

Psychofizjologiczne podstawy świadomego śnienia

Psychophysiological basis of lucid dreaming

Maciej Giermakowski, Kamila Jankowiak-Siuda, Anna Duszyk-Bogorodzka

Centrum Neuronauki Behawioralnej, Instytut Psychologii, SWPS Uniwersytet Humanistycznospołeczny w Warszawie

Neuropsychiatria i Neuropsychologia 2021; 16, 3–4: 184–195

Adres do korespondencji:

Maciej Giermakowski
Centrum Neuronauki Behawioralnej
Instytut Psychologii
SWPS Uniwersytet Humanistycznospołeczny w Warszawie
e-mail: mgiermakowski@st.swps.edu.pl

Streszczenie

Świadome śnienie (*lucid dreaming* – LD) to taki rodzaj snu, w którym śniący ma świadomość tego, że śni (doświadczając marzenia sennego). Świadomość uzyskaną podczas LD określa się jako dwumodalną, ponieważ zawiera cechy świadomości pierwszorzędowej, takie jak percepcja, emocje, oraz świadomości drugorzędowej, takie jak samorefleksja, zdolność do myślenia abstrakcyjnego czy metapoznanie.

Celem pracy jest scharakteryzowanie świadomego śnienia oraz wskazanie jego neurokorelatów na podstawie danych polisomnograficznych i uzyskanych metodami neuroobrazowania. Dotąd w tym obszarze przeprowadzono niewiele badań, a ich wyniki nie dają spójnego obrazu aktywności mózgu związanego z tym fenomenem. Wyniki badań elektrofizjologicznych wskazują, że świadome śnienie w porównaniu z nieświadomym śnieniem (*non-lucid dreaming* – nLD) jest związane z większą mocą w wyższych pasmach: gamma w obszarach kory czołowej oraz beta w obszarach kory ciemieniowej, a także spadkiem mocy w niskich częstotliwościach delta oraz theta. Również dane neuroobrazowe pokazują silniejszą aktywność obszarów mózgowych związanych z siecią czołowo-ciemieniową, w szczególności grzbietowo-bocznej kory przedczołowej (*dorsolateral-prefrontal cortex* – DLPFC) czy przedklinka podczas LD w porównaniu z nLD. Aktywność tych obszarów ściśle wiąże się z procesami świadomościowymi, metapoznaniem, wglądem oraz regulacją emocji, co mogłoby wskazywać, dlaczego w trakcie LD nie tylko dochodzi do uświadomienia sobie tego, że śnimy, lecz także kontrolowania poznawczego czy emocjonalnego treści marzeń sennych. Niemniej świadome śnienie to zjawisko, które jest badane od niedawna i ze względu na dużo niewiadomych wynikających z trudności metodologicznych potrzeba nowych badań w celu potwierdzenia dotychczasowych wyników.

Słowa kluczowe: LD, nLD, metapoznanie, DLPFC, sieć czołowo-ciemieniowa.

Abstract

Lucid dreaming (LD) is a type of a dream in which dreamers are aware that they are dreaming. The consciousness obtained during LD is referred to as bimodal because it contains features of primary consciousness such as perception, emotions, and secondary consciousness such as self-reflection, ability of abstract thinking and metacognition.

The aim of this study is to characterize lucid dreaming and indicate its neural correlates based on polysomnographic and neuroimaging methods. So far, few studies have been conducted in this field, of which the results do not provide a coherent picture of the brain activity associated with this phenomenon. The results of electrophysiological studies indicate that lucid dreaming compared to non-lucid dreaming (nLD) is associated with increased power in higher bands: the gamma band in the frontal cortex and beta in the parietal cortex, and a power decrease in low frequencies of delta and theta bands. Neuroimaging studies also show stronger activation of the brain areas associated with the fronto-parietal network, in particular the dorso-lateral prefrontal cortex or the precuneus during LD in comparison to nLD. The activity of these areas is closely related to self-consciousness processes, metacognition, insight as well as emotion regulation, which could indicate why during LD there is not only realization that we are dreaming but also cognitive or emotional control of the dream content. However, lucid dreaming is a phenomenon that has been studied recently and because of many uncertainties resulting from methodological difficulties, new research is needed to confirm the current results.

Key words: LD, nLD, metacognition, DLPFC, fronto-parietal network.

Wstęp

Świadome śnienie (*lucid dreaming* – LD), inaczej określane świadomym snem, to zjawisko, kiedy śniący zdaje sobie sprawę z faktu, że śni (doświadcza marzenia sennego) (Baird i wsp. 2019; LaBerge i Ornstein 1985). Po raz pierwszy termin „świadome śnienie” został zdefiniowany w 1913 r. przez lekarza psychiatrę, Frederika van Eedena (Van Eeden 1913). Wiele wskazuje na to, że osoba w czasie świadomego śnienia ma świadomość swojego śnienia i jest w stanie wykonywać różne czynności świadomie, takie jak np. ruch palców ręki czy stopy, a nawet proste operacje mentalne, np. liczenie (Dresler i wsp. 2011; Fenwick i wsp. 1984; LaBerge i Ornstein 1985; LaBerge 1990, 2015; LaBerge i wsp. 1981; Windt 2015), może ona wpływać na ich treść oraz zmieniać ich bieg (Kahan i LaBerge 1994). Podczas świadomego snu wykonywanie czynności motorycznych trwa istotnie dłużej niż w stanie czuwania (Erlacher i wsp. 2014).

Wydaje się, że świadomego śnienia przynajmniej raz w życiu doświadcza ok. 40–50% osób. Szacuje się, że ok. 20% osób śni świadomie przynajmniej raz w miesiącu, a 1% raz w tygodniu (Schredl i Erlacher 2011). Występowanie LD jest związane również z wiekiem – dzieci i nastolatki doświadczają go częściej niż dorośli (Voss i wsp. 2012).

Świadome sny wydają się osobie śniącej bardziej realistyczne niż nieświadome (*non-lucid dreaming* – nLD) (LaBerge 1990). Często cechują się większą ekscentrycznością (*bizarreness*), co może wpływać na to, że im dziwniejsze jest marzenie senne, tym łatwiej jest w czasie jego trwania uzyskać świadomość (Ogilvie i wsp. 1982; Stumbrys i wsp. 2013). Nie wszystkie badania to jednak potwierdzają (Yu i Shen 2020).

Pomimo że zjawisko świadomego śnienia zostało zdefiniowane na początku XX w., to przez długi czas nie było ono przedmiotem badań fizjologów ani psychologów. Badania prowadzone od lat 80. ubiegłego wieku pozwalają jednak na określenie ogólnej charakterystyki tego zjawiska.

W pracy zostanie przedstawiony stan badań nad świadomym śnieniem w kontekście poszukiwania neurokorelatów tego fenomenu. Warto tutaj zaznaczyć, że ze względu na rzadkość występowania omawianego zjawiska, liczba osób badanych oraz epizodów LD jest dość ograniczona, a wiele z uzyskanych wyników nie zostało jeszcze zreplicowanych. Dzięki temu otwiera się dalsza perspektywa badawcza w obszarze badań LD. Celem artykułu jest scharakteryzowanie zjawiska LD na podstawie dostępnej literatury,

ze szczególnym naciskiem na wskazanie neuronalnych korelatów LD przy wykorzystaniu polisomnografii oraz metod obrazowania mózgu.

Charakterystyka świadomego śnienia

Istotnym oraz często poruszonym zagadnieniem jest sama świadomość występująca podczas świadomego śnienia. Jednym z ujęć teoretycznych świadomości, często przywoływanym przez badaczy LD, jest teoria świadomości Edelmanna, który dzieli świadomość na świadomość pierwszorzędową (*primary consciousness*) oraz świadomość drugorzędową (*secondary consciousness*) (Edelman 2003). Do świadomości pierwszorzędowej Edelman zalicza przede wszystkim umiejętność doświadczania świadomości prostych, takich jak percepcja czy emocje, natomiast w przypadku świadomości drugorzędowej dochodzi do uaktywnienia zdolności poznawczych, takich jak samorefleksja, metapoznanie czy zdolność do myślenia abstrakcyjnego. W świecie zwierząt, wśród ptaków czy większości ssaków, występuje głównie świadomość pierwszorzędowa, a u naczelnych, szczególnie u ludzi, zdecydowanie dominuje świadomość drugorzędowa. Hobson i Voss (2010) uważają, że ludzie podczas nieświadomego śnienia są zdolni tylko do świadomości pierwszorzędowej, natomiast świadome śnienie jest zjawiskiem, w którym można zaobserwować, jak ze świadomości pierwszorzędowej człowiek przechodzi do stanów świadomości drugorzędowej. Świadomość w trakcie LD określa się jako dwumodalną, ponieważ zawiera elementy świadomości pierwszorzędowej oraz drugorzędowej (Hobson 2009; Voss i Hobson 2014).

Patrząc z perspektywy fizjologicznej, fenomen świadomego śnienia można łączyć ze współwystępowaniem dwóch stanów fizjologicznych (Hobson 2009). Z takim przypadkiem mamy do czynienia np. podczas hipnozy czy paraliżu przysennego, kiedy śniący wybudza się ze snu, ale pomimo wybudzenia nie jest w stanie się ruszać, ponieważ nadal są wstrzymane u niego funkcje motoryczne wynikające z fizjologii snu REM (*rapid eye movement*). Świadome śnienie również określa się jako zjawisko pomiędzy stanem czuwania a zwyczajnym snem REM, ponieważ zawiera pewne cechy, które są charakterystyczne dla stanu czuwania oraz snu REM, takie jak metapoznanie, samorefleksja, a także atonia i występowanie szybkich ruchów gałek ocznych (Kahan i LaBerge 1994; Voss i wsp. 2009; Mota-Rolim i Araujo 2013; Voss i Hobson 2014).

Świadome sny pojawiają się najczęściej w fazie snu REM (LaBerge 1990), choć niektórzy

badacze sugerują występowanie świadomych snów również w fazie NREM (*non-rapid eye movement*) (Dane i Van de Castle 1984; Stumbrys i Erlacher 2012) (tab. 1). Wskazywane są dwie drogi prowadzące do pojawienia się LD u ludzi (LaBerge i wsp. 1986). Pierwsza – przez zachowanie świadomości ze stanu czuwania podczas snu, druga – przez pojawienie się świadomości w trakcie snu. Pojawienie się LD podczas snu REM jest związane ze zwiększonym pobudzeniem (LaBerge i wsp. 1986), stąd hipoteza o zależności tego fenomenu od działania systemu cholinergicznego. Potwierdzają ją wyniki dwóch badań, w których po podawaniu inhibitora acetylocholinoesterazy (donepezyl, galantamina) osobom często doświadczającym świadomego śnienia liczba LD wzrosła w zależności od wielkości przyjętej dawki leku (LaBerge 2001; LaBerge i wsp. 2018). Efektu tego nie zaobserwowano natomiast po podaniu prekursora acetylocholin – alfosceranu cholinyl (Kern i wsp. 2017).

Oprócz farmakologii zwiększenie liczby LD doświadczanych przez ludzi było związane z podawaniem bodźców podczas snu (Baird i wsp. 2019; Holzinger i wsp. 2006) oraz stosowaniem różnych technik, takich jak wykonywanie testów rzeczywistości (*reality-check training*) lub MILD (*mnemonic induction of lucid dreaming*) (Aspy 2020; LaBerge 1980; Schredl 2013; Stumbrys i wsp. 2012).

Neurokorelaty związane z treścią świadomych snów

Podstawową metodą weryfikującą, czy osoba w stanie snu jest świadoma, jest badanie kwestionariuszowe po wybudzeniu w trakcie snu REM. Za jego pomocą zbierane są informacje dotyczące doświadczanej świadomości podczas snu. Zalecany podejściem, które wydaje się obecnie standardem w tego typu badaniach, jest monitorowanie ruchów gałek ocznych w trakcie snu za pomocą elektrookulogramu (*electrooculogram* – EOG). Osoba badana jest proszona o wykonanie określonej sekwencji ruchów gałek ocznych (np. lewo – prawo – lewo – prawo) w celu zareportowania, że doświadcza w danej chwili świadomego śnienia (LaBerge i wsp. 1981) (tab. 1). Metoda ta może również posłużyć do sygnalizowania początku i końca zadania, które osoba badana miała wykonać w trakcie marzenia sennego. Do najczęściej wykorzystywanych przez badaczy zadań należą: zaciskanie pięści (Dresler i wsp. 2011), liczenie, wykonywanie zadanej liczby kroków bądź ćwiczeń gimnastycznych (Erlacher i wsp. 2014) (tab. 1). Jak pokazały badania, podczas ich wykonania ak-

tywowane są takie same wzorce neuronalne, jakie można zaobserwować w analogicznym zadaniu realizowanym w stanie czuwania (Dresler i wsp. 2011; Erlacher i wsp. 2003) (tab. 1).

W badaniu przeprowadzonym przez Dreslera i wsp. (2011) osoby badane były proszone, aby podczas LD naprzemiennie zaciskały pięści (tab. 1). Jednocześnie monitorowana była aktywność ich mózgu za pomocą elektroencefalografii (*electroencephalography* – EEG) i funkcjonalnego rezonansu magnetycznego mózgu (*functional magnetic resonance imaging* – fMRI) lub EEG i funkcjonalnej spektroskopii bliskiej podczerwieni (*near infrared spectroscopy* – NIRS). Wyniki uzyskane za pomocą obu metod pokazały wzrost aktywności w obszarach sensomotorycznych przeciwstronnych do kończyny, którą był wykonywany ruch. Co ciekawe, wyniki porównań odpowiedzi hemodynamicznej w badaniu NIRS pokazały, że aktywność podczas realizacji tego zadania w LD była słabsza tylko w obszarze kory sensomotorycznej w porównaniu z warunkiem rzeczywistego ruchu, natomiast w przypadku dodatkowego pola ruchowego nie zaobserwowano różnic. Podobne wyniki uzyskali Erlacher i wsp. (2003) w badaniach z zastosowaniem EEG, którzy pokazali spadek aktywności pasma alfa podczas wykonania ruchu w trakcie LD w porównaniu z warunkiem, w którym osoba badana liczyła (tab. 1). W obu opisanych badaniach wskazano, że wykonywanie zadań motorycznych podczas snu świadomego angażuje struktury korowe w podobny sposób jak w stanie czuwania. W ten nurt badań wpisuje się również praca LaBerge i Dement (1982), którzy pokazali odmienne wzorce pasma alfa pokrywające się z obserwowanymi podczas wykonania tej czynności w stanie czuwania, w zależności od tego, czy osoba badana podczas LD liczyła, czy śpiewała. Warto zaznaczyć, że to samo zjawisko jest obserwowane również we śnie nLD, gdzie w zależności od treści marzeń sennych obserwowane są wzorce aktywności mózgu analogiczne do aktywowanych w tej samej sytuacji podczas czuwania (Erlacher i Schredl 2008).

Przedmiotem zainteresowania badaczy było również przetwarzanie bodźca dźwiękowego pochodzącego ze środowiska, który zostaje włączony w treść świadomego śnienia (Appel i Pipa 2017) (tab. 1). W ramach paradygmatu badawczego sprawdzano, czy istnieją różnice w przetwarzaniu słuchowym pomiędzy świadomym śnieniem, stanem czuwania oraz nieświadomym śnieniem. Trzem osobom badanym prezentowano jeden z dwóch dźwięków zróżnicowanych pod względem wysokości oraz prawdopodobieństwa

Tabela 1. Wyniki badań dotyczących świadomego snienia z wykorzystaniem polisomnografii oraz fMRI

Autorzy i rok badania	Grupa badana, liczba zarejestrowanych LD	Zadanie wykonywane podczas LD	Metoda pomiaru aktywności mózgu, analizowane wskaźniki	Kluczowe wyniki
LaBerge i wsp. 1981	N = 5 (3 M, 2 K, wiek 26–34 lat), łącznie 30 LD	Zaciskanie pięści, sekwencja ruchów gątek ocznych (mierzone za pomocą EMG i EOG)	Polisomnografia, ocena wzrokowa czynności podstawowej podczas LD i nLD	Brak różnic czynności podstawowej podczas LD i nLD; cechy snu typowe dla fazy REM
Ogilvie i wsp. 1982	N = 10 (5 M, 5 K, wiek 19–31 lat)	Wybudzono badanych podczas snu REM, kiedy moc pasma fal alfa była najwyższa lub najmniejsza, następnie zadawano pytania dotyczące poziomu doświadczanej świadomości podczas snienia	Polisomnografia (odprowadzenie C4), EMG, moc pasma alfa podczas LD i nLD	Moc pasma alfa większa w LD niż w nLD w odrowadzeniach centralnych (brak wyników analizy statystycznej)
Tyson i wsp. 1984	N = 10 (5 M, 5 K, wiek 19–31 lat), łącznie 38 LD	Po wybudzeniu podczas REM badani odpowiadali na pytania weryfikujące uzyskaną podczas snu świadomość	Polisomnografia (odprowadzenie C4), moc pasma alfa 1 (8–10,5 Hz) i alfa 2 (10,5–13 Hz) podczas fazy <i>preludium</i> , LD, nLD	Większa moc pasma alfa 1 i alfa 2 w fazie <i>preludium</i> niż w LD i nLD
LaBerge i wsp. 1986	N = 13 (7 M, 6 K, wiek 21–51 lat), łącznie 76 LD	Sekwencja ruchów gątek ocznych (mierzone za pomocą EOG)	Polisomnografia (T3, T4); zmiany tętna (HR), szybkości oddechu (RR), liczba ruchów gątek ocznych (E), zmiany potencjału skóry (SP)	Wzrost pobudzenia (HR, RR, E, SP) w LD w porównaniu z poprzedzającym nLD
Ogilvie i wsp. 1991	N = 1 M, 5 LD	Sekwencja ruchów gątek ocznych (mierzone za pomocą EOG)	Wideopolisomnografia; EEG, moc pasma delta, theta, alfa oraz częstość wystąpienia wrzecion snu	Brak różnic pomiędzy REM LD vs REM nLD; większy procentowy udział pasma theta w REM LD vs N2 NREM; brak różnic w procentowym udziale pasma alfa w REM LD vs N2 NREM
Eriacher i wsp. 2003	N = 1 M, wiek 27 lat, 15 LD	Zaciskanie pięści lewej, a potem prawej (mierzone za pomocą EMG), następnie liczenie od 0 do 4; przez ruch gątek ocznych sygnalizowany był początek oraz koniec każdej sekwencji wykonywanego zadania	Polisomnografia (EEG: 28 elektrod), moc pasma alfa w odrowadzeniach centralnych	Spadek mocy pasma alfa w odrowadzeniach centralnych podczas zaciskania pięści w porównaniu z liczeniem
Holzinger i wsp. 2006	N = 11 (4 K, 7 M, średnia wieku 28 lat), łącznie 16 LD	Podczas snu REM podawano bodziec świetlny, który miał wywołać LD; sekwencja ruchów gątek ocznych (mierzone za pomocą EOG) w odpowiedzi na doświadczanie LD	Polisomnografia (EEG: F3/F4/P3/P4); moc pasm delta (1–4 Hz), theta (5–7 Hz), alfa (8–12 Hz), beta-1 (13–19 Hz) i beta-2 (20–29 Hz), moc całkowita sygnału EEG, puls, liczba ruchów gątek ocznych, aktywność mięśniowa	Większa moc pasma beta-1 w ciemniowych odrowadzeniach podczas LD vs nLD; większa różnica mocy pasma beta-1 pomiędzy odrowadzeniami czolowymi i ciemniowymi podczas LD niż nLD

Tabela 1. C.d.

Autorzy i rok badania	Grupa badana, liczba zarejestrowanych LD	Zadanie wykonywane podczas LD	Metoda pomiaru aktywności mózgu, analizowane wskaźniki	Kluczowe wyniki
Voss i wsp. 2009	N = 20, łącznie 3 LD	Sekwencja ruchów gatek ocznych (mierzone za pomocą EOG)	Polisomnografia; moc pasm delta (1–4 Hz), theta (4–8 Hz), alfa (8–12 Hz), beta-1 (12–16 Hz), beta-2 (16–20 Hz), gamma-1 (20–28 Hz), gamma-2 (28–36 Hz) i gamma-3 (36–45 Hz); koherencja w pasmach delta, theta, alfa, beta, i gamma-3 pomiędzy parami elektrod oddalonymi od siebie blisko o średnią odległość i daleko	Mniejsza moc pasma delta i theta w stanie czuwania niż w LD i nLD; większa moc pasma gamma-3 podczas LD i czuwania niż nLD w odprowadzeniach czołowych i czołowo-bocznych; koherencja w paśmie delta i theta – istotnie wyższe w stanie czuwania i LD niż nLD; w paśmie beta i gamma-3 najsilniejsze koherencje w stanie czuwania, w LD silniejsze niż w nLD, najsilniejsze różnice w obszarach czołowych i czołowo-bocznych
Stumbrys i Erlacher 2012	N = 30 K (wiek 18–32 lat), łącznie 48 LD	Sekwencja ruchów gatek ocznych (mierzone za pomocą EOG)	Polisomnografia; sprawdzano, czy możliwe jest wystąpienie świadomego snu podczas fazy snu NREM	Na podstawie obecności sekwencji ruchów gatek ocznych zidentyfikowano 30 LD podczas fazy snu NREM
Erlacher i wsp. 2014	3 grupy badanych: N = 5 (średni wiek 28 lat), 4 M, 3 K; N = 8 (średni wiek 26 lat), 5 M, 3 K; N = 8 (średni wiek 25 lat), 2 M, 6 K; łącznie 37 LD (analiza 21 LD)	Liczenie, wykonywanie kroków, wykonanie ćwiczeń gimnastycznych, sekwencja ruchów gatek ocznych (mierzone za pomocą EOG) – wykonywana też podczas czuwania	Polisomnografia (EEG: C3, C4 dla chodzenia i liczenia; F3, F4, C3, C4, O1, O2 dla ćwiczeń gimnastycznych), EMG, ECG	Badani wykonywali motoryczne zadania istotnie dłużej podczas LD w porównaniu ze stanem czuwania
Dodet i wsp. 2015	Grupa chorych na narcolepsję – N = 53 (średni wiek 38 lat), łącznie 14 LD; grupa osób zdrowych – N = 53 (średni wiek 35 lat), łącznie 0 LD	Sekwencja ruchów gatek ocznych (mierzone za pomocą EOG) – wykonywana też podczas czuwania; kwestionariusz, w tym skala dotycząca świadomego śnienia (<i>lucidity scale</i>), po każdym przebudzeniu ze snu REM	Polisomnografia (Fp1, Fp2, F7, F8, C3, C4, O1, O2); moc, koherencja w pasmach gamma, beta, alfa, theta, delta	Mniejsza moc pasma alfa, beta i gamma w LD i nLD niż w stanie czuwania; mniejsza średnia moc na całej głowie pasma delta w LD vs nLD REM; mniejsza moc pasma delta w LD vs nLD REM w odprowadzeniu F7, F8, C3 i C4, theta (F8, C4) i alfa (C4); słabsza koherencja pomiędzy elektrodami w paśmie delta, theta, beta i gamma w LD vs nLD

Tabela 1. Cd.

Autorzy i rok badania	Grupa badana, liczba zarejestrowanych LD	Zadanie wykonywane podczas LD	Metoda pomiaru aktywności mózgu, analizowany wskaźnik	Kluczowe wyniki
Appel i wsp. 2017	N = 6 (3 K, 3 M; wiek 21–50 lat), łącznie 18 LD	Procedura typu <i>odd-ball</i> , w której prezentowano dwa bodźce dźwiękowe o różnej wysokości – bodziec-cel prezentowany rzadko i dystraktor stanowiący w sumie 80% prezentowanych bodźców; po usłyszeniu bodźca-celu badani wykonywali sekwencję ruchów gątek ocznych; zadanie wykonywano podczas LD, stanu czuwania oraz nLD; badani sygnalizowali wystąpienie LD oraz wybudzenie się sekwencją ruchów gątek ocznych; po wybudzeniu się wypełniali kwestionariusz dotyczący procedury oraz zapisywali treść marzeń sennych	Polisomnografia (28 odprowadzeń EEG), technika potencjałów związanych ze zdarzeniem, amplituda i latencja P300 oceniana wzrokowo	Średnia poprawność trafień dla bodźca-celu podczas LD – 71%, 35%, 27% (dla poszczególnych badanych); podczas czuwania – 98%; podczas nLD – brak poprawnych odpowiedzi; latencja P300: LD i stan czuwania – krótsze niż w nLD; amplituda P300: w stanie czuwania większa niż w nLD i LD
Dresler i wsp. 2011	N = 6 M (21–38 lat), łącznie 14 LD (w tym jedna osoba wykonała 2 razy zadanie w skanerze MRI, i jedna – 2 razy podczas pomiaru NIRS)	Zaciskanie pięści, sekwencja ruchów gątek ocznych (mierzone za pomocą EMG i EOG)	fMRI, NIRS, polisomnografia, EMG prawej i lewej ręki; sygnał BOLD, stężenie utlenowanej i nieutlenowanej hemoglobiny	Podczas zaciskania pięści wzrost stężenia utlenowanej i spadek nieutlenowanej hemoglobiny w obszarach sensomotorycznych (przeciwnym do wykonywanego ruchu) oraz wzrost sygnału BOLD w obszarach sensomotorycznych przeciwnym do wykonywanego ruchu) zakręt przed-, zaśrodkowy (<i>pre-, post central gyrus</i>)
Dresler i wsp. 2012	N = 4 M (27–32 lat), łącznie 2 LD u jednej osoby	Sekwencja ruchów gątek ocznych, zaciskanie pięści (mierzone za pomocą EOG i EMG)	Polisomnografia (EEG: 19 elektrod), fMRI, sygnał BOLD	Silniejsza aktywacja w przedlinku, DLPFC, IPL, SPL, bOTC, FPC, klimku, FEF, LG
Fievlch i wsp. 2015	N = 63 (34 K, 29 M, wiek 18–37 lat); HLD = 31, LLD = 31	Zadanie monitorowania myśli w stanie czuwania TMT vs brak monitorowania kierunku myśli; kwestionariusz składający się z kilku pytań z różnych skal mierzących LD	fMRI, VBM	Silniejsza aktywacja w DLPFC, FPA, większa gęstość istoty szarej w DLPFC, FPA, obustronnie w hipokampie, ACC i lewym SMA w grupie osób HLD vs LLD

Tabela 1. Cd.

Autorzy i rok badania	Grupa badana, liczba zarejestrowanych LD	Zadanie wykonywane podczas LD	Metoda pomiaru aktywności mózgu, analizowane wskaźniki	Kluczowe wyniki
Baird i wsp. 2018	Grupa LD – N = 14 (5 M, 9 K); grupa nLD – N = 14 (5 M, 9 K); wiek 18–34 lat	Badanie w stanie czuwania	rs-fMRI, VBM; siła łączności, lokalne stężenie tkanki mózgowej i nLD;	Brak istotnych różnic w stężeniu tkanki mózgowej kory przedczołowej i hipokampa pomiędzy grupami osób LD i nLD; wzrost siły łączności funkcjonalnej między l aPFC a lewym i prawym IPL (głównie AG), bMTG oraz prawym IFG oraz spadek siły łączności funkcjonalnej pomiędzy lewym aPFC a wyspą w grupie LD vs nLD

LD (lucid dreaming) – świadome śnienie; nLD (non-lucid dreaming) – nieświadome śnienie; REM (rapid eye movement) – sen paradoksalny; NREM (non-rapid eye movement) – sen wolnofalowy; EEG (electroencephalography) – elektroencefalografia; EMG (electromyography) – elektromiografia; EOG (electrooculography) – elektrookulografia; ECG (electrocardiography) – elektrokardiografia; fMRI (functional magnetic resonance imaging) – funkcyjny rezonans magnetyczny mózgu; NIRS (near infrared spectroscopy) – funkcyjalna spektroskopia bliskiej podczerwieni; VBM (voxel based morphometry) – metoda morfometri opartej na woskeliach; BOLD (blood-oxygen-level-dependent) – obrazowanie zależne od poziomu tlenu we krwi; TMT (thought monitoring task) – zadanie monitorowania myśli, składające się z dwóch warunków – w pierwszym, monitorującym, osobie wyświetlano na ekranie skalę, na której zaznaczała, w jakim stopniu doświadczyła światła zewnętrznego (np. dochodzących do niej bodźców) bądź była skupiona na swoim świecie wewnętrznym (np. planowaniu dnia) w momencie pojawienia się tejże skali; w warunku kontrolnym miała ona za zadanie dopasować pozycję kursora do punktu umieszczonego na skali; w ramach analiz oszacowano zmiany aktywności mózgu w tych dwóch warunkach u każdej osoby badanej, a następnie na poziomie grup często i rzadko doświadczających świadomego śnienia; HLD (high-lucidity group) – osoby częściej i silniej doświadczające LD; LLD (low-lucidity group) – osoby rzadziej i słabiej doświadczające LD; DLPFC (dorsolateral prefrontal cortex) – grzbietowo-boczna kora przedczołowa; aPFC (anterior prefrontal cortex) – przednia kora przedczołowa; FPC (frontopolar cortex) – kora czółowo-biegunowa; FPA (frontopolar areas) – obszar czółowo-biegunowy; ACC (anterior cingulate cortex) – przednia część kory zakrętu obręczy; SMA (supplementary motor area) – dodatkowe pole ruchowe; bMTG (bilateral middle temporal gyrus) – środkowy zakręt skroniowy; IPL (inferior parietal lobule) – dolny płatek ciemieniowy; SPL (superior parietal lobule) – górny płatek ciemieniowy; IFG (inferior frontal gyrus) – dolny zakręt czółowy; BOTC (bilateral occipito-temporal cortex) – kora połyżycowo-skroniowa; LG (lingual gyrus) – zakręt językowy; AG (angular gyrus) – przedni zakręt kątowy; FEF (frontal eye field) – czółowe pole oka; rs-fMRI (resting state) – metoda pomiaru łączności funkcjonalnej mózgu w stanie spoczynku

wystąpienia. Bodziec rzadko eksponowany pełnił funkcję bodźca-celu – badani po jego usłyszeniu mieli zareagować, wykonując stałą sekwencję ruchu gałkami ocznymi, drugi z dźwięków mieli ignorować. Spodziewano się, że w sygnale EEG bodziec-cel będzie wywoływał wystąpienie charakterystycznego załamka P300, nieobecnego w przypadku bodźców często występujących i nieistotnych z punktu widzenia prawidłowego wykonania zadania. Podczas świadomego śnienia kolejne osoby zareagowały na odpowiednio 27%, 35% i 71% bodźców-celów. Dla porównania, podczas nieświadomego śnienia badani nie udzielili żadnej poprawnej odpowiedzi, a w stanie czuwania odsetek poprawnych odpowiedzi był bardzo wysoki. Załamek P300 zaobserwowano u dwóch badanych w trakcie LD, nLD oraz stanu czuwania. Warto zaznaczyć, że parametryzacja P300 została przeprowadzona tylko na podstawie oceny wzrokowej. Amplituda P300 była podobna w LD i nLD, w obu przypadkach mniejsza niż w stanie czuwania. Z kolei znacznie dłuższe latencje P300 stwierdzono podczas nLD. Kształt P300 podczas LD był bardziej podobny do P300 podczas stanu czuwania. Badacze sugerowali, że podobieństwo morfologiczne załamka P300 może wynikać z większego podobieństwa umiejętności przetwarzania informacji poznawczych podczas świadomego śnienia do stanu czuwania niż do nieświadomego śnienia (Appel i Pipa 2017).

Neurokorelaty świadomości podczas świadomego śnienia – badania EEG

Pomiar aktywności elektrycznej mózgu w badaniach dotyczących świadomego śnienia z jednej strony jest wykorzystywany do monitorowania dynamiki snu i następstwa kolejnych jego faz, z drugiej – pozwala na zbadanie zmian aktywności mózgu zachodzących pomiędzy snem świadomym i nieświadomym.

Pierwsze badania podejmujące problem charakterystyki aktywności mózgu towarzyszącej świadomemu śnieniu podjęli Ogilvie i wsp. (1978, 1982) (tab. 1). Analizując sygnał EEG zarejestrowany przez jedną elektrodę w okolicy centralnej, odnotowali oni większą moc w paśmie alfa (8–12 Hz) podczas LD w porównaniu z nLD. Nie udało się jednak potwierdzić tych obserwacji w kolejnych badaniach (Ogilvie i wsp. 1991; Tyson i wsp. 1984), których wyniki sugerują związek pasma tylko z okresem uzyskiwania przez nich świadomości w trakcie marzeń sennych (*prelucid*), a nie okresu świadomego śnienia (Tyson i wsp. 1984) (tab. 1). Kolejne badania również nie potwierdziły związku pomiędzy

mocą pasma alfa a LD (Holzinger i wsp. 2006; Voss i wsp. 2009) (tab. 1).

Na pytanie dotyczące występowania różnic mocy w poszczególnych pasmach sygnału EEG a LD próbowali odpowiedzieć także Holzinger i wsp. (2006), analizując rejestracje 16 epizodów LD zarejestrowanych u 6 osób (tab. 1). W swoich badaniach wykazali 6 cech różnicujących aktywność mózgu podczas LD i nLD snu REM, do których należą m.in. liczba ruchów gałek ocznych i moc pasma beta (13–19 Hz) płata czołowego. Szczególnie interesująca jest aktywność pasma beta (13–19 Hz) w czołowo-ciemieniowych obszarach związanych z funkcjami językowymi, zwłaszcza wzrost mocy w lewym płacie ciemieniowym (Holzinger i wsp. 2006). Na tej podstawie badacze zaproponowali hipotezę, że świadome śnienie może być związane z utrzymywaniem się umiejętności językowych przez śniących, dzięki którym mogą uświadamiać sobie fakt, że śnią. Niemniej jednak umiejętności językowe, takie jak rozumienie czy mówienie, występują również podczas nLD, a aktywność płata ciemieniowego może być związana z wieloma innymi funkcjami poznawczymi (Baird i wsp. 2019).

Z uwagi na to, że stan LD zawiera zarówno elementy snu REM, jak i czuwania, Voss i wsp. (2009) przeprowadzili porównanie aktywności mózgu w tych trzech stanach (tab. 1). Porównanie mocy sygnału podczas czuwania, snu REM i LD pokazało, że pod względem charakterystyki aktywności mózgu LD jest stanem mającym znamiona zarówno snu REM, jak i stanu czuwania. W niższych pasmach (delta, theta) aktywność mózgu jest podobna we śnie REM i LD – w stosunku do stanu czuwania jest obserwowany wzrost w wolnych częstotliwościach. Z kolei w przypadku wyższych częstotliwości moc w stanie LD jest istotnie wyższa niż w REM, co sugeruje podobieństwo do stanu czuwania. Co więcej różnicę tę zaobserwowano tylko w obszarach czołowych i czołowo-bocznych. Różnice pomiędzy trzema badanymi stanami zauważono również na poziomie siły połączeń mierzonych za pomocą koherencji. Autorzy pokazują spadek siły połączeń w całym mózgu podczas snu REM i LD, natomiast wzorec obserwowany w LD jest słabszy, ale podobny do obserwowanego w stanie czuwania (oprócz silnych koherencji w paśmie alfa charakterystycznych tylko dla stanu czuwania). Aktywność zarejestrowana w stanie LD charakteryzowała się najsilniejszymi koherencjami w obszarze czołowym i czołowo-bocznym, podczas gdy w czasie snu REM siła koherencji nie różniła się pomiędzy poszczególnymi obszarami mózgu. Wzorec ten jest podobny do obserwowanego

w stanie czuwania, gdzie najsilniejsze połączenia wskazano w obszarach czołowych i potylicznych (w paśmie alfa). Silniejsza aktywność w wysokich częstotliwościach (gamma) w obszarach czołowych i czołowo-bocznych podczas snu świadomego w porównaniu z REM jest przez autorów wiązana z silniejszą aktywacją grzbietowo-bocznej kory przedczołowej (*dorsolateral-prefrontal cortex* – DLPFC), związanej z funkcjami wykonawczymi. Jej aktywność w śnie REM jest zredukowana, dlatego nie występują wolicjonalne i autorefleksyjne mechanizmy wglądu charakterystyczne dla snu świadomego. Otrzymane wyniki potwierdzają również hipotezę o związku aktywności płatów czołowych z osiągnięciem świadomości w trakcie marzeń sennych (Kahn i Hobson 2005).

Z kolei Dodet i wsp. (2015) zwracają uwagę na charakterystyczne dla świadomego śnienia zmiany w mocy pasm niskich częstotliwości (tab. 1). Porównując aktywność mózgu w okolicach czołowo-centralnych osób chorych na narkolepsję (z dużą łatwością doświadczającą one świadomego śnienia) podczas LD w porównaniu z nLD, zauważyli oni mniejszą moc pasma delta oraz spadek koherencji pomiędzy odprowadzeniami w pasmach delta, theta, beta i gamma. Nie przeprowadzono jednak żadnych porównań za pomocą testów statystycznych, co uniemożliwia rzetelną interpretację tych wyników. Według autorów spadek mocy pasma delta wydaje się związany ze wzrostem pobudzenia, co obserwowano w LD na podstawie innych fizjologicznych wskaźników (LaBerge i wsp. 1986) (tab. 1).

Neurokorelaty świadomości podczas świadomego śnienia – badania MRI

W celu lepszego zrozumienia neuronalnych mechanizmów leżących u podstaw LD przeprowadzono dotychczas kilka badań z użyciem różnych technik obrazowania rezonansem magnetycznym, które dotyczyły aktywacji struktur korowych oraz podkorowych w różnych paradygmatach badawczych. Autorzy skupili się na dwóch aspektach związanych z LD: wyjaśnieniu neuronalnego mechanizmu zachodzącego podczas świadomego śnienia (Dresler i wsp. 2012), oraz poznaniu różnic funkcjonalnych i strukturalnych u osób doświadczających i niedoświadczających świadomego śnienia (Baird i wsp. 2018; Filevich i wsp. 2015) (tab. 1).

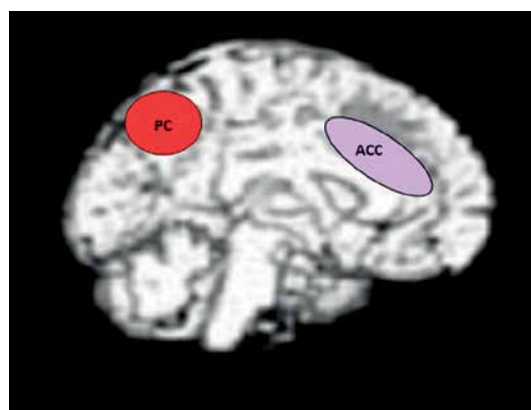
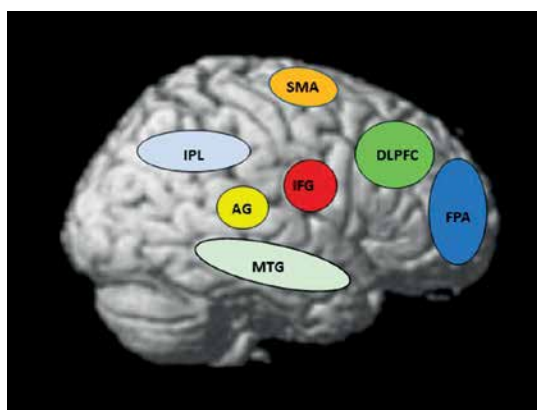
Analiza neuronalnych korelatów LD w trakcie REM u osoby regularnie doświadczającej świadomego śnienia w porównaniu ze snem nLD pokazała zwiększone aktywacje w obszarach mózgu związanych funkcjonalnie z procesami

świadomości (Cavanna i Trimble 2006; Cavanna 2007; Dresler i wsp. 2012). Zaobserwowano zwiększenie sygnału BOLD obustronnie w przedklinku (*precuneus*), grzbietowo-bocznej korze przedczołowej (DLPFC), w górnym (*superior parietal lobule* – SPL) oraz dolnym (*inferior parietal lobule* – IPL) płaciku ciemieniowym (Dresler i wsp. 2012) (ryc. 1). Mając na uwadze funkcje tych obszarów, zaczynając od przedklinka, może to wskazywać na uaktywnienie w trakcie LD autorefleksji (Kjaer i wsp. 2002), doświadczania sprawczości, mentalizacji czy uruchamiania pamięci epizodycznej (Lundstrom i wsp. 2005), a aktywność DLPFC z IPL i SPL mogłaby sugerować uaktywnienie pamięci roboczej koniecznej do wykonania zadań w trakcie marzeń sennych (Smith i Jonides 1998; Turnbull i wsp. 2019). DLPFC odgrywa ważną rolę w złożonych procesach poznawczych (np. procesach uwagowych, podejmowaniu decyzji, kreatywności) czy w uruchamianiu tzw. przetwarzania informacji góra–dół (Nee i D’Esposito 2016; Seminowicz i Moayedi 2017). DLPFC jest silnie powiązany z kontrolą zadań, ponadto stanowi jeden z głównych węzłów sieci czołowo-ciemieniowej, która jest w ciągłej interakcji z innymi sieciami kontrolnymi i przetwarzającymi (Marek i Dosenbach 2018). Zatem wzrost aktywności DLPFC w trakcie LD mógłby wspierać charakterystykę snu LD, w którym treści obrazów są przeżywane świadomie (Dresler i wsp. 2012). Jednocześnie aktywność obustronna w obszarach czołowo-biegunowych (*frontopolar areas* – FPA) w czasie LD mogłaby wskazywać, że dochodzi do wglądu, oceny własnych myśli czy uczuć (Christoff i wsp. 2003), integracji wielu operacji poznawczych (Ramnani i Owen 2004) czy myślenia abstrakcyjnego, relacyjnego (Bunge

i wsp. 2009), zgodnie z postulowaną funkcją tych obszarów (Boschin i wsp. 2015). Przeciwnie jest u osób śniących nLD, u których w trakcie trwania fazy REM obserwuje się deaktywację DLPFC i przedklinka (Maquet i wsp. 1996), co m.in. może wyjaśniać powstawanie halucynacji wzrokowych, intensyfikacji doznań emocjonalnych w trakcie snu nLD (Hobson i Pace-Schott 2002). Ponadto zwiększoną siłą aktywacji zaobserwowano w trakcie LD w obszarach związanych funkcjonalnie z tzw. brzuszным strumieniem przetwarzania wzrokowego: obustronnie w klinku (*cuneus*) i korze skroniowo-potylicznej (*occipitotemporal cortex* – OCT) (Dresler i wsp. 2012; Rees i wsp. 2002). Mogłoby to tłumaczyć, dlaczego osoby śniące LD relacjonują, jak wyraźnie widzą w trakcie snu obrazy marzeń sennych (Dresler i wsp. 2012; Grenn 1968). Opierając się na powyższych danych obrazowania, można założyć, że w trakcie trwania snu LD dochodzi do kontroli emocjonalnej i poznawczej.

W odpowiedzi na pytanie, czy osoby regularnie doświadczające takich snów jak LD wykazują różnice w funkcjonowaniu mózgu w porównaniu z osobami rzadziej lub ich nie doświadczającymi, przeprowadzono dotąd dwa badania obrazowania mózgu (Baird i wsp. 2018; Filevich i wsp. 2015).

W badaniu fMRI Filevich i wsp. (2015) w trakcie zadania monitorowania myśli w stanie czuwania TMT (*thought monitoring task*) u osób częściej i silniej doświadczających LD (*high-lucidity group* – HLD) w porównaniu z osobami rzadziej i słabiej doświadczającymi LD (*low-lucidity group* – LLD) zaobserwowano zwiększenie aktywności obszarów mózgowych – DLPFC i FPA – związanych funkcjonalnie ze świadomością i metapoznaniem (Dresler i wsp. 2012), a dzie-



Ryc. 1. Obszary mózgowe związane strukturalnie i funkcjonalnie ze świadomym śnieniem (Dresler i wsp. 2012; Filevich i wsp. 2015; Baird i wsp. 2018)

IPL – dolny płacik ciemieniowy; SMA – dodatkowe pole ruchowe; AG – zakręt kątowy; IFG – dolny zakręt czołowy; MTG – środkowy zakręt skroniowy; DLPFC – grzbietowo-boczna kora przedczołowa; FPA – obszar czołowo-biegunowy; PC – przedklinek; ACC – przednia część kory zakrętu obręczy

ki zastosowaniu metody morfometrii opartej na wokselałach (*voxel based morphometry* – VBM) zaobserwowano różnice strukturalne pomiędzy HLD a LLD. Osoby z pierwszej grupy charakteryzowały się większym lokalnym stężeniem tkanki mózgowej w obszarach kory przedczołowej (DLPFC, FPA), jak również w prawej przedniej części kory zakrętu obręczy (*right anterior cingulate cortex* – rACC), w lewym dodatkowym polu ruchowym (*left supplementary motor area* – ISMA) oraz w hipokampie (*hippocampus*) w porównaniu z osobami z grupy LLD. Na tej podstawie zaproponowano hipotezę o wzajemnym związku między metapoznaniem i świadomym śnieniem. Z kolei różnice obserwowane w istocie szarej hipokampu są łączone z procesami pamięci – lepsza pamięć miałyby być użyteczna w przypomnieniu sobie faktu, że jest się w stanie snu, co może umożliwić uświadomienie sobie tego stanu, większa kontrola treści marzeń sennych.

W kolejnym badaniu, w którym porównywano osoby doświadczające LD z osobami niedoświadczającymi LD, zastosowano metodę pomiaru łączności funkcjonalnej mózgu w stanie spoczynku (*resting state fMRI* – rs-fMRI) (Baird i wsp. 2018). Wyniki pokazały, że osoby, u których występuje LD, w porównaniu z osobami niedoświadczającymi LD, miały zwiększoną łączność funkcjonalną między lewą przednią korą przedczołową (*left anterior prefrontal cortex* – aPFC) a obustronnym zakrętem kątowym (*bilateral angular gyrus* – AG), obustronnym środkowym zakrętem skroniowym (*bilateral middle temporal gyrus* – MTG) i prawym dolnym zakrętem czołowym (*right inferior frontal gyrus* – IFG). Z kolei między lewą aPFC a wyspą (*insula*) łączność funkcjonalna była słabsza. Analiza tych danych z wykorzystaniem teorii grafów wskazała na zwiększenie siły węzła lewego aPFC u osób świadomie śniących. Bazując na funkcjach węzłów sieci aPFC-AG-MTG związanych z metapoznaniem, językiem czy konceptualizacją, Baird proponuje hipotezę, że generowanie łączności między aPFC, AG i MTG mogłoby leżeć u podstawy bycia świadomym siebie i obecnego stanu (ŚNIE), w którym trwa osoba śniąca (Baird i wsp. 2018; Windt i Metzinger 2007). Spekulacje te wymagają dalszych badań, zwłaszcza że zwiększenie łączności funkcjonalnej węzła aPFC nie zawsze – jak pokazały badania Filevich i wsp. (2015) – przekładało się na zmiany strukturalne, gęstość istoty szarej (Baird i wsp. 2018).

Podsumowując – aktywność neuronalnych połączeń w trakcie stanu spoczynku u osób, które doświadczają regularnie świadomych snów, częściowo pokrywa się z aktywnością neuronalną

podczas świadomego śnienia w porównaniu ze śnieniem nieświadomym (Baird i wsp. 2019). Może to sugerować pewne powiązanie aktywności funkcjonalnych połączeń w stanie spoczynku ze świadomym śnieniem.

Podsumowanie

Przedstawione wyniki prac podejmujących problem aktywności mózgu u osoby doświadczającej LD nie dają jednoznacznego obrazu. Artykułów poświęconych tej tematyce jest niewiele, a badany fenomen stanowi wyjątkowo trudne metodologicznie zagadnienie. Już samo zebranie licznej próby badawczej obejmującej osoby regularnie doświadczające LD jest zadaniem trudnym, co więcej, epizody LD w laboratorium występują rzadziej, co utrudnia zebranie reprezentatywnych danych. Dodatkowo zarejestrowane dane często są dość słabej jakości przez nadmierne ruchy badanych w trakcie snu. Podsumowanie aktualnego stanu wiedzy na temat LD uniemożliwia odmienna metodologia stosowana przez badaczy, przez co uzyskane wyniki są nieporównywalne. Do najczęstszych rozbieżności należą: metoda weryfikacji, czy sen był świadomy, czy nie, mała liczba elektrod (w przypadku badań EEG) umieszczonych w różnych lokalizacjach na głowie oraz brak analiz statystycznych wyników. Niemniej należy podkreślić, że cytowane badania były prowadzone na przestrzeni 40 lat, podczas których zmieniało się podejście metodologiczne badaczy, i są wypracowywane odpowiednie narzędzia oraz standardy prowadzenia badań nad tym fenomenem.

Reasumując – wystąpienie świadomych snów można łączyć z umiejętnością wglądu i metapoznaniem (Kahan i LaBerge 1994), co przekłada się na umiejętność uświadomienia sobie faktu, że śnimy. Świadome śnienie wydaje się mieć cechy wspólne zarówno dla stanu czuwania, jak i dla snu, co pokazały także przytoczone prace pokazujące, że aktywność mózgu podczas LD ma cechy tych dwóch stanów. Pomimo nie zawsze spójnych wyników badań można wyróżnić wspólne obszary mózgu, które mogą mieć związek ze świadomym śnieniem (ryc. 1). Badania EEG ukazują również obraz wzrostu mocy w wyższych pasmach (gamma, beta) oraz spadku mocy w pasmach niskich (delta, theta) podczas LD w porównaniu z nLD (Dodet i wsp. 2015; Holzinger i wsp. 2006; Voss i wsp. 2009).

Zdolności poznawcze charakterystyczne dla świadomego śnienia wiążą się często ze zwiększoną aktywacją obszarów kory przedczołowej (Baird i wsp. 2018; Dodet i wsp. 2015; Dresler i wsp. 2012; Hobson 2009; Voss i wsp.

2009), szczególnie jej części grzbietowo-bocznej (DLPFC), strukturą funkcjonalnie łączoną ze samoświadomością, planowaniem, przewidywaniem stanów mentalnych innych osób czy z teorią umysłu (Johnson i wsp. 2002), ale też silniejszą aktywacją płata ciemieniowego (Baird i wsp. 2018; Dodet i wsp. 2015; Dresler i wsp. 2012; Holzinger i wsp. 2006). Mogłoby to pośrednio wskazywać, że osoby o zwiększonej aktywacji sieci czołowo-ciemieniowej mają większą tendencję do występowania snów świadomych (Baird i wsp. 2018). Jednocześnie większa kontrola nad treścią marzeń sennych w trakcie LD (obserwowane zwiększenie aktywności w obszarach DLPFC, ale też związanych z pamięcią) mogłoby prowadzić do wniosków, że osoby doświadczające LD mają mniejszą tendencję do przeżywania koszmarów (Dresler i wsp. 2012). Obie te hipotezy wymagają dalszych badań nad charakterystyką funkcjonalną sieci neuronalnych u osób doświadczających LD.

Warto wspomnieć o badaniach, w których starano się wywoływać stan świadomego śnienia poprzez stymulację kory przedczołowej za pomocą przezczaszkowej elektrycznej stymulacji mózgu prądem stałym oraz zmiennym (*transcranial direct current stimulation* – tDCS, *transcranial alternating current stimulation* – tACS) (Blanchette-Carrière i wsp. 2020; Stumbrys i wsp. 2013; Voss i wsp. 2014). Zaobserwowano, że stymulacja tej części mózgu podczas snu REM może powodować pojawienie się czynników pomocnych w osiągnięciu świadomości, takich jak wzrost autorefleksji, wglądu czy bycia świadomym nierealności obiektów występujących podczas doświadczania marzeń sennych (Stumbrys i wsp. 2013; Voss i wsp. 2014). Co prawda nie udało się potwierdzić hipotezy, że stymulacja kory przedczołowej poprzez tDCS i tACS zwiększa występowanie świadomych snów, jednak temat ten wymaga dalszych badań.

Oświadczenie

Autorzy deklarują brak konfliktu interesów.

Piśmiennictwo

- Appel K, Pipa G. Auditory evoked potentials in lucid dreams: A dissertation summary. *Int J Dream Res* 2017; 10: 98-100.
- Aspy DJ. Findings from the International Lucid Dream Induction Study. *Front Psychol* 2020; 11: 1746.
- Baird B, Castelnuovo A, Gosseries O i wsp. Frequent lucid dreaming associated with increased functional connectivity between frontopolar cortex and temporoparietal association areas. *Sci Rep* 2018; 8: 1-15.
- Baird B, Mota-Rolim SA, Dresler M. The cognitive neuroscience of lucid dreaming. *Neurosci Biobehav Rev* 2019; 100: 305-323.
- Blanchette-Carrière C, Julien SH, Picard-Deland C i wsp. Attempted induction of signalled lucid dreaming by transcranial alternating current stimulation. *Conscious Cogn* 2020; 83: 102957.
- Boschin EA, Piekema C, Buckley MJ. Essential functions of primate frontopolar cortex in cognition. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2015; 112: E1020-E1027.
- Bunge SA, Helskog EH, Wendelken C. Left, but not right, rostralateral prefrontal cortex meets a stringent test of the relational integration hypothesis. *Neuroimage* 2009; 46: 338-342.
- Cavanna AE, Trimble MR. The precuneus: a review of its functional anatomy and behavioural correlates. *Brain* 2006; 129: 564-583.
- Cavanna AE. The precuneus and consciousness. *CNS Spectr* 2007; 12: 545-552.
- Christoff K, Ream JM, Geddes L i wsp. Evaluating self-generated information: anterior prefrontal contributions to human cognition. *Behav Neurosci* 2003; 117: 1161-1168.
- Dane J, Van de Castle R. A comparison of waking instruction and posthypnotic suggestion for lucid dream induction. *Lucid Lett* 1984; 3.
- Dodet P, Chavez M, Leu-Semenescu S i wsp. Lucid dreaming in narcolepsy. *Sleep* 2015; 38: 487-497.
- Dresler M, Koch SP, Wehrle R i wsp. Dreamed movement elicits activation in the sensorimotor cortex. *Curr Biol* 2011; 21: 1833-1837.
- Dresler M, Wehrle R, Spoormaker VI i wsp. Neural correlates of dream lucidity obtained from contrasting lucid versus non-lucid REM sleep: a combined EEG/fMRI case study. *Sleep* 2012; 35: 1017-1020.
- Edelman GM. Naturalizing consciousness: a theoretical framework. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2003; 100: 5520-5524.
- Erlacher D, Schädlich M, Stumbrys T i wsp. Time for actions in lucid dreams: Effects of task modality, length, and complexity. *Front Psychol* 2014; 4: 1013.
- Erlacher D, Schredl M, LaBerge S. Motor area activation during dreamed hand clenching: A pilot study on EEG alpha band. *Sleep Hypn* 2003; 5: 182-187.
- Erlacher D, Schredl M. Do REM (lucid) dreamed and executed actions share the same neural substrate? *Int J Dream Res* 2008; 1: 7-14.
- Fenwick P, Schatzman M, Worsley A i wsp. Lucid dreaming: correspondence between dreamed and actual events in one subject during REM sleep. *Biol Psychol* 1984; 18: 243-252.
- Filevich E, Dresler M, Brick TR i wsp. Metacognitive mechanisms underlying lucid dreaming. *J Neurosci* 2015; 35: 1082-1088.
- Hobson JA, Pace-Schott EF. The cognitive neuroscience of sleep: neuronal systems, consciousness and learning. *Nat Rev Neurosci* 2002; 3: 679-693.
- Hobson JA, Voss U. Lucid dreaming and the bimodality of consciousness. In: *New Horizons in the Neuroscience of Consciousness* 2010; 79: 155-165.
- Hobson JA. The neurobiology of consciousness: lucid dreaming wakes up. *Int J Dream Res* 2009; 2: 41-44.
- Holzinger B, LaBerge S, Levitan L. Psychophysiological correlates of lucid dreaming. *Dreaming* 2006; 16: 88.
- Johnson SC, Baxter LC, Wilder LS i wsp. Neural correlates of self-reflection. *Brain* 2002; 125: 1808-1814.
- Kahan TL, LaBerge S. Lucid dreaming as metacognition: Implications for cognitive science. *Consciousness Cogn* 1994; 3: 246-264.

27. Kahn D, Hobson JA. State-dependent thinking: A comparison of waking and dreaming thought. *Consciousness Cogn* 2005; 14: 429-438.
28. Kern S, Appel K, Schredl M i wsp. No effect of α GPC on lucid dream induction or dream content. *Somnologie* 2017; 21: 180-186.
29. Kjaer TW, Nowak M, Lou HC. Reflective self-awareness and conscious states: PET evidence for a common midline parietofrontal core. *Neuroimage* 2002; 17: 1080-1086.
30. LaBerge S, Dement WC. Lateralization of alpha activity for dreamed singing and counting during REM sleep. *Psychophysiology* 1982; 19: 331-332.
31. LaBerge S, LaMarca K, Baird B. Pre-sleep treatment with galantamine stimulates lucid dreaming: A double-blind, placebo-controlled, crossover study. *PLoS One* 2018; 13: e0201246.
32. LaBerge S, Levitan L, Dement WC. Lucid dreaming: Physiological correlates of consciousness during REM sleep. *J Mind Behav* 1986; 7: 251-258.
33. LaBerge S, Ornstein S. *Lucid dreaming*. JP Tarcher, Los Angeles 1985.
34. LaBerge S. Lucid dreaming: Metaconsciousness during paradoxical sleep. In: Kramer M, Glucksman M (Eds.). *Dream research: Contributions to clinical practice*. Routledge/Taylor & Francis Group 2015; 198-214.
35. LaBerge S. The paradox and promise of lucid dreaming: Research update: Cholinergic stimulation of lucid dreaming; voluntary control of auditory perception during REM lucid dreams. *International Association for the Study of Dreams*, Berkeley, CA 2001.
36. LaBerge SP, Nagel LE, Dement WC i wsp. Lucid dreaming verified by volitional communication during REM sleep. *Percept Mot Skills* 1981; 52: 727-732.
37. LaBerge SP. Lucid dreaming as a learnable skill: a case study. *Percept Mot Skills* 1980; 51: 1039-1042.
38. LaBerge S. Lucid dreaming: Psychophysiological studies of consciousness during REM sleep. Bootsens RR, Kihlstrom JF, Schacter DL (Eds.). *Publisher American Psychological Association*, Washington, DC 1990; 109-126.
39. Lundstrom BN, Ingvar M, Petersson KM. The role of precuneus and left inferior frontal cortex during source memory episodic retrieval. *Neuroimage* 2005; 27: 824-834.
40. Maquet P, Péters JM, Aerts J i wsp. Functional neuroanatomy of human rapid-eye-movement sleep and dreaming. *Nature* 1996; 383: 163-166.
41. Marek S, Dosenbach NU. The frontoparietal network: function, electrophysiology, and importance of individual precision mapping. *Dialogues Clin Neurosci* 2018; 20: 133-140.
42. Mota-Rolim SA, Araujo JF. Neurobiology and clinical implications of lucid dreaming. *Med Hypotheses* 2013; 81: 751-756.
43. Nee DE, D'Esposito M. The hierarchical organization of the lateral prefrontal cortex. *Elife* 2016; 5: e12112.
44. Ogilvie R, Hunt H, Sawicki C i wsp. Searching for lucid dreams. *Sleep Res* 1978; 7: 165.
45. Ogilvie R, Vieira K, Small R. EEG activity during lucid dreaming. *Lucidity Letter* 1991; 10.
46. Ogilvie RD, Hunt HT, Tyson PD i wsp. Lucid dreaming and alpha activity: a preliminary report. *Percept Mot Skills* 1982; 55: 795-808.
47. Ramnani N, Owen AM. Anterior prefrontal cortex: insights into function from anatomy and neuroimaging. *Nat Rev Neurosci* 2004; 5: 184-194.
48. Rees G, Kreiman G, Koch C. Neural correlates of consciousness in humans. *Nat Rev Neurosci* 2002; 3: 261-270.
49. Schredl M, Erlacher D. Frequency of lucid dreaming in a representative German sample. *Percept Mot Skills* 2011; 112: 104-108.
50. Schredl M. Frequency of lucid dreams in a long dream series of an infrequent lucid dreamer. *Int J Dream Res* 2013; 6: 65-68.
51. Seminowicz DA, Moayed M. The dorsolateral prefrontal cortex in acute and chronic pain. *J Pain* 2017; 18: 1027-1035.
52. Smith EE, Jonides J. Neuroimaging analyses of human working memory. *Proc Natl Acad Sci U S A* 1998; 95: 12061-12068.
53. Stumbrys T, Erlacher D, Schädlich M i wsp. Induction of lucid dreams: A systematic review of evidence. *Conscious Cogn* 2012; 21: 1456-1475.
54. Stumbrys T, Erlacher D, Schredl M. Testing the involvement of the prefrontal cortex in lucid dreaming: a tDCS study. *Conscious Cogn* 2013; 22: 1214-1222.
55. Stumbrys T, Erlacher D. Lucid dreaming during NREM sleep: Two case reports. *Int J Dream Res* 2012; 5: 151-155.
56. Turnbull A, Wang HT, Murphy C i wsp. Left dorsolateral prefrontal cortex supports context-dependent prioritisation of off-task thought. *Nat Commun* 2019; 10: 3816.
57. Tyson PD, Ogilvie RD, Hunt HT. Lucid, pre-lucid, and non-lucid dreams related to the amount of EEG alpha activity during REM sleep. *Psychophysiology* 1984; 21: 442-451.
58. Van Eeden F. A study of dreams. In: *Proceedings of the society for psychical research* 1913; 431-461.
59. Voss U, Frenzel C, Koppehele-Gossel J i wsp. Lucid dreaming: An age-dependent brain dissociation. *J Sleep Res* 2012; 21: 634-642.
60. Voss U, Hobson A. What is the state-of-the-art on lucid dreaming? Recent advances and questions for future research. *Open MIND*. MIND Group, Frankfurt am Main 2014; 38.
61. Voss U, Holzmann R, Hobson A i wsp. Induction of self awareness in dreams through frontal low current stimulation of gamma activity. *Nat Neurosci* 2014; 17: 810-812.
62. Voss U, Holzmann R, Tuin I i wsp. Lucid dreaming: a state of consciousness with features of both waking and non-lucid dreaming. *Sleep* 2009; 32: 1191-1200.
63. Windt JM, Metzinger T. The philosophy of dreaming and self-consciousness: What happens to the experiential subject during the dream state? In: *The new science of dreaming: Cultural and theoretical perspectives*. Barrett D, McNamara P (Eds.). Praeger 2007; 193-247.
64. Windt JM. Just in time – dreamless sleep experience as pure subjective temporality. *Open MIND*. MIND Group, Frankfurt am Main 2015; 37.
65. Yu C, Shen H. Bizarreness of lucid and non-lucid dream: effects of metacognition. *Front Psychol* 2020; 10: 2946.