

MARIAN WNUK
Lublin

ELEKTROMAGNETYCZNA
KOMUNIKACJA WEWNĄTRZKOMÓRKOWA
JAKO PRZEJAW NATURY ŻYCIA*

Niezmiernie złożony i wieloaspektowy problem istoty informacji, jej przetwarzania i magazynowania w układach żywych jest nadal otwarty¹. Biostruktury są uorganizowane w hierarchię poziomów informacyjnych, w których zachodzi ciągle przetwarzanie informacji (jej utrata lub przyrost ilości, jej degradacja lub organizacja). Nie jest przesadzony pogląd, że transformacja informacji obejmuje procesy życiowe na wszystkich poziomach ich organizacji, przede wszystkim od poziomu molekularno-genetycznego do poziomu behawioralnego i dynamiki umysłu włącznie². Po długim okresie dogłębnych badań nad przemianami materiałów i energii w bioukładach ten informacyjny aspekt uzyskuje coraz większą rangę w dociekaniach dotyczących natury życia i jego definicji³. Postuluje się już nawet, iż biosystemy można lepiej zdefiniować⁴ w terminach oddziaływań wzajemnych opartych na wymianie informacji aniżeli na wymianie energii i materiałów, tj. pierwiastków chemicznych. To przesunięcie akcentów w badaniach ma także bardzo duże znaczenie dla biofilozofii⁵. Wpisuje się ono również w kontekst

* Temat „Elektromagnetyczna komunikacja wewnątrzkomórkowa” był po części dofinansowany z KBN.

¹ Zob. np. Vincent 1993; 1994; Kamps, Csanyi 1991; Küppers 1991; Latawiec 1982; 1983; Trinczer 1964; Mintz, Perlmutter 1985; Wang 1980; Wang (i in.) 1979.

² Na przykład Rossi 1996; Ehresmann, Vanbremeersch 1997.

³ Na przykład Coffey 1976; Fleischhacker 1998; Luisi 1998.

⁴ Carvalho-Rodrigues, Dockery 1996; De Loof, Vanden Broeck 1995.

⁵ Na przykład Mahner, Bunge 1997.

koncepcji elektromagnetycznej natury życia⁶. Koncepcja ta ujmuje bowiem także submolekularny poziom organizacji procesów życiowych, gdzie zapewne dokonują się również procesy informacyjne. Teza, iż życie jest formą istnienia informacji elektromagnetycznej⁷, nie tylko stanowi rozwinięcie tej koncepcji, ale prawdopodobnie daje perspektywę głębszego poznania i zdefiniowania systemów biologicznych⁸. W ramach tej problematyki artykuł niniejszy czyni krok w kierunku wypełnienia owej luki poznawczej oraz podejmuje przegląd aktualnych danych i hipotez dotyczących kwestii istnienia komunikacji elektromagnetycznej wewnątrz komórki żywej, a także możliwego znaczenia tego nośnika informacji dla przyrody żywej.

I. O NIEKTÓRYCH ELEKTROMAGNETYCZNYCH PROCESACH ŻYCIOWYCH

Z chemicznego punktu widzenia istotą replikacji biologicznej jest autokataliza. Głównym przejściom ewolucyjnym w historii życia towarzyszyło wyłonienie się i dalszy rozwój bardzo różnorodnych systemów dziedziczenia informacji, od właśnie autokatalitycznych cykli chemicznych do języka naturalnego⁹. Niestety, biocybernetyka rozumiana jako fizykalna teoria języka komórki definiuje go wyłącznie w terminach molekularnych¹⁰, nie zwracając uwagi na możliwy elektromagnetyczny nośnik bioinformacji¹¹. A przecież informacja jest podstawową własnością Universum¹². Chemiczne i fizyczne procesy życiowe są więc uzależnione od kwantowych sprzężeń informacji z materią.

Faktem jest, że siły wiążące atomy i cząsteczki (tzw. nieożywionej materii) w biostruktury są natury elektromagnetycznej lub są skutkiem oddziaływania pola elektromagnetycznego. Wiązania chemiczne powstają przecież

⁶ Sedlak 1969; 1970; 1976; Bulkley 1989; 1992.

⁷ Wnuk 1995; 1996 a.

⁸ A być może – również genezy życia (Wnuk 1996 a; 1996 b; Jerman 1998).

⁹ Jablonka, Szathmáry 1995.

¹⁰ Na przykład Ji 1997; Gánti 1996.

¹¹ Koncepcja rekapitulacji elektromagnetycznej (Liboff 1994; 1996) jest w tym kontekście dość interesującym wyjątkiem.

¹² Stonier 1986; 1990.

w wyniku przemieszczeń elektronów, czemu może towarzyszyć generacja pól elektromagnetycznych. Wskutek tego „chemiczne” przekazywanie informacji¹³ polegałoby w gruncie rzeczy na wymianie fotonów.

Napędzany przez fotony generatorem wodoru jest fotosynteza, a powstałe z fotosyntetycznego utleniania wody protony i elektrony rekombinują z tlenem, uwalniając energię zużywaną na liczne procesy w żywej komórce¹⁴. Z jednej strony sygnały świetlne wywołują i/lub kontrolują rozmaite procesy biologiczne (takie jak fotosynteza, widzenie, fotomorfogeneza, bioluminescencja), z drugiej strony zaś podziałowi i śmierci komórki towarzyszy wzmożona emisja promieniowania elektromagnetycznego (tzw. promieniowanie mitogenetyczne i degradacyjne). Stwierdzono także, iż niskopoziomowa (ultraślaba) luminescencja układów żywych występuje powszechnie w przyrodzie żywej¹⁵. A zatem adekwatny opis procesów życiowych powinien uwzględniać również oddziaływanie egzo- i endogenego pola elektromagnetycznego ze strukturami biosubstratów. Z badań nad ultraślaba bioluminescencją¹⁶, które ujawniły istnienie obiegu fotonów w biosystemach, zdaje się wynikać, że to właśnie fotony pochodzenia autogenego integrują w biostrukturach procesy chemiczne z elektronicznymi. Co więcej, pole elektromagnetyczne o wewnętrznym porządku czasoprzestrzennym (przyjmując, że harmonia i ład odpowiadają spójności i koherentności tego pola) mogłoby stanowić czynnik kreujący powstawanie i rozwój supramolekularnych układów samoodtwarzających się i samosterujących. Przy rezonansowym przekazywaniu energii, co się wiąże z bardzo wąskim pasmem absorpcji i emisji, moc zaangażowana w przekazywanie sygnału może bowiem osiągać nawet bardzo małe wartości¹⁷, wystarczające jednak do funkcjonowania wspomnianego wyżej czynnika.

Na drodze teoretycznej wykazano, że elektromagnetycznym oddziaływaniom międzykomórkowym (co można uznać za przekazywanie bioinformacji elektromagnetycznej¹⁸) towarzyszy magazynowanie fotonów¹⁹ w biosyste-

¹³ Na temat klasycznego ujęcia biofizycznych aspektów komunikacji wewnątrzkomórkowej zob. np. Bray 1998; Curley, Lawrence 1998.

¹⁴ Na przykład Hoffmann 1998.

¹⁵ Zob. np. Sławińska, Sławiński 1985; Sławiński 1982; 1984.

¹⁶ Na przykład Bajpai (i in.) 1997; Devaraj (i in.) 1997; Fischer 1979; Gu, Popp 1992; Inaba 1995; Inaba, Usa 1995; Niggli 1996; 1992; Popp 1998; Sławińska, Sławiński 1985; Sławiński 1994; Triglia (i in.) 1997.

¹⁷ $P = kT\Delta\nu$, np. rzędu 10^{-20} W (dla $\nu = 10$ Hz i $T = 300$ K) (Sławiński 1984).

¹⁸ Na przykład Popp (i in.) 1979; Popp 1983 a; 1983 b, Popp (i in.) 1988; Kaznaczejew, Michajłowa 1985; Gu, Popp 1994; Ho (i in.) 1994; Sławiński 1982; 1984.

mach. Biofotony są zaangażowane w dyferencjację komórkową i sterowanie aktywnością genów²⁰. Jest niezwykle interesujące, że tak ważny biosystem, jak DNA może funkcjonować jako „zbiornik światła” (wymrażarka fotonów), w którym oszacowany czas przebywania fotonu oceniono na tysiące lat²¹. Przypuszcza się, że DNA w jądrach komórkowych można uważać za biologiczny laser małej mocy, którego spójne światło byłoby nośnikiem bioinformacji. DNA byłby szerokopasmowym emiterym promieniowania, nie tylko w zakresie widzialnym widma. Jest to możliwe, gdyż ośrodek komórkowy jest przezroczysty dla sygnałów wysyłanych przez DNA. Sygnały te (zarówno z DNA danej komórki jak i z DNA komórek sąsiednich) mogłyby sterować transkrypcją i replikacją własnego DNA²². Tak więc tę biomakromolekułę należałoby traktować jako nośnik informacji nie tylko w postaci sekwencji nukleotydów, ale również w postaci rezonatora wnątkowego fal elektromagnetycznych o bardzo wysokiej dobroci²³.

Jeżeli ultraślaba emisja biofotonowa z biomakromolekuł może przenosić bioinformację²⁴, to należałoby zidentyfikować wszystkie możliwe generatory, nośniki i odbiorniki jakichkolwiek sygnałów elektromagnetycznych w obrębie komórki żywej. Do źródeł tych sygnałów, jakie należy brać pod uwagę, należy przede wszystkim ruch nośników ładunku w obrębie biostruktur, zwłaszcza zaś elektronów i protonów. Te ostatnie są niezwykle rozpowszechnione w biostrukturach jako podstawowe elementy składowe tzw. wiązań wodorowych.

II. UDZIAŁ WIĄZAŃ WODOROWYCH W ELEKTROMAGNETYCZNEJ KOMUNIKACJI WEWNĄTRZKOMÓRKOWEJ

Najbardziej interesujące, z punktu widzenia biologicznego, wiązania wodorowe występują w zawartej w biostrukturach wodzie (łącząc dwa atomy

¹⁹ Popp 1979.

²⁰ Nagl, Popp 1983; Popp, Nagl 1983.

²¹ Popp 1992 s. 101.

²² Popp 1992 s. 146.

²³ To jest małej stratności energii. „Dobroć” nie ma tutaj konotacji aksjologicznych czy etyczno-moralnych, lecz jest terminem fizycznym i oznacza wielkość bezwymiarową charakteryzującą własności rezonansowe układu drgającego.

²⁴ Na przykład Pang 1996; 1995; Kobayashi (i in.) 1996.

tlenu), białkach (pomiędzy atomami O i pomiędzy O i N) oraz w kwasach nukleinowych (pomiędzy O i N lub pomiędzy atomami N). Stabilność takiego wiązania zwiększa się, gdy cztery atomy wiązania peptydowego (tj. HN-CO) są na tej samej osi, ale ulega ono wówczas naprężaniu, ścisaniu i wyginaniu. Komórka żywa zazwyczaj zawiera ok. 80% wody i większość tej wody tworzy spolaryzowane wielowarstwy; jedna grupa peptydowa może przykoordynować trzy molekuly wody, tworząc wiązania wodorowe²⁵. Wziąwszy powyższe pod uwagę, można sądzić, że zawierające wiązania wodorowe DNA i struktury α -spiralne mogą ulegać zmianom stanu elektrycznego zależnie od oddziaływania z czynnikami fizycznymi o rozmaitej naturze: naprężenia mechaniczne, ultradźwięki, zmienne pola elektromagnetyczne.

1. WEWNĄTRZKOMÓRKOWY PRZEPŁYW PROTONÓW I ELEKTRONÓW

Przemieszczanie się ładunków elektrycznych jest przyczyną powstawania pól elektromagnetycznych. Odnosi się to także do ruchu protonów wewnątrz biostruktur. Zgodnie z G. R. Welchem i M. N. Berrym²⁶ region wewnętrzny molekuł białkowych może sprzyjać powstawaniu sieci wiązań wodorowych, poprzez które może zachodzić translokacja protonów i w konsekwencji umożliwiać istnienie systemu wykazującego półprzewodnictwo protonowe. Sieci wiązań wodorowych przewodzą protony i są z kolei odpowiedzialne za to, że oddziaływania protonowo-konformacyjne są zdolne do wykonywania pracy biochemicznej.

Wiązanie wodorowe pomiędzy dwoma elektroujemnymi atomami jest w gruncie rzeczy połączeniem elektrostatycznym. W tego rodzaju wiązaniu proton (H^+) jest usytuowany między tymi atomami w odległości kilku nanometrów (a nawet mniej) od każdego z nich. Wpływ, który one kolejno wywierają na ładunek dodatni protonu, powoduje jego oscylację o bardzo wysokiej częstotliwości. Częstotliwość zjawisk oscylacyjnych towarzyszących wiązaniom wodorowym nie jest taka sama w każdej dowolnej sytuacji. Szacuje się, że raczej pokrywa szeroki zakres od bliskiej podczerwieni IR (rzędu 10^{14} Hz) do dalekiej IR, sąsiadującej już z mikrofalami milimetrowymi

²⁵ Ling 1994.

²⁶ Welch, Berry 1983; 1985.

(10^{12} - 10^{11} Hz). W białkach i kwasach nukleinowych częstotliwość oscylacji mieściłaby się w niższym zakresie: ok. 10^{11} Hz dla wiązań wodorowych DNA i ok. 10^{12} Hz dla białek (np. hemoglobiny, lizozymu, keratyny). Dlatego można uważać wiązania wodorowe w DNA i białku za centra emisji promieniowania elektromagnetycznego w zakresie od fal milimetrowych do dalekiej podczerwieni IR²⁷.

Wewnątrz komórki protony i elektrony są powiązane funkcjonalnie. Transbłonowe pole o natężeniu rzędu 10 mln V/m jest wynikiem gradientu stężenia jonów wodorowych (gradient kwasowości) i korespondującego gradientu potencjału elektrycznego (gradient ładunku). Ogólny gradient elektrochemiczny, jako tzw. siła protono-motoryczna, umożliwia wykonywanie pracy, szybki bowiem ruch protonów od regionów o wysokim potencjale elektrochemicznym do regionów o niskim potencjale elektrochemicznym umożliwia wykonanie pracy. Strumienie elektronów i protonów mają wspólną genezę, jest nią mianowicie proces jonizacji wodoru, dokonujący się w wyjściowym punkcie procesów redoksowych połączonych z transportem elektronów wzdłuż łańcuchów enzymatycznych danego procesu metabolicznego. Strumienie te mogą wykonywać na przykład pracę mechaniczną, indukując zmiany konformacji cząsteczek białkowych.

Zgodnie z modelem mobilnego kontinuum protonowego²⁸ uniwersalnym pośrednikiem energetycznym jest półprzewodzący łańcuch wiązań wodorowych przechodzący przez białkowe struktury α -spiralne i β -arkusze. Protony wstrzyknięte do łańcucha wiązań wodorowych są produktami procesów redoks i rezerw H^+ z wysokim potencjałem elektrochemicznym. Łańcuchy wiązań wodorowych mogą działać jako przewodniki H^+ , ponieważ są one ośrodkiem hydrofobowym takim, jak wewnątrz cząsteczek białkowych. Ścieżki przewodnictwa protonowego w komórce przechodzą z fazy stałej do fazy wodnej poprzez retikulum mikrobleczkowe oraz od komórki do komórki poprzez złącza. Dzięki dużej liczbie ścieżek przewodnictwa (łańcuchy wiązań H^+) w cząsteczkach białkowych i systemach wieloenzymowych (połączonych z organellami błonowymi) powstaje ogromna sieć przewodnictwa protonowego w skali suprakomórkowej.

Długość wiązań wodorowych może zmieniać się cyklicznie wraz ze zmianami asymetrii struktury i energii, które umożliwiają łańcuchowi przełączanie się ze stanu biernego przewodnika do jego stanu aktywnego, jak ma to miej-

²⁷ Bistolfi 1991 s. 84.

²⁸ Na przykład Morowitz 1978.

sce w wypadku jednokierunkowej pompy H^+ lub oddziaływań protonowo-konformacyjnych w molekułach białkowych. Z uwagi więc na to, że cząsteczka białkowa może mieć więcej niż jeden łańcuch wiązań wodorowych, makromolekuła ta może być nadzwyczaj dynamiczna elektrycznie i elektromagnetycznie. Wiązania wodorowe α -helisy i β -arkuszy są podstawowe ze względu na ich naturę energetyczną (tzn. zdolność do wykonywania pracy) i właśnie wektorową naturę dynamiczną.

W wewnątrzkomórkowej fazie stałej istnieje pewna pula ruchliwych protonów generowana przez źródła H^+ (tj. procesy redoksowe, H^+ -ATPazę) i protony te przemieszczają się wzdłuż ścieżek przewodnictwa mających niską stałą dielektryczną (np. łańcuchy białek globularnych, woda ustrukturyzowana). W łańcuchach białkowych cząsteczki białka oddziałują poprzez kontakty w strukturze czwartorzędowej dokonujące się poprzez powierzchniowe wiązania wodorowe.

Model Welcha i Berry'ego sugeruje istnienie zasadniczych punktów oddziaływań z zewnętrznymi polami elektromagnetycznymi. Sugestia ta uzasadniona jest po części faktem funkcjonalnej ważności łańcuchów wiązań wodorowych, które są umiejscowione w strukturach z silnym polem elektrycznym i wysoką anizotropią magnetyczną (α -helisy i β -arkusze). Otwarta jest kwestia, czy takie oddziaływania mogą indukować zaburzenia funkcjonalno-strukturalne, czy także – przywracanie jakiegoś porządku, który został zaburzony²⁹.

2. BISTOLFIEGO METAFORA HARFY WODOROWEJ JAKO MODEL ISTOTNEGO ELEMENTU MECHANIZMU KOMUNIKACJI WEWNĄTRZKOMÓRKOWEJ

Podstawą modelu harfy wodorowej³⁰ są dwie, wyżej już wspomniane tezy, a mianowicie:

1) wiązania wodorowe w DNA i w białkach składają się z naładowanej cząstki (H^+), której częstotliwość oscylacji jest rzędu 10^{11} - 10^{12} Hz;

²⁹ Na temat roli swobodnych nośników ładunku w biosystemach zob. np. Pietrow 1984; Zon 1983; 1988.

³⁰ Bistolfi 1990; 1991 s. 83.

2) wiązania wodorowe mogą ulegać naprężeniom, rozciąganiom i ścisaniom, wskutek czego zachodzi zmiana ich długości i prawdopodobnie częstotliwości oscylacji protonu w nich usytuowanego.

Ponieważ oscylacja protonu w wiązaniu wodorowym doprowadza do powstawania fal milimetrycznych (10^{11} Hz) i z zakresu skrajnej podczerwieni IR (10^{12} Hz), Franco Bistolfi zaproponował do adekwatnego opisu tych procesów wykorzystanie metafor zaczerpniętych z języka muzyki. Pojedyncze wiązanie wodorowe porównał do struny instrumentu, a grupę wiązań wodorowych do całego instrumentu (tu: harfy). Tonacja dźwięku każdej struny (częstotliwość jakiegoś pojedynczego wiązania) mogłaby zależeć od jego długości. Intensywność dźwięku zależy zaś od liczby strun tej samej długości, które jednocześnie wibrują. Natomiast jakość dźwięku zależy od równoczesnych wibracji strun rozmaitych długości (akord w sensie muzycznym a kooperacja w sensie biofizycznym). Harfy wodorowe nie miałyby jakiejś ustalonej liczby strun. Można jednak wyróżnić tzw. małe harfy (takie jak pomiędzy komplementarnymi trypletami zasad DNA) oraz duże harfy, urzeczywistniające się w długich segmentach DNA lub w jakichś uporządkowanych szeregach α -helis w białkach (jak to jest w przypadku rodopsyny i receptorów β -adrenergicznych). W modelu harfy wodorowej duże znaczenie miałyby długość i liczba strun, jakie ma każda harfa, a także przestrzenne relacje wzajemne pomiędzy harfami ulokowanymi w poszczególnych przestrzeniach biomolekuły.

Nie ulega wątpliwości, że przejście jakiegoś protonu wzdłuż ciągu wiązań wodorowych (w α -helisach i β -arkuszach) indukuje zmiany konformacyjne w białku, czyli protonowe oddziaływania konformacyjne. Można jednak przypuszczać, że zmiany rozmiarów i kształtów α -helis i β -arkuszy mogą także zmieniać częstotliwość promieniowania elektromagnetycznego emitowanego przez wiązania wodorowe w nich zawarte. Właśnie dzięki temu może zachodzić sygnalizacja na odległość procesu przemiany konformacyjnej białka i w tzw. czasie realnym, jak również wykonywana praca mechaniczna (taka jak adaptacja pomiędzy enzymem a substratem).

Z powodu obecności bardzo dużej liczby wiązań wodorowych w komórce można spodziewać się, że emisja elektromagnetyczna z tej złożonej orkiestry harf ma charakter jednorodny i izotropowy. Odchylenia natężenia emisji w zakresie mikrofal milimetrycznych (MW) i skrajnej podczerwieni (IR) spowodowane przez protonowe oddziaływania konformacyjne funkcjonują jako sygnały typu włączanie/wyłączanie jakiegoś procesu wewnątrzkomórkowego. Sygnały te wyłaniają się z jednorodnego „morza” promieniowania izotropowego. Te sygnały błyskania mogą być przyjmowane przez obiekty wewnątrz-

komórkowe, które z kolei mogą być wzbudzone koherentnie. Sygnały typu włącz/wyłącz generowane przez harfy wodorowe białek i kwasów nukleinowych mogą powodować reorientację przestrzenną organell w cytoplazmie, która, jak wiadomo, zmienia się w czasie. Na przykład ażeby zmaksymalizować absorpcję światła, chloroplasty dokonują reorientacji wówczas, gdy nawet przypadkowy promień światła zmienia swój kąt padania. Okazuje się, że komórka ma zdolność „widzenia”³¹.

Wiązania wodorowe są więc istotnymi komponentami DNA, gdzie stabilizują sparowanie pomiędzy komplementarnymi zasadami na dwóch „taśmach”. Natomiast pojedynczo splecione molekuly RNA i tRNA zwijają się w pewnych regionach i z powodu zespołu wiązań wodorowych (które byłyby małymi harfami) przyjmują charakterystyczny półskręcony kształt. Wspomniany wyżej F. Popp sądzi, że DNA jest nie tylko bardzo wydajnym absorberem promieniowania, ale – z powodu występowania wielkiej liczby odcinków o „długościach antenowych”, jakie ma ten DNA – również rodzajem ciągłego źródła elektromagnetycznego o szerokim zakresie częstotliwości (biofotony).

Zmiany typu włączanie/wyłączanie emisji elektromagnetycznej przez harfy wodorowe mogą dokonywać się w tym segmencie podwójnej spirali, który jest częściowo rozwijany podczas dekondensacji poprzedzającej transkrypcję. Intensywność emisji zależałaby wówczas od liczby wiązań wodorowych zaangażowanych w formowanie tzw. rozdęcia (puffy). Elektromagnetyczne sparowanie koherentne pomiędzy dwoma trypletami zasad komplementarnych mogłoby się dokonywać przy rozpoznawaniu pomiędzy kodonem (mRNA) a antykodonem (tRNA)³². Ogólnie mówiąc, informacja elektromagnetyczna jest podstawowa dla istnienia organizmu żywego jako zintegrowanej całości³³.

III. UWAGI KOŃCOWE

Elektromagnetyczna komunikacja wewnątrzkomórkowa może dokonywać się nie tylko za pomocą tzw. harf wodorowych, których istnienie jest jak

³¹ Albrecht-Buehler 1992; Jibu (i in.) 1997.

³² Bistolfi 1991 s. 88.

³³ Kuzin 1997.

najbardziej prawdopodobne. Można sądzić, że istnieją także inne kanały tej komunikacji, a przyszłe badania doświadczalne zapewne je bardziej skonfirmują. Poniżej zasygnalizowane zostaną niektóre z nich.

Zgodnie z koncepcją bioplazmy zbiór nośników ładunku w układach żywych może stanowić plazmę fizyczną³⁴ sprzężoną z biochemicznymi reakcjami metabolizmu. Oscylacje plazmowe elektronów w błonach biologicznych uczestniczą prawdopodobnie w sprzęganiu transbłonowego pola elektrycznego z syntezą tzw. wiązań wysokoenergetycznych, a także w innych procesach bioenergetycznych³⁵. Z uwagi na niezwykle dynamiczną energetyczną tego rodzaju stanu materii (czyli bioplazmy) nie jest wykluczone, że istnieje elektromagnetyczna komunikacja pomiędzy domenami tej plazmy w obrębie biostruktur. Warto dodać, że W. M. Iniuszyn postuluje istnienie holograficznych struktur organizmu i tę problematykę opatruje nazwą „bioholonika”³⁶.

Innym możliwym kanałem elektromagnetycznego transferu informacji byłoby medium pomiędzy tzw. systemami Fröhlicha³⁷, którymi są biomolekularne układy drgań koherentnych (czyli systemy polarnych oscylatorów nieliniowo sprzężonych z tzw. kąpielą cieplną)³⁸. Kolejne rodzaje wewnątrzkomórkowej komunikacji elektromagnetycznej mogą istnieć dzięki: (a) nadprzewodnikowym złączom Josephsona, najprawdopodobniej także znajdującym się w komórkach żywych³⁹, oraz (b) modyfikacjom wzbudzeń kolektywnych w biomembranach przez zewnętrzne pole elektryczne⁴⁰. Niezmiernie interesująca jest także możliwość przemieszczania się fal elektromagnetycznych wewnątrz mikrotubul⁴¹ (analogon światłowodów).

We wspomnianych tu hipotezach i koncepcjach pominięto lub niewystarczająco uwzględniono wiele istotnych aspektów elektromagnetycznej komunikacji między biosystemami. Aspekty te (np. kodowanie, zapamiętanie, odczytanie, przetwarzanie) dotyczą informacji i nie są, jak się wydaje, reduko-

³⁴ Na przykład Zon 1979; 1980.

³⁵ Zon 1986 s. 364.

³⁶ Iniuszyn (i in.) 1992.

³⁷ Na przykład Pokorný 1995; Pokorný, Fiala 1994; Mesquita (i in.) 1996.

³⁸ Przypuszcza się, że z tego typu elektromagnetyczną komunikacją wewnątrzkomórkową może wiązać się dźwiękowa komunikacja międzykomórkowa pomiędzy bakteriami (Norris & Hyland 1997).

³⁹ Costato (i in.) 1996; Smith 1998.

⁴⁰ Wojtczak & Romanowski 1996.

⁴¹ Na przykład Albrecht-Buehler 1998; Jibu (i in.) 1994.

walne do aspektów fizykalnych (np. natężenie emisji, transmisja sygnału, wzmacnianie sygnału, pochłanianie w bioukładzie-odbiorniku), przede wszystkim uwzględnianych w badaniach doświadczalnych. Dotyczy to również powiązania między biologicznymi skutkami oddziaływań elektromagnetycznych a ilością i jakością przekazywanej informacji (a nie tylko ilością przekazywanej energii). Zapewne poważną trudność stanowi wypracowanie adekwatnych metod do zbadania tych właśnie atrybutów biosystemów. Nie wykluczone, że rozwijająca się od niedawna nanotechnologia⁴² ułatwi to zadanie.

Dotychczasowe przekonania o istnieniu fundamentalnych i trwałych struktur komórkowych oraz sił i mechanizmów powodujących interakcje tych biostruktur, warunkujących procesy życiowe, wydają się nieadekwatne do opisu i wyjaśniania rzeczywistości biotycznej. Wzrastająca liczba danych dotyczących elektromagnetycznej komunikacji wskazuje bowiem na niezwykle dynamiczną naturę wzajemnych oddziaływań wewnątrzkomórkowych. To raczej każda struktura komórkowa wydaje się przejawem jakiegoś bardziej podstawowego zbioru procesów i dynamicznych struktur leżących u jej podstaw. Prawdopodobnie są nimi oddziaływania informacyjne dokonujące się przy udziale procesów elektromagnetycznych, które trzeba przypuszczalnie uznać za współkonstruujące naturę życia.

BIBLIOGRAFIA

- A l b r e c h t - B u e h l e r G., 1992: Rudimentary Form of Cellular „Vision”, „Cell Biology”, 89: 8288-8292 (za: Jibu (i in.) 1997).
- A l b r e c h t - B u e h l e r G., 1998: Altered Drug Resistance of Microtubules in Cells Exposed to Infrared Light Pulses: Are Microtubules the „Nerves” of Cells?, „Cell Motility and the Cytoskeleton”, 40(2): 183-192.
- B a j p a i R. P., K u m a r S., S i v a d a s a n V. A., 1997: Frequency-stable Damped-Oscillator Model of Biophoton Emission, „Frontier Perspectives”, 6(2): 9-16.
- B i s t o l f i F., 1990: A Hydrogen-harps Model for Intracellular Communication and Its Implications for the Second Genetic Code, „Panminerva Medica”, 32: 4-9.

⁴² Na przykład Maron (i in.) 1993.

- B i s t o l f i F., 1991: Biostructures and Radiation. Order Disorder, Torino: Edizioni Minerva Medica.
- B r a y D., 1998: Signaling Complexes: Biophysical Constraints on Intracellular communication, „Annual Review of Biophysics and Biomolecular Structure”, 27: 59-75.
- B u l k l e y D. H., 1989: An Electromagnetic Theory of Life. „Medical Hypotheses”, 30: 281-285.
- B u l k l e y D. H., 1992: An Electromagnetic Theory of Life – II: Testing, tamže, 38: 305-310.
- C a r v a l h o - R o d r i g u e s F., D o c k e r y J., 1996: Defining Systems Based on Information Exchange: Structure from Dynamics, „BioSystems”, 38(2-3): 229-234.
- C o f f e y E. J., 1976: Life: Its Definition and Some Consequences, „Journal of British Interplanetary Society”, 29: 633-640.
- C o s t a t o M., M i l a n i M., S p i n o g l i o L., 1996: Quantum Mechanics: A Breakthrough into Biological System Dynamics, „Bioelectrochemistry and Bioenergetics”, 41(1): 27-30.
- C u r l e y K., L a w r e n c e D. S., 1998: Photoactivation of a Signal Transduction Pathway in Living Cells, „Journal of the American Chemical Society”, 120(33): 8573-8574.
- D e L o o f A., V a n d e n B r o e c k J., 1995: Communication: The Key to Defining „Life”, „Death” and the Force Driving Evolution. „Organic Chemistry-based-” versus „Artificial” Life, „Belgian Journal Zoology”, 125(1): 5-28.
- D e v a r a j B., U s a M., I n a b a H., 1997: Biophotons: Ultraweak Light Emission from Living Systems, „Current Opinion in Solid State and Materials Science”, 2(2): 188-193.
- E h r e s m a n n A. C., V a n b r e m e e r s c h J. P., 1997: Information Processing and Symmetry-breaking in Memory Evolutive Systems, „BioSystems”, 43(1): 25-40.
- F i s c h e r H. A., 1979: Photons as Transmitter for Intra- and Intercellular Biological and Biochemical Communication – The Construction of a Hypothesis, [w:] Electromagnetic Bio-information, eds. F. A. Popp, G. Becker, H. L. König, W. Peschka, München: Urban and Schwarzenberg, s. 175-180.
- F l e i s c h h a c k e r L. E., 1998: On the Notion of Life, „Theory in Biosciences”, 117(2): 139-160.
- G á n t i T., 1996: The Essence of the Living State, [w:] Defining Life: The Central Problem in Theoretical Biology, ed. M. Rizzotti, Padova: University of Padova, s. 103-117.
- G u Q., P o p p F. A., 1992: Nonlinear Response of Biophoton Emission to External Perturbations. „Experientia”, 48(11-12): 1069-1082.
- G u Q., P o p p F.-A., 1994: Biophoton Emission as a Potential Measure of Organizational Order, „Science in China”, Series B – Chemistry Life Sciences and Earth Sciences, 37(9): 1099-1112.

- 1994: Bioelectrodynamics and Biocommunication, eds. Mae-Wan Ho, F.-A. Popp, U. Warnke, Singapore–New Jersey–London–Hong Kong–Bangalore: World Sci. Publ. Co.
- H o f f m a n n P., 1998: Oxygenic Photosynthesis – a Photon Driven Hydrogen Generator – the Energetic/Entropic Basis of Life, „Photosynthetica”, 35(1): 1-11.
- I n a b a H., 1995: Ultraweak Biophoton Imaging and Information Characterization, [w:] Ultrafast and Ultra-Parallel Optoelectronics, eds. T. Sueta, T. Okoshi, Tokyo: Ohmsha and John Wiley and Sons, s. 570-580 (za: Devaraj (i in.) 1997).
- I n a b a H., U s a M., 1995: Ultraweak Photon Emission from Living States: Biophoton Imaging and Biophotonic Information Detection [w jęz. jap.], „Medical Imaging Technique”, 13: 23-32 (za: Devaraj (i in.) 1997).
- I n i u s z y n W. M., I l j a s o w G. U., N i e p o m n i a s z c z y c h I. A., 1992: Bioenergietyczeskie struktury – teoria i praktyka, Alma-Ata: Izd. „Kazachstan”.
- J a b l o n k a E., S z a t h m a r y E., 1995: The Evolution of Information Storage and Heredity, „Trends in Ecology and Evolution”, 10(5): 206-211.
- J e r m a n I., 1998: Electromagnetic Origin of Life, „Electro- and Magnetobiology”, 17(3): 401-413.
- J i S., 1997: Isomorphism between Cell and Human Languages: Molecular Biological, Bioinformatic and Linguistic Implications. „BioSystems”, 44(1): 17-39.
- J i b u M., H a g a n S., H a m e r o f f S. R., P r i b r a m K. H., Y a s u e K., 1994: Quantum Optical Coherence in Cytoskeletal Microtubules: Implications for Brain Function, tamże, 32(3): 195-209.
- J i b u M., Y a s u e K., H a g a n S., 1997: Evanescent (Tunneling) Photon and Cellular „Vision”, tamże, 42(1): 65-73.
- K a m p i s G., C s a n y i V., 1991: Life, Self-reproduction and Information – beyond the Machine Metaphor, „Journal of Theoretical Biology”, 148(1): 17-32.
- K a z n a c z e j e w W. P., M i c h a j ł o w a Ł. P., 1985: Bioinformacyjon-naja funkcija jestwiestwiennych elektromagnitnych polej, Nowosibirsk: Nauka. Sibirskoje Otdielenie.
- K o b a y a s h i M., D e v a r a j B., U s a M., T a n n o Y., T a k e d a M., I n a b a H., 1996: Development and Applications of New Technology for Two-dimensional Space-time Characterization and Correlation Analysis of Ultraweak Biophoton Information, „Frontiers in Medical Biology Engineering”, 7(4): 299-309.
- K u z i n A. M., 1997: Elektromagnitnyja informacyja w fienomienie żyzni, „Izwestija Akademii Nauk, Sierija Biologiczeskaja”, (2): 154-157.
- K ü p p e r s B. O., 1991: Geneza informacji biologicznej. Filozoficzne problemy powstania życia, tł. [z jęz. niem.] W. Ługowski, Warszawa: PWN.
- L a t a w i e c A. M., 1982: Pojęcie informacji biologicznej, [w:] Z zagadnień filozofii przyrodoznawstwa i filozofii przyrody, t. IV, pod red. K. Kłósaka, M. Lubańskiego, S. W. Ślagi, Warszawa: ATK, s. 213-229.

- L a t a w i e c A. M., 1983: Koncepcja informacji biologicznej, [w:] Z zagadnień filozofii przyrodznawstwa i filozofii przyrody, t. V, pod red. K. Kłósaka, M. Lubańskiego, S. W. Ślaci, Warszawa: ATK, s. 151-259.
- L i b o f f A. R., 1994: The Electromagnetic Field as a Biological Variable, [w:] On the Nature of Electromagnetic Field Interaction with Biological Systems, ed. A. H. Frey, Austin, TX: R. G. Landes Company, Medical Intelligence Unit, s. 73-82.
- L i b o f f A. R., 1996: Evolution and the Change in Electromagnetic State, „Electro- and Magnetobiology”, 15(3): 245-252.
- L i n g G. N., 1994: The New Cell Physiology: An Outline, Presented against Its Full Historical Background, Beginning from the Beginning, „Physiological Chemistry and Physics and Medical NMR”, 26(2): 121-203.
- L u i s i P. L., 1998: About Various Definitions of Life, „Origins Life and Evolution of the Biosphere”, 28(4-6): 613-622.
- M a h n e r M., B u n g e M., 1997: Foundations of Biophilosophy, Berlin: Springer-Verlag.
- M a r o n V. I., N u s s i n o v M. D., S a n t o l i S., 1993: Nanotechnology and Nanobiology – Breakthroughs to New Concepts in Physics, Chemistry and Biology, „Nanobiology”, 2: 189-199.
- M e s q u i t a M. V., V a s c o n c e l l o s A. R., L u z z i R., 1996: Near-dissipationless Coherent Excitations in Biosystems, „International Journal of Quantum Chemistry”, 60(2): 689-697.
- 1985: Information Processing in Biological Systems, eds. S. L. Mintz, A. Perlmutter, New York: Plenum Press.
- M o r o w i t z H. J., 1978: Proton Semiconductors and Energy Transduction in Biological Systems, „American Journal of Physiology”, 235(3): R99-R114.
- N a g l W., P o p p F. A., 1983: A Physical (Electromagnetic) Model of Differentiation, I: Basic Considerations, „Cytobios”, 37: 45-62.
- N i g g l i H. J., 1992: Ultraweak Photons Emitted by Cells: Biophotons, „Journal of Photochemistry and Photobiology B – Biology”, 14(1-2): 144-146.
- N i g g l i H. J., 1996: The Cell Nucleus of Cultured Melanoma Cells as a Source of Ultraweak Photon Emission, „Naturwissenschaften”, 83(1): 41-44.
- N o r r i s V., H y l a n d G. J., 1997: Do Bacteria Sing? Sonic Intercellular Communication between Bacteria May Reflect Electromagnetic Intracellular Communication Involving Coherent Collective Vibrational Modes that Could Integrate Enzyme Activities and Gene Expression, „Molecular Microbiology”, 24(4): 879-880.
- P a n g X.-F., 1995: A Molecular Dynamical Theory of Ultraweak Bio-photon Emission in the Living Systems and Its Properties (I), „Chinese Journal Atomic and Molecular Physics”, 12(4): 411-419.
- P a n g X.-F., 1996: A Molecular Dynamical Theory of Ultraweak Bio-photon Emission in the Living Systems and Its Properties (II), tamże, 13(1): 70-78.
- P i e t r o w E. G., 1984: Fizika pierienosa zariadow w biosystemach, Kijew: Naukowa Dumka.

- P o k o r n ý J., 1995: Fröhlich Coherent States: Implications for Interaction in Biological Systems and Information Transfer, „Neural Network World”, 5(5): 831-847.
- P o k o r n ý J., F i a l a J., 1994: Information Content of Fröhlich Coherent Systems, tamże, 4: 315-325.
- P o p p F. A., 1979: Photon Storage in Biological Systems, [w:] Electromagnetic Bio-Information. Proceedings of the Symposium, eds. F. A. Popp, G. Becker, H. L. König, W. Peschka, München: Urban and Schwarzenberg, s. 123-149.
- P o p p F. A., 1983 a: Electromagnetic Control of Cell Processes, [w:] Proceedings of International Symposium on Wave Therapeutics: Interaction of Non-ionizing Electromagnetic Radiation with Living Systems. Versailles, May 19-20, 1979, ed. Z. W. Wolkowski, Paris, s. 60-94.
- P o p p F. A., 1983 b: Photons, and Their Importance to Biology, tamże, s. 43-59.
- P o p p F. A., 1992: Biologia światła, tł. [z jęz. niem.] A. J. Kuryłowicz, Warszawa: „Wiedza Powszechna”.
- P o p p F.-A., 1998: Biophotons and Their Regulatory Role in Cells, „Frontier Perspectives”, 7(2): 13-22.
- 1979: Electromagnetic Bio-information: Proceedings of the Symposium, eds. F. A. Popp, G. Becker, H. L. König, W. Peschka, Marburg, 5 September 1977, München: Urban and Schwarzenberg.
- P o p p F. A., L i K. H., M e i W. P., G a l l e M., N e u r o h r R., 1988: Physical Aspects of Biophotons, „Experientia”, 44(7): 576-585.
- P o p p F. A., N a g l W., 1983: A Physical (Electromagnetic) Model of Differentiation, 2: Applications and Examples, „Cytobios”, 37: 71-83.
- R o s s i E. L., 1996: The Psychobiology of Mind-body Communication: The Complex, Self-organizing Field of Information Transduction, „BioSystems”, 38(2-3): 199-206.
- S e d l a k W., 1969: ABC elektromagnetycznej teorii życia, „Kosmos”, seria A: Biologia, 18(2(97)): 165-174.
- S e d l a k W., 1970: Wstęp do elektromagnetycznej teorii życia, „Roczniki Filozoficzne”, 18, z. 3: 101-126.
- S e d l a k W., 1976: Is Life an Electromagnetic Phenomenon?, [w:] Bioplazma. Materiały z I Konferencji poświęconej bioplazmie, KUL, 9 V 1973, pod red. W. Sedlaka, Lublin: RW KUL, s. 73-81.
- S ł a w i ń s k a D., S ł a w i ń s k i J., 1985: Low-level Luminescence from Biological Objects, [w:] Chemi- and Bioluminescence, ed. J. G. Burr, New York: M. Dekker, Inc., s. 495-531.
- S ł a w i ń s k i J., 1982: Stany wzbudzone i fotony jako możliwe czynniki informacyjno-kontrolne procesów życiowych, „Postępy Fizyki Medycznej”, 17(3-4): 59-68.
- S ł a w i ń s k i J., 1984: Generowanie i emisja fotonów w układach biologicznych, [w:] Perspektywy bioelektroniki, pod red. J. Zona, M. Wnuka, Lublin: RW KUL, s. 27-41.
- S ł a w i ń s k i J., 1994: Wpływ czynników środowiska na elektroniczno-fotonowe sprzężenie organizmu. Referat na: VII Sympozjum Bioelektroniki nt. „Wpływ

- czynników środowiska na organizm jako system elektroniczny”, KUL, 16-17 XII 1994, Lublin.
- S m i t h C. W., 1998: Is a Living System a Macroscopic Quantum System?, „Frontier Perspectives”, 7(1): 9-15.
- S t o n i e r T., 1990: Information and the Internal Structure of the Universe: An Exploration into Information Physics, London–Berlin–Heidelberg–New York: Springer-Verlag.
- S t o n i e r T., 1996: Information as a Basic Property of the Universe, „Bio-Systems”, 38(2-3): 135-140.
- T r i g l i a A., M u s u m e c i F., Scordino A., 1997: The Spontaneous Ultra-weak Luminescence of Living Systems, „Rivista di Biologia – Biology Forum”, 90(2): 267-280.
- T r i n c z e r K. S., 1964: Biologija i informacija. Moskwa: Izd. Nauka.
- V i n c e n t L. M., 1993: Theory of Data Transferal – Principles of a New Approach to the Information Concept, „Acta Biotheoretica”, 41(1-2): 139-145.
- V i n c e n t L. M., 1994: Réflexions sur l’usage, en biologie, de la théorie de l’information, tamże, 42(2-3): 167-179.
- W a n g X., 1980: Bioelectrical Information Processing, „Scientia Sinica”, 23(11): 1469-1480.
- W a n g Y. Y. L., W a n g W.-K., 1979: Membrane Potential and Active Transport – an Information Theory Approach, „Physiological Chemistry and Physics”, 11: 77-82.
- W e l c h G. R., B e r r y M. N., 1983: Long-range Energy Continua in the Living Cell: Protochemical Considerations, [w:] Coherent Excitations in Biological Systems, eds. H. Fröhlich, F. Kremer, Berlin: Springer-Verlag, s. 95-116.
- W e l c h G. R., B e r r y M. N. 1985: Long-range Energy Continua and the Coordination of Multienzyme Sequences in Vivo, [w:] Organized Multienzyme Systems: Catalytic Properties, ed. G. R. Welch, Orlando, Fla.: Academic Press, s. 419-447.
- W n u k M., 1995: Życie jako forma istnienia informacji elektromagnetycznej, „Studia Philosophiae Christianae”, 31(2): 105-130.
- W n u k M., 1996 a: Istota procesów życiowych w świetle koncepcji elektromagnetycznej natury życia: Bioelektromagnetyczny model katalizy enzymatycznej wobec problematyki biosystemogenezy, Lublin: RW KUL.
- W n u k M., 1996 b: Życie ze światła: Biosystemogeneza w świetle koncepcji elektromagnetycznej natury życia, „Studia Philosophiae Christianae”, 32(1): 101-123.
- W o j t c z a k L., R o m a n o w s k i S., 1996: Simple Model of Intermembrane Communication by Means of Collective Excitations Modified by an Electric Field, „Bioelectrochemistry and Bioenergetics”, 41(1): 47-51.
- Z o n J. R., 1979: Physical Plasma in Biological Solids: A Possible Mechanism for Resonant Interactions Between Low Intensity Microwaves and Biological Systems, „Physiological Chemistry and Physics”, 11(6): 501-506.
- Z o n J. R., 1980: The Living Cell as a Plasma Physical System, tamże, 12: 357-364.

- Z o n J., 1983: Electronic Conductivity in Biological Membranes, „Roczniki Filozoficzne”, 31, z. 3: 165-183.
- Z o n J., 1986: Plazma elektronowa w błonach biologicznych, Lublin: RW KUL.
- Z o n J. R., T i e n T. H., 1988: Electronic Properties of Natural and Modeled Bilayer Membranes, [w:] Modern Bioelectricity, ed. A. A. Marino, New York and Basel: Marcel Dekker, Inc., s. 181-241.

INTRACELLULAR ELECTROMAGNETIC COMMUNICATION
AS A MANIFESTATION OF THE NATURE OF LIFE

S u m m a r y

The article attempts at describing the recent advances in elucidation of a new aspect of the processes comprising the generation, transmission, receiving, processing, as well as storage of information by the means of various electromagnetic radiation. It is claimed that it is at least as important as the processes of various types of conversions of matter and energy. At the beginning, a theoretical framework for electromagnetic communication inside the living cell has been presented. Secondly, a review of life processes involving electromagnetic processes has been given. Thirdly, a possible role of hydrogen bonds in intracellular communication is dealt with, especially the F. Bistolfi's model of the hydrogen harps. Next, some very hypothetical concepts have been mentioned, as: electromagnetic information transfer between the Bose condensates in biosystems (originally proposed by H. Fröhlich), electromagnetically-mediated interaction between the domains of physical plasma inside the cell etc. Finally, the biophilosophical significance of the knowledge on this closer and closer investigated dimension of the nature of life has been emphasized.

Summarized by Marian Wnuk