz o różnicowanie w poszczególnych segmentach jest mniej przydatne w zapisach monomorficznych.

Fig. 11C. Spectrum analysis helps differentiation of brain reaction (O1 and O2 leads) for eye opening in frequencies from 0 Hz to 30 Hz, whereas in frequencies from 35 Hz to 70 Hz differentiation in particular segments is less useful in monomorphic EEG records.



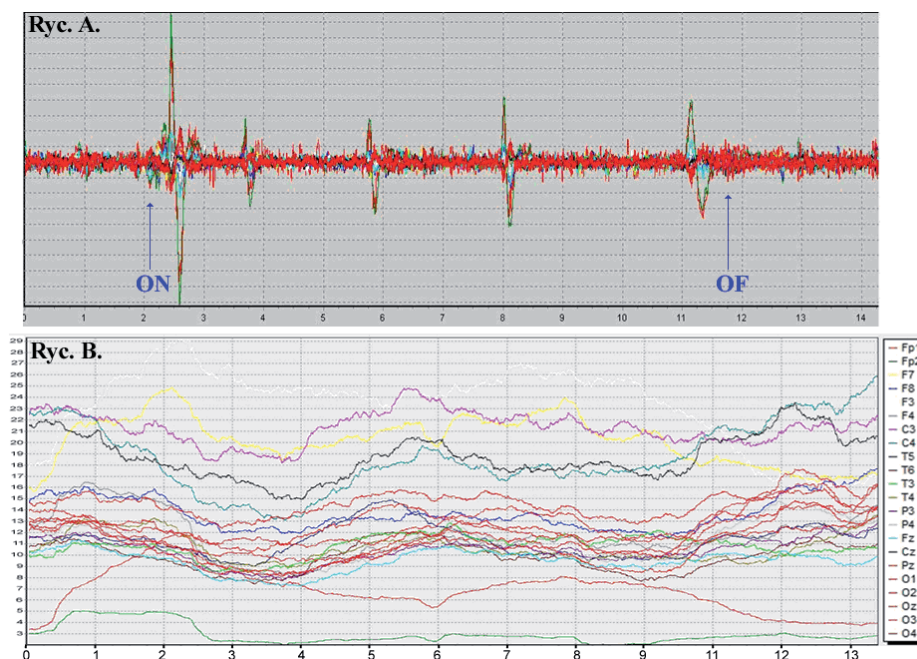
Ryc. 12. W zapisach polimorficznych wykresy wskazują na wysokie zróżnicowanie we wszystkich kanałach i znaczną zmienność w czasie i po Rz. Na rysunku 12A (górnym) pokazane są sygnały nałożone ze wszystkich odprowadzeń. Strzałkami zaznaczone jest otwarcie i zamknięcie oczu. Na rysunku 12B pokazane są wykresy współczynnika złożoności dla odcinków 2 s sygnałów z rysunku A. Wykresy są zróżnicowane dla poszczególnych kanałów i wskazują również na zmienność w czasie i po Rz.

Fig. 12. Graphs in polymorphic records show high diversity in all channels and considerable variability during and after SR. Fig. 12A. Signals from all leads. Arrows indicate eyes opening and closure. Fig. 12B. Graphs of the complexity index for a 2-second intervals as per Fig. A. Graphs are diversified for particular channels and indicate also variability during and after SR.



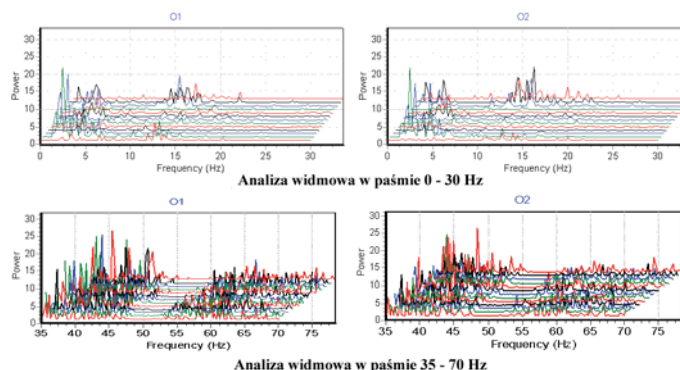
Ryc. 12 C. W zapisie polimorficznym analiza widmowa czynności bioelektrycznej mózgu w trakcie Rz w paśmie 35-70 Hz w niewielkim stopniu różnicuje odpowiedzi mózgu w niektórych segmentach. Natomiast analiza widmowa w paśmie 0-30 Hz nie ujawnia widocznych różnic dla badanych okolic mózgu.

Fig. 12C. In polymorphic EEG, spectrum analysis of brain bioelectrical activity during SR in frequencies from 35 Hz to 70 Hz differentiates brain reactions in some segments to a small extent, whereas spectrum analysis in frequencies from 0 Hz to 30 Hz does not reveal marked differences for examined brain areas.



Ryc. 13. Zapis EEG niskonapięciowy. Górny rysunek – A pokazuje sygnały nałożone ze wszystkich odprowadzeń. Strzałkami zaznaczone jest otwarcie i zamknięcie oczu. Na rysunku B pokazane są wykresy współczynnika złożoności dla odcinków 2 s sygnałów z rysunku A. Dla większości kanałów nie zaznacza się wyraźna zmiana złożoności związana z otwarciem i zamknięciem oczu. W zapisach tzw niskonapięciowych (grupa C) wskaźnik złożoności większości kanałów nie ujawnia wyraźnych zmian związanych z otwarciem i zamknięciem oczu. Przydatność tego wskaźnika w ocenianej grupie jest mało sensytywna.

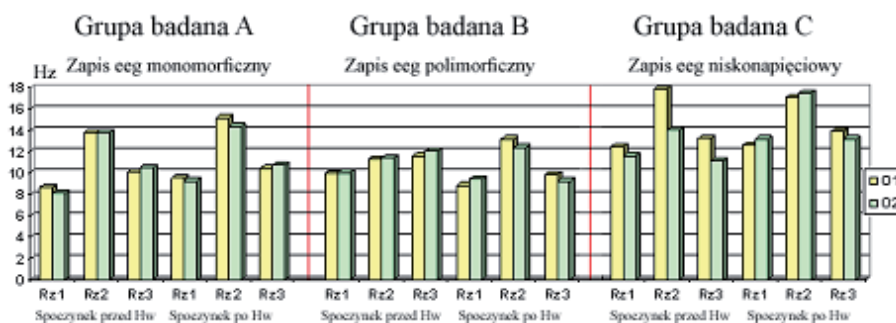
Fig. 13. Low voltage EEG. Upper part (Fig. A) show signals from all leads. Arrows indicate eyes opening and closure. Lower part (Fig. B): graphs of the complexity index for a 2-second intervals as per Fig. A. There is no marked change of the complexity associated with eyes opening and closure. In the low voltage EEG records (group C), complexity index of the majority of channels does not reveal changes associate with eyes opening and closure. Value of this index in the examined group of individuals is rather insensitive.



Ryc. 13 C. Analiza widmowa w zapisie niskonapięciowym wspomaga różnicowanie odpowiedzi bioelektrycznej mózgu na Rz w poszczególnych okolicach zarówno w paśmie od 0-30 Hz i 35-75 Hz.

Fig. 13C. Spectrum analysis in a low voltage EEG helps to differentiate brain bioelectrical reaction to SR in the examined brain areas in both frequencies from 0 Hz to 30 Hz and from 35 Hz to 75 Hz.

Wymaga tu wyjaśnienia, że wartość współczynnika złożoności przedstawia sumę różnic amplitudy w kolejnych próbkach sygnału normalizowanych amplitudą „*pik to pik*”. Jest on wykorzystywany do porównywania kształtu sygnałów o różnych amplitudach i czasie trwania. Powyższa metoda została opisana szczegółowo w poprzedniej pracy [24]. Do każdej z omawianych rycin załączone są niżej wykresy obrazujące zmienności tych samych co na rycinach danych EEG\Rz ocenianych metodą Fouriera w obszarze dwóch odmiennych skal częstotliwościowych od 0,3 do 30 Hz oraz od 35 do 70 Hz.



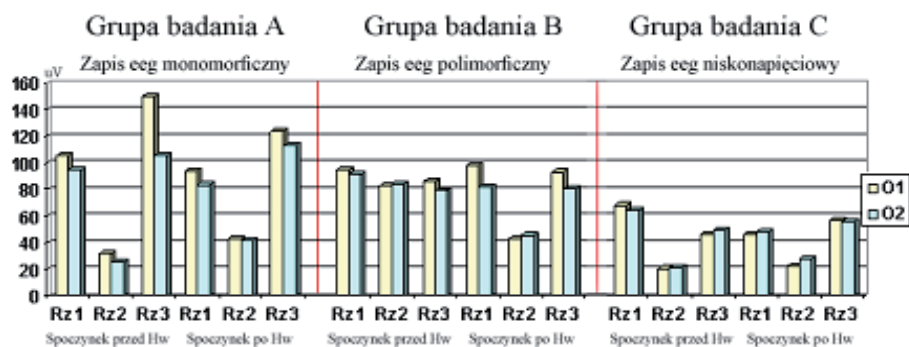
Ryc. 14. Wykres średnich wartości częstotliwości Rz w spoczynku przed Hw i Rz po Hw dla odprowadzeń O1 i O2 w trzech badanych grupach: grupa A z rytmem monomorficznym (N=10), grupa B z rytmem polimorficznym (N=10) i grupa C z niskonapięciowym rytmem (N=10).

Fig. 14. Diagram of mean rest SR frequency before and after hyperventilation for leads O1 and O2 in three examined groups: group A with monomorphic rhythm (N=10); group B with polymorphic rhythm (N=10), and group C with low voltage rhythm (N=10).

Rz 1 – zawiera fragment zapisu EEG przed otwarciem oczu, otwarciem oczu i fragment zapisu z otwartymi oczami

Rz 2 – zawiera środkowy fragment zapisu EEG w czasie reakcji otwarcia oczu,

Rz 3 – zawiera fragment zapisu końcowy przy oczach otwartych, zamknięcie oczu i fragment zapisu EEG po zamknięciu oczu.



Ryc. 15. Wykres średnich wartości amplitudy Rz w spoczynku przed Hw i Rz po Hw dla odprowadzeń O1 i O2 w trzech badanych grupach: grupa A z rytmem monomorficznym (N=10), grupa B z rytmem polimorficznym (N=10) i grupa C z niskonapięciowym rytmem (N=10).

Fig. 15. Diagram of mean rest SR amplitude values before and after hyperventilation for leads O1 and O2 in three examined groups: group A with monomorphic rhythm (N=10); group B with polymorphic rhythm (N=10), and group C with low voltage rhythm (N=10).

Rz 1 – zawiera fragment zapisu EEG przed otwarciem oczu, otwarcie oczu i fragment zapisu z otwartymi oczami

Rz 2 – zawiera środkowy fragment zapisu EEG w czasie reakcji otwarcia oczu,

Rz 3 – zawiera fragment zapisu końcowy przy oczach otwartych, zamknięcie oczu i fragment zapisu EEG po zamknięciu oczu.

Tab. 1. Zbiornicza ocena zmienności aktywności bioelektrycznej w obrazie EEG w czasie Rz, w różnych modułach czynnościowych mózgu oraz w odniesieniu do charakterystyki morfologicznej zapisu poprzedzającego (zapis spoczynkowy i po Hw)

Tab. 1. Collective assessment of the brain bioelectrical activity in EEG during SR in different brain functional modules and in comparison with preceding EEG morphological characteristics (record at rest and after hyperventilation)

	Średnia częstotliwość	Średnia częstotliwość	Średnia częstotliwość	Średnia częstotliwość	Średnia częstotliwość	Średnia częstotliwość
Pas przedni	18,72	15,79	20,17	18,45	26,2	18,3
Pas środkowy	13,21	14,32	12,71	14,49	12,96	15,14
Pas tylny	13,52	14,76	11,49	12,42	14,49	15,9
	Rz spoczynkowe	Rz po spoczynku	Rz spoczynkowe	Rz po spoczynku	Rz spoczynkowe	Rz po spoczynku
	Rytm monomorficzny		Rytm polimorficzny		Rytm niskonapięciowy	

Tab. 2. Zawiera informację o dynamice zmienności zapisu EEG w strukturach czynnościowych związanych z aktem stymulacji wzrokowej w odniesieniu do morfologii zapisu poprzedzającego działanie

Tab. 2. Information about dynamics of EEG records in brain functional structures associated with visual stimulation in comparison with EEG record preceding stimulation

		ZAPIS MONOMORFICZNY				ZAPIS POLIMORFICZNY				ZAPIS NISKONAPIECIOWY			
		Rz spoczynkowe		Rz po Hw		Rz spoczynkowe		Rz po Hw		Rz spoczynkowe		Rz po Hw	
		ś. c.	o. s.	ś. c.	o. s.	ś. c.	o. s.	ś. c.	o. s.	ś. c.	o. s.	ś. c.	o. s.
O1	Rz 1	8,9	7,1	9,3	3,2	10,9	7,1	8,9	4,1	12,3	13,9	12,2	13,6
	Rz 2	13,9	9,9	15,4	8,1	11,6	6,8	13,1	7,2	17,9	17,4	17,1	14,3
	Rz 3	10,3	5,2	10,8	6,3	11,9	7,7	9,2	4,4	13,6	11,2	13,9	16,6
O2	Rz 1	8,5	4,5	9,3	9,2	10,2	6,2	9,6	5,1	11,8	6,0	13,2	14,6
	Rz 2	13,9	11,6	14,1	8,7	11,8	9,8	12,2	7,1	14,1	7,5	17,6	15,3
	Rz 3	10,7	5,1	10,5	9,1	12	6,6	9,2	3,3	11,2	6,9	13,6	16,8

ś. c. – średnia częstotliwość

o. s. – odchylenie standardowe

Rz 1 – zawiera fragment zapisu EEG przed otwarciem oczu, otwarcie oczu i fragment zapisu z otwartymi oczami

Rz 2 – zawiera środkowy fragment zapisu EEG w czasie reakcji otwarcia oczu,

Rz 3 – zawiera fragment zapisu końcowy przy oczach otwartych, zamknięcie oczu i fragment zapisu EEG po zamknięciu oczu.

Przedstawione powyżej wyniki badań nad Rz wyróżniają odmienne obrazy reaktywności w EEG zależne od: poprzedzającej charakterystyki czynności podstawowej (monomorfizm, polimorfizm, alternans), stosowanych form stymulacji (światło-adaptacja do poziomu luminacji, czas trwania, obraz stacjonarny lub ruchomy) topolokalizacji akwizycji sygnału oraz od wyboru metod związanych z obszarem pasm częstotliwości analizowanych sygnałów: alfa, hetta, (beta, gamma).

Omówienie

Badania aktywności bioelektrycznej mózgu i jej zmienności podczas reakcji zatrzymania (Rz) ujawnianej otwarciem oczu i porównanie z obrazem EEG uzyskiwanego w czasie kontrolowanej stymulowanej czynności są związane z potrzebą wykorzystania obiektywnych parametrów procesów zachodzących w OUN do oceny realnych działań pilota. W tym aspekcie ustalenie obecności w obrazie EEG różnej w przestrzeni czasu i obszarze mózgu aktywności bioelektrycznej, ujawnianej w zależności od kolejnej fazy dokonywanego aktu działania, wymaga zastosowania swoistych metod umożliwiających identyfikację i obrazowanie zależnych i niezależnych od stanu chwilowego reakcji.

Elektroneurometryczny zapis i opis EEG oraz stosowanie neuroinformatycznego modelu interpretacji jest w naszej pracy próbą powiązanie cech obrazu aktywności neuronalnej OUN z funkcjami: percepcji, selektywnej uwagi, postrzegania, w tym procesów poznawczych oraz udziału różnych struktur mózgu w poborze, przesyłaniu, transformacji, informacji w odniesieniu do końcowego efektu sprawczego lub jego braku. Wymaga zaznaczenia, że ważny obszar informacji uzyskiwany z jednoczesowej rejestracji aktywności okoruchowej w zasadzie jest niezbędny dla pełnej, obiektywnej interpretacji badanych zjawisk. Wykonane badania są nowatorskimi w Polsce próbami odmiennego podejścia do dotychczasowych standardowych wg IFCN opisów, kwalifikacji i interpretacji polifizjograficznych zapisów EEG, związanych także z poszerzeniem obszaru zarejestrowanej zmienności w paśmie do 100 Hz (pasma beta 1, 2 i gamma). Aktywność mózgu wyrażona w tych pasmach związana z procesami okresowych synchronizacji i desynchronizacji dominującego rytmu podstawowego obrazuje bezpośrednio funkcje wpływów globalnie aktywującego układu siatkowatego (system RIAS) i struktur podkorowo-korowych realizujących procesy związane z nadchodzącymi do mózgu informacjami z obszaru narządów percepcyjnych.

Obraz EEG czynności spoczynkowej, bez zadanej i kontrolowanej stymulacji, lub określonym działaniem (*resting EEG*) jest nieadekwatny do zapisu aktywnego EEG (*active EEG*) uniemożliwiając w istocie ocenę procesu reagowania pilota. Stan spoczynku w obrazie EEG bez stymulacji wyraża jedynie dominujący osobniczy wzorzec (*pattern*) procesu synchronizacji (indeks alfa). Wartość wymienionych spoczynkowych osobniczych wskaźników ma wyłącznie znaczenie diagnostyczne w sytuacji, gdy są one powtarzalne w kolejnych badaniach i mało zmienne dla danej osoby. Oceny procesów reaktywności OUN wyrażone dynamiczną bioelektryczną aktywnością mózgu w obrazie EEG są szczególnie przydatne w obiektywnej ocenie zachowań pilota w sytuacjach trudnych stwarzających konieczność szybkiego poznania i skutecznego działania. Badania metodą QEEG\Rz zmienności zapisu EEG rejestrowanego w czasie zamkniętych oczu zgodnie z zaleceniami IFCN oraz w czasie otwartych oczu ujawniło bardzo zróżnicowany obraz przebiegu (w wymienionych procedurach badania) procesu reaktywności modułów czynnościowych mózgu, co skutkuje innością znaczeniową w odniesieniu (między innymi) do pomiaru powyższym wskaźnikiem czasu reakcji prostej i odroczonej w zakresie pozytywnej lub negatywnej odpowiedzi na istniejącą sytuację.

Jak sugerują wyniki naszych analiz zawartych w powyżej przedstawionych rycinach i tabelach, istnieją w tym obszarze danych pozytywne korelacje z osobniczym poziomem progów sensytywności percepcyjnej. Wymaga podkreślenia potwierdzony topolokalizacyjną analizą strefową danych, udział różnych struktur mózgu aktywowanych w procesie przesyłu, transformacji, scalania i weryfikowania informacji, różny w zależności od badania z zamkniętymi i otwartymi oczyma. Wynika stąd praktyczne znaczenie naszych badań opartych na ustaleniu indywidualnych cech charakteryzujących reakcje zatrzymania w obrazie EEG u pilotów w odniesieniu do parametrów oceny ich działań w czasie rzeczywistego lotu, a szczególnie ćwiczeń z wykorzystaniem symulatorów. Także w badanym problemie istotne znaczenie miało wyróżnienie w tzw. wzorcach EEG stacjonarnych charakterystycznych cech spoczynkowego zapisu u pilotów, którzy okresowo mają wykonywane

kilkakrotnie badania EEG wg standardów IFCN, umożliwiając odniesienie tych parametrów do uzyskiwanych w wynikach rejestrowanych w czasie ich aktywnych dynamicznych działań przy otwartych oczach. Wymaga szczególnego podkreślenia ujawnienie istotnych różnic w czasie stymulowanych działań zależnych od osobniczych charakterystyk zapisu spoczynkowego. To spostrzeżenie skutkuje koniecznością zróżnicowanych ocen i interpretacji zapisów EEG w czasie aktywnych działań pilotów w zależności od monomorficznego, polimorficznego lub płaskiego zapisu

Wnioski

1. Uzyskane wyniki potwierdzają wysokie zróżnicowanie charakterystyki obrazu EEG uzyskiwanego w czasie zapisu wykonywanego przy oczach zamkniętych i otwartych zależne od morfologii wyprzedzającej akt otwarcia oczu oraz od topolokalizacji punktu rejestracji.
2. Opis dynamiki zmienności zapisu EEG w czasie Rz wskazuje na celowość analizy w dwóch pasmach częstotliwości: standardowym wg IFCN od 0,3 do 30 Hz oraz wysokoczęstotliwościowym (minimum do 100 Hz).
3. Istnieje uzasadniona konieczność poszerzenia programu standardowego badania EEG (wg wskazań IFCN) u pilotów wykonywanego dotychczas w czasie kontroli okresowych, o rejestrację przez trzy minuty przy otwartych oczach.
4. Uzyskane charakterystyki zapisu EEG przy otwartych oczach z uwzględnieniem wpływu aktywności okoruchowej stanowią podstawę do badań reaktywności układu nerwowego w czasie wykonywanych działań w locie oraz podczas ćwiczeń z zastosowaniem symulatorów.

Piśmiennictwo

1. Noel J.B., Bauer K.W., Lanning J.W.: Improving pilot mental workload classification through feature exploitation and combination: a feasibility study. *Comp. Operations Res.* 2005, 32, 2713-2730.
2. Tokumaru O., Mizumoto Ch., Takada Y., Ashida H.: EEG activity of aviators during imagery flight training. *Clin. Neurophysiol.* 2003, 40, 1926-1935.
3. Sterman M.B., Mann C.A.: Concepts and applications of EEG analysis in aviation performance evaluation. *Biol. Physiol.* 1995, 40, 115-130.
4. Różanowski K, Skibniewski F, Oliwa D, Tarnowski A.: Osobowościowe i sytuacyjne uwarunkowania reakcji emocjonalnych podczas realnego lotu. *Pol. Przegl. Med. Lotn.* 2010, 10(3), 241- 256.
5. Aebib M.A., Erdi. P., Azentagothal J.: *Neural organisation, structure, function and dynamic.* MIT. Press Cambridge 1998.
6. Fingelkurts A.A., Fingelkurts A.A., Krause Ch.M., Sams M.: Probability interrelations between pre/post stimulus intervals and ERD/ERS during a memory task. *Clin. Neurophysiol.* 2002, 113, 826-843.

7. Stam C. J.: Continues EEG and cognitive mechanism: a future for clinical neurophysiology. *Am. J. Electroneurodiagnosis Technol.* 2003, 43(4), 211-227.
8. Denis L., Schutter G., Leitner C., Kenemans L., van Hock J.: Electrophysiological correlates of cortico-subcortical interaction, a cross-frequency spectral analysis. *Clin. Neurophysiol.* 2006, 117, 381-387.
9. Hillyard S.A., Antilo-Vente I.: Event related brain potentials in the study of visual selective attention. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 1998, 95, 785-787.
10. Classen J., Gerloff C., Honda M., Hallett M.: Integrative visuomotor behavior is associated with interregionally coherent oscillations in the human brain. *J. Neurophysiol.* 1998, 79, 1567-1573.
11. *Visuals Electrodiagnostic*, Guide to procedure <http://www.iscev.org/standards/proceduresguide.html>.
12. *Guidelines for calibration of stimulus and recording parameters used in clinical electrophysiology of vision*. *Doc. Ophthalmol.* 2003, 107, 185-193.
13. Miszczak J.: Badania stanów czynnościowych mózgu metodą mapingu korowych potencjałów wywołanych. *Pol. Przegl. Med.Lotn.* 2003, 9(3), 333-349.
14. Turski B. (red.): Opracowanie zakresów badań wstępnych, okresowych okolicznościowych dla wojskowego personelu lotniczego. *Post. Med. Lot.* 2008, 15(1), 41-67.
15. Robinson D. L.: The technical, neurological and psychological significance of alpha, delta and theta waves confounded in EEG evoked potentials. *Clin. Neurophysiol.* 1999, 110, 1427-1434.
16. Gruber Th., Muller M.M., Keil A., Elbert Th.: Selective visual spatial attention alters induced gamma band responses in the human EEG. *Clin. Neurophysiol.* 1999, 110, 2074-2085.
17. Fries P., Scheringa E., Gostenvald R.: Finding gamma. *Neuron* 2008, 58, 303-305.
18. Magosso E., Ursino M., Zaniboni A., Provini P., Montagna P.: Visual and computer based detection of slow eye movement overnight and 24 EOG recordings. *Clin. Neurophysiol.* 2007, 118, 1122-1131.
19. Wróbel A.: Pasma beta a uwaga wzrokowa. *Acta Neurobiol. Exp.* 2005, 65, 421-423.
20. Basar E., Yordanowa J., Kolev V., Basar-Eroglu C.: Is the alfa rhythm a control parameters, for brain responses. *Biul. Cyber.* 1997, 76, 171.
21. Kamiński M., Zygierewicz J., Kuś R., Crone N.: Analysis of multichannel biomedical data. *Acta Neurobiol. Exp.* 2005, 65, 443-442.
22. Łacka M. Lempel Z.: Empiryczna dekompozycja modalna i metoda złożoności. *Przegl. Lek.* 2010, 6, 715-719.

23. Personality, psychopathology and brain oscillation. *Pers. Individ. Dif.* 2003, 35, 1331-1349.
24. Zalewska E., Hausmanowa I.: Evaluation of MUAPP shape irregularity a new concept of quantification *IEEE. Trans. Biomed. ENG* 1995, 42, 6, 616-620.

Nadesłano: 23.02.2011 r.

Zaakceptowano do publikacji: 20.04.2011 r.