

Anna Latawiec

Modelowanie i symulacja zjawisk biomedycznych

Studia Philosophiae Christianae 31/2, 147-165

1995

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

ANNA LATAWIEC

MODELOWANIE I SYMULACJA ZJAWISK BIOMEDYCZNYCH

1. Określenie zjawiska biomedycznego. 2. Opis zjawisk biomedycznych 2.1. Starzenie się. 2.2. Umieranie. 2.3. Śmierć. 2.4. Transplantacje. 3. Pojęcie modelowania i symulacji. 3.1. Wyjaśnienie pojęcia modelowania i symulacji. 3.2. Próba skonstruowania wybranych modeli.

Rozwój nauki pociąga za sobą także i rozwój nowych metod badania i poznawania otaczającej nas rzeczywistości. Rozwój techniki sprzyja takiemu coraz to bardziej nowoczesnemu wnikaniu w tę rzeczywistość. Na styku nauki i techniki, techniki i biologii, techniki i medycyny coraz częściej pojawia się metoda modelowania i symulacji. Celem niniejszego opracowania jest ukazanie złożoności samej istoty zjawisk biomedycznych, próba ich określenia oraz sformułowanie obiektywnych trudności jawiących się z chwilą podjęcia próby ich modelowania i symulacji.

1. OKREŚLENIE ZJAWISKA BIOMEDYCZNEGO

Człowiek żyje w konkretnym środowisku, stanowi jego element. Podobnie jak wszystkie żywe organizmy podlega wszelkim prawom biologicznego rozwoju. Jednym z takich praw jest starzenie się, umieranie i śmierć jako proces wieńczący egzystencję każdego żywego organizmu. Człowiek, będąc elementem przyrody, podlegając jej prawom, może być rozpatrywany w świetle zjawisk biologicznych. Z tej racji, w pierwszej kolejności zostanie podjęta próba określenia podjęcia zjawiska biologicznego, a w jego świetle - zjawiska biomedycznego.

Wszelkie żywe organizmy, w tym także i człowiek, charakteryzowane są przez godną uwagi złożoną organizację, dzięki której wyposażone są w zdolność reagowania na ekstremalne bodźce, przyswajania lub uwalniania energii (procesy metaboliczne, wzrastania, różnicowania, powielania (replikacji)). Systemy żywe są otwarte, zachowują stan stacjonarny równowagi, pomimo dużej ilości wejść i wyjść¹. Warto

¹ E. Mayer, *Towards a new philosophy of biology. Observations of an Evolutionist*, Cambridge

podkreślić, iż ową złożoność możemy obserwować na każdym poziomie organizacji żywej materii, od molekularnego, poprzez komórkowy, organiczny, po ekosystemowy. Złożoność hierarchiczna pojawiająca się wewnątrz indywidualnego systemu związana jest z faktem, iż istnienie na jednym poziomie jest niejako wkomponowane w istnienie na poziomie wyższym. Oznacza to, że komórki tworzą tkanki, tkanki - narządy, narządy - całe systemy funkcjonalne.

Pytanie o istotę zjawiska biomedycznego jest pośrednio pytaniem o istotę zjawiska biologicznego, a więc także i o istotę życia. Hierarchicznie uzależnione systemy posiadają dwie niezwykle ważne własności: działają jako całości, a ich charakterystyki nie mogą być wprowadzone jako suma charakterystyk (własności) poszczególnych elementów składowych¹.

Znalezienie odpowiedzi na pytanie o istotę życia, o istotę zjawiska jemu odpowiadającego wiązać należy z próbą odnalezienia jakiegoś mistycznego pierwiastka życiowego², bądź też szczególnie ważnej lub odrębnej cechy typowej jedynie dla życia. Za takie uznaje się zdolność pobierania energii i materii z zewnątrz, co warunkuje budowę własnego ciała; zdolność do rozrodu, czyli wytwarzania innych organizmów podobnych do siebie; śmiertelność jako skutek bezwzględny każdego zaistniałego życia realizujący się bądź to w sposób naturalny, bądź też losowy. Poszukiwanie specyfiki życia trwa. Lenartowicz³ sugeruje, że takim specyficznym elementem może być cykl życiowy. Problem istoty życia rozpatruje się wówczas w aspekcie dynamicznym, od strony zjawiskowej.

Pierwsza intuicja związana z próbą określenia zjawiska biologicznego nasuwa potrzebę podkreślenia tej stałej dynamiki obserwowanych procesów. Przez zjawisko bowiem, najogólniej rozumie się to, co może być zarejestrowane przez świadomość, czyli to, co jest dane dzięki obserwacji i eksperymentowi. Jeśli przyjmiemy, że świadomość dana jest wraz z początkami systemu nerwowego, proporcjonalnie do stopnia jego organizowania, to uznamy pojawienie się coraz wyższego stopnia świadomości. Sądzić zatem można, że najdrobniejsze przejawy

1988, 14; E. Pakszys, *Problemy faktów naukowych: fakty biologiczne wobec struktury, funkcji, rozwoju materii ożywionej*, w: *Z zagadnień filozofii nauk przyrodniczych*, red. St. Butrym, Warszawa 1991, 279-284.

¹ E. Mayer, dz. cyt., także: P. Grieb, *Organizacja materii biologicznej i procesy ewolucji*, w: *Z zagadnień filozofii nauk przyrodniczych*, dz. cyt., 291-294.

² J. Kozłowski, *Ewolucja biologiczna a wiara chrześcijańska*, *Znak* 428(1991)1,55.

³ P. Lenartowicz, *Elementy filozofii zjawiska biologicznego*, Kraków 1986, 48.

świadości ujawniają się przy zaczątkach systemu nerwowego, oraz że zjawisko biologiczne może przebiegać na bardzo nawet niskim poziomie organizacji życia¹.

Zjawisko należy rozumieć jako proces (łac. *processus* - postęp), czyli zmiany pojawiające się w kolejnych stadiach rozwoju, także prowadzących poprzez starzenie się po śmierć. Zjawisko można też ujmować jako przebieg następujących po sobie regularnie zmian pozostających ze sobą w związkach przyczynowych. Zjawisko biologiczne jawiące się nam jako proces, jest ciągiem zmieniających się stanów układu. Stanem układu jest zbiór cech przysługujących temu układowi w danym momencie, koniecznych i wystarczających dla jego określenia na danym odcinku czasowym *t* i w oznaczonym układzie odniesienia².

Pojęcie zjawiska biologicznego bywa w literaturze przyjmowane intuicyjnie, bądź też z pewnymi ograniczeniami. J.D. Ebert³ słusznie podkreśla konieczność uwzględnienia całego złożonego kontekstu zachodzenia konkretnego zjawiska rozwojowego, fizjologicznego czy patologicznego. W procesie rozwoju kończyny istotną rolę pełni obumieranie pewnych komórek, które następuje w ściśle określonym miejscu i w ściśle określonym czasie. Biorąc pod uwagę efekt końcowy, a więc ukształtowanie kończyny, zjawisko obumierania komórek można traktować jako rozwojowe. Wyrwane z kontekstu całości cyklu rozwojowego, może być zupełnie błędnie interpretowane. Sam proces obumierania może być traktowany raz jako zjawisko biologiczne, innym razem jako niebiologiczne⁴. Nadto należy pamiętać o trudnościach jawiących się w przypadku omawiania zjawisk granicznych, jak wirusy, plemniki, organella komórkowe, czy cząsteczki DNA. Lenartowicz stoi na stanowisku, że wątpliwe zjawiska nie są zjawiskami biologicznymi⁵.

Zdaniem autorki, za najważniejsze kryterium zjawisk biologicznych przyjąć należy zdolność reagowania na informację biologiczną, a co za tym idzie - z racji przyjętego określenia samej informacji biologicznej - powiązanie tych zjawisk z poziomami organizacji żywej materii. Informacja zdaje się pełnić kluczową rolę w przebiegu wszelkich procesów, a więc i

¹ A. Latawiec, *Pojęcie świadomości w świetle informacji biologicznej*, St. Phil. Chr., 24(1988)2, 131-138.

² A. Latawiec, *Symulacja zjawiska biologicznego*, Materiały Szkoły Symulacji Systemów Gospodarczych, Węgierska Górka '88, Katowice 1988, 69-74.

³ J.D. Ebert, *Biologia rozwoju*, Warszawa 1970, 19.

⁴ P. Lenartowicz, *Elementy ...*, dz. cyt., 40.

⁵ *Tamże*, 40-42.

biologicznych. Informacja sterując wszelkimi zjawiskami, także życiowymi, stanowi istotny czynnik gwarantujący poprawne funkcjonowanie żywych systemów. Wszelkie rozważania o procesach skupiają się wokół energii, materii i informacji.

Zjawiska biologiczne wykazują niezwyklej dynamikę i uporządkowanie¹. Obie te cechy należą do istoty zjawisk biologicznych. Uporządkowanie jest efektem sprawnego odbioru informacji i zdolności reagowania na nią. Zmiana materii i energii przebiegająca w czasie dokonuje się pod stałym wpływem informacji.

Konsekwentnie powiemy, iż zjawisko biologiczne jest przejawem życia. Jest ono sterowane przez tę właśnie informację biologiczną i przebiega zgodnie z obowiązującymi prawami przyrody². Uznamy zatem, że zjawiska biologiczne są szeregiem uporządkowanych, dynamicznych zmian o charakterze postępowym i ciągłym, których przebieg jest sterowany przez informację biologiczną za pośrednictwem odpowiednich nośników informacji powiązanych ze ściśle określoną strukturą biologiczną³.

Omawiane zjawiska starzenia się, umierania, śmierci pojawiają się na terenie biologii jako naturalne i typowe dla wszelkich istot żywych zarówno roślinnych, jak i zwierzęcych. Oznacza to, że już samo zaistnienie organizmu w świecie istot żywych implikuje konieczność jego przejścia przez fazę starzenia, umierania i śmierci. Moment pojawienia się poszczególnych faz, jak i czas ich trwania jest różnorodny i bardzo zindywidualizowany dla poszczególnych istot. Można więc uznać, iż te fazy należą do fenomenu życia. Zdarza się, iż śmierć traktowana jest jako antyteza życia. Jednakże analizując istotę śmierci, jej procesowość, ujawnia się jej wielka złożoność.

Starzenie się, umieranie, śmierć i związane z nimi zabiegi transplantacji, to zjawiska, które możemy objąć wspólnym określeniem zjawisk biomedycznych. Powiemy, iż są to zjawiska biologiczne związane z oddziaływaniem na nie medycyny. I tak, o ile starzenie się, umieranie i śmierć mogą być rozpatrywane jako zjawiska czysto biologiczne, o tyle transplantacja jest zjawiskiem sztucznym, sterowanym i wykonywanym przez lekarzy przeprowadzanym w oparciu o znajomość przebiegu zjawisk biologicznych. Poprzez z j a w i s k o b i o m e d y c z n e rozumieć więc

¹ P. Weiss, *The science of life. The living system - a system for living*, N.Y. 1973, 68-69.

² J.W. Carroll, *Laws of nature*, Cambridge 1944, 21-27 i 81-84.

³ A. Latawiec, *Wokół pojęcia zjawiska biologicznego*, St. Phil. Chr. 28(1992)2, 251.

będziemy wszelkie zjawisko o charakterze naturalnym i sztucznym wywodzące się z biologicznego, w którym uczestniczy medycyna. Warto także podkreślić, iż zjawisko biomedyczne jest w swym przebiegu sztucznie zaburzone, czyli np. może być odwracalne lub powstrzymane. Wydaje się, iż jest to naturalna konsekwencja ingerencji medycyny w życie człowieka. Mamy tu na uwadze działanie za wszelką cenę na korzyść człowieka: powstrzymywanie procesu starzenia lub wręcz odmładzanie poprzez odpowiednio prowadzone zabiegi i dietę, zapobieganie chorobom lub zwalnianie tempa ich rozwoju, przedłużanie życia w stanach ciężkich i krytycznych, powstrzymywanie procesu umierania, aż po wykorzystanie zdrowych narządów osób będących w stanie śmierci dla ratowania potrzebujących.

2. OPIS ZJAWISK BIOMEDYCZNYCH

Wśród różnych zjawisk biomedycznych człowieka interesują szczególnie te, które wpływają na jego życie, lub też te, na których przebieg może on sam mieć wpływ. Do takich niewątpliwie należą zjawiska starzenia się, umierania, śmierci i transplantowania. Są one dla człowieka interesujące z racji pewnego stopnia możliwości ingerencji w ich przebieg. Nadto, jak ma to miejsce w przypadku zabiegów transplantacji, można nimi sterować. Omówione zostaną kolejno.

2.1. STARZENIE SIĘ

Uważa się, iż utrzymanie w stałości środowiska wewnętrznego w rozwijających się organizmach, posiadających złożone homeostatyczne układy - jest możliwe tylko w tym przypadku, gdy układy zapewniające stałość środowiska wewnętrznego same rozwijają się w czasie w miarę rozwoju organizmu. Taki samorozwój zapewnia względna stabilność i niezmiennosc w rozwijającym się organizmie, ale stopniowo zaczyna doprowadzać także do naruszenia tej niezmiennosci, gdy kończy się rozwój organizmu. Trwałe odchylenie od stałości środowiska wewnętrznego jest chorobą. Dlatego więc starosc można rozpatrywać jako chorobę lub sumę chorób pojawiających się w wyniku stabilności¹.

Samorozwój homeostatycznych układów dokonuje się głównie kosztem zmian w centralnym regulatorze organizmu - w podwzgórzcu. Jego

¹ W. Dilman, *Dlaczego człowiek umiera*, 13.

czułość na oddziaływania regulujące stopniowo i bezpowrotnie maleje w miarę upływu lat. Ponieważ zaś stabilizacja w organizmie podtrzymywana jest głównie przez mechanizm ujemnego sprzężenia zwrotnego, ten sposób zapewnienia równowagi staje się coraz mniej efektywny¹.

Prawo zapewniające zdolność do życia złożonych organizmów stwarza warunki do powstania przyczyn chorób starzenia się i śmierci. Jeśli starość jest chorobą z dokładnie zachowaną kolejnością zmian, to może podlegać leczeniu². Leczenie zatem należy rozpatrywać w kategoriach powstrzymywania procesu, lub nawet odwracania. Skoro starość traktować należy jako chorobę, to winno się chorobę tę leczyć przywracając człowiekowi stan sprzed choroby. Oznacza to możliwość cofania procesów starzenia.

Starzenie się jest zatem procesem biologicznym, który rozłożony jest w czasie i który może podlegać zatrzymaniu i odwracaniu. Jako zjawisko biomedyczne starzenie się jest procesem wynikającym z naruszania regulacji, stabilności, niezmienności, stanu homeostazy i traktowane jest jako proces chorobowy. Wszelkie bowiem zaburzenia w prawidłowym funkcjonowaniu organizmu uważane są, z punktu widzenia medycyny, jako stan chorobowy. W efekcie końcowym, wszelkie rozregulowanie prawidłowości obowiązujących w funkcjonowaniu organizmu, może prowadzić do starzenia się zarówno poszczególnych komórek, jak i organizmu jako całości, i poprzez umieranie do śmierci.

2.2. UMIERANIE

Już dawno stwierdzono, iż niektóre tkanki mogą żyć znacznie dłużej niż sam organizm. Dzieje się tak, jeżeli znajdują się one w sztucznych warunkach na zewnątrz organizmu w formie tzw. hodowli. Z tego wynika, że okres istnienia tkanek izolowanych jest o wiele dłuższy niż czas ich życia jako integralnych części organizmu, inaczej mówiąc charakter samych komórek i tkanek określa granice życia³. Umieranie jest zatem naturalną konsekwencją procesu rozwoju, dojrzewania i starzenia. Truizmem jest

¹ W. Dilman, *dz. cyt.*, 13.

² Por. W. Dilman, *dz. cyt.*, 14.

³ W. Dilman, *dz. cyt.*, 15; por. także: B.M. Ash, L. Allen, *A Time to Live, A time to Die: Important Concerns When Death Draws Near*, Minneapolis, 1993; F. Feldman, *Confrontation with the Reaper: A Philosophical Study of the Nature and Value of Death*, Oxford 1993; *Life and Death*, ed. J. Westphal, C. Levenson, Indianapolis, 1993.

twierdzenie, iż każdy organizm pojawiając się w świecie istot żywych w sposób nieunikniony dąży poprzez procesy starzenia i umierania do śmierci.

Zanim pojawiają się zaburzenia oddychania czy pracy serca chory może utracić przytomność. Zdarza się, że następują zmiany w przechodzeniu od stanu nieświadomości do świadomości i odwrotnie. Pojawiają się zmiany w zabarwieniu skóry, najwyraźniej na twarzy: nos, policzki, płatki uszne stają się blade i zimne. Podobnie barwę tracą paznokcie wykazując zmianę przy ucisku na trzon paznokcia. Skóra tułowia i kończyn przybiera wygląd plamisty w miarę ustawiania krążenia krwi. Oddechy stają się coraz powolniejsze, a przerwy między nimi coraz dłuższe. Czasem towarzyszy temu świst, furczenie wynikające z gromadzenia się w drogach oddechowych wydzieliny i braku odruchu wykrztuśnego¹.

2.3. ŚMIERĆ

Śmierć jest zjawiskiem związanym z każdym organizmem, który zaistniał w przyrodzie jako żywa istota. W sposób oczywisty zjawisko to przypisujemy organizmom zwierzęcym i człowiekowi. Choć świat roślin nie jest przedmiotem niniejszego opracowania, to należy podkreślić, iż zjawisko to obserwowane jest także wśród organizmów roślinnych. Ma ono rzeczywiście inny przebieg niż analogiczne w świecie zwierząt. W każdym jednak przypadku efekt końcowy jest taki sam, czyli organizm którego dotyczy, traci atrybut bycia istotą żywą.

Śmierć jest więc zjawiskiem naturalnym, kończącym istnienie każdego żywego organizmu. Jako takie winno być również doskonale znane. Tak jednak nie jest. Wraz ze stałym postępem biologii, weterynarii i medycyny, a zwłaszcza technik reanimacji i intensywnej terapii, zmienia się pogląd na temat śmierci, jej kryteriów (jak ustanie oddychania), czy oznak. Stałe więc podejmowane są decyzje nad adekwatną do zjawiska definicją². Dzieje się tak dlatego, że nie tylko omawiane zjawisko jest bardzo złożone,

¹ *Propedeutyka pielęgniarstwa*, pr. zb. red. S. Collins, E. Parker, Warszawa 1989, 100.

² M. Sych, *Rozważania o definicji śmierci*, *Stuzba zdrowia* nr 43/44(2438-39), s. 7-8; por. także próbę podjętą przez: P. Troszkiewicz, *W poszukiwaniu istoty śmierci*, *St. Phil. Chr.* 31(1995)2 - niniejszy numer - autor podjął się prezentacji określeń śmierci z zakresu biologii, medycyny, socjologii, psychologii i filozofii oraz wyspecyfikowania jej istoty. Por. także: D.N. Walton, *On Defining Death: An Analytic Study of the Concept of Death in Philosophy and Medical Ethics*, Toronto 1979; A.J. Davis, *The Philosophy of Death*, Minneapolis 1993; *The Mathaphysics of Death*, ed. J.M. Fisher, Stanford 1993.

lecz też stale pojawiają się coraz to nowe metody podtrzymywania przy życiu organizmu znajdującego się na drodze ku końcowi życia. To, zdaniem profesora Sycha¹, sama medycyna, a raczej terapia modyfikuje nie tylko przebieg naszego życia, lecz i proces umierania i śmierci.

Zabiegi reanimacyjne wskazują na zdysocjowany w czasie charakter śmierci, czyli fakt pojawiania się jej poszczególnych cech w różnych odcinkach czasu. Należy ją traktować jako zjawisko rozciągnięte w czasie. Jeśli tak, to interesujące może być przeanalizowanie tego zjawiska pod kątem ustalenia (o ile jest to możliwe) granicy, poza którą zasadne jest mówienie o faktycznym uznaniu człowieka za zmarłego. Gdyby można było precyzyjnie i jednoznacznie wyznaczyć tę granicę, to uniknęlibyśmy wielu niezwykle ważnych problemów natury etycznej, prawnej i moralnej. Okazuje się jednak, iż takie odróżnienie człowieka żywego jeszcze od już martwego w przypadku zdysocjowania śmierci, nie jest proste².

Wyznaczenie poszukiwanej granicy może być równoznaczne z odnalezieniem jakiegoś momentu przełomowego lub stanu organizmu decydującego o jej przekroczeniu. Do chwili wprowadzenia technik reanimacyjnych ustalenie momentu przerywania życia było dosyć proste, a pewność o tym fakcie uzyskiwano po upływie jakiegoś czasu. Okazało się bowiem, iż śmierć nie jest procesem odbywającym się w jednakowej skali czasowej w odniesieniu do różnych tkanek. Jest to efekt wielkiego zróżnicowania metabolizmu przebiegającego w różnych tkankach, a co za tym idzie - zróżnicowania czasowego możliwości przeżywania beztlenowego. Podejście takie jeszcze mocniej przekonuje o konieczności traktowania zjawiska śmierci jako procesu ściśle powiązanego z upływem czasu. Interesującym pozostaje nadto zagadnienie możliwości powstrzymania tego procesu, a przede wszystkim jego odwrócenie. Czy można mówić o śmierci jako zdecydowanym przeciwieństwie życia? Często zaprzeczeniem życia jest martwota, a śmierć traktowana jest jedynie jako mechanizm zmieniający człowieka żywego w martwego.

Zabiegi reanimacyjne ukazały także, iż zjawisko śmierci obejmujące poszczególne tkanki, narządy, układy przebiega w różnym tempie i czasie, co w konsekwencji zaburza funkcjonowanie organizmu jako sprawnego, całościowego systemu, czy też układu. Poszczególne jego podsystemy mogą funkcjonować jeszcze mimo ustawiania pracy innych podsystemów.

¹ M. Sych, *dz. cyt.*, 7.

² *Tamże*, 7.

Istnieje jednak wspomniana granica, której przekroczenie powoduje tak wielkie zaburzenie w funkcjonowaniu całości systemu, czyli organizmu żywego, że funkcjonujące jeszcze podsystemy nie są zdolne do zachowania oczekiwanej sprawności i stabilności całego systemu. Okazało się, iż nieprzekraczalną granicą dla zachowania życia jest utrzymanie stałego krążenia krwi lub trwanie funkcjonowania mózgu. Tu są te podsystemy, których praca ma trwać nieprzerwanie. A zatem wprowadzono następującą definicję śmierci: „śmiercią człowieka jako zintegrowanej jednostki jest definitywne ustanie krążenia krwi lub definitywne ustanie funkcji mózgu”¹. Definicja ta traktuje alternatywne ustanie krążenia i śmierć mózgu, co oznacza między innymi, że może zaistnieć sytuacja postępującego procesu śmierci mózgu przy jednoczesnym funkcjonowaniu jeszcze krążenia krwi. Definicja ta sugeruje, iż przy takim całościowym traktowaniu człowieka jako zmarłego na podstawie kryterium krążeniowego lub kryterium śmierci mózgu, nie wszystkie komórki, nie wszystkie tkanki stają się martwe. Dodatkowo podkreśla się, że w kryterium śmierci mózgu decydującą jest śmierć pnia mózgu.

Jeszcze więc mocniej uznaje się, że „warunkiem koniecznym i wystarczającym, aby uznać śmierć mózgu jako całości, a tym samym śmierć człowieka”² jest właśnie śmierć pnia mózgu.

Przy klasycznym określaniu śmierci wystarczył czasowy brak dopływu tlenu spowodowany ustaniem krążenia krwi, by nieodwracalnie utrwaliły się zmiany w poszczególnych komórkach i narządach. Opieranie się na kryterium mózgowym także bazuje na nieodwracalnym ustaniu czynności pnia mózgu. Wśród uznanych przyczyn zaistnienia śmierci mózgowej wymienia się: wylew krwi do mózgu, uraz głowy, nieodwracalne i całkowite uszkodzenie mózgu zaistniałe w wyniku zatrucia lekami lub nagłego zatrzymania krążenia, pierwotny guz mózgu³.

Uznaje się, iż dowodem śmierci mózgu jako całości, oprócz objawów klinicznych, jest nieodwracalne uszkodzenie strukturalne mózgu przyczyniające zaniknięcie funkcji pnia mózgu, wpływ dostatecznie długiego czasu wobec nieskuteczności terapii.

¹ Stanowisko Krajowych Zespołów Specjalistycznych w dziedzinach: anestezjologii i intensywnej terapii, neurologii, neurochirurgii oraz medycyny sądowej w sprawie kryteriów śmierci mózgu; Ministerstwo Zdrowia i Opieki Społecznej, Departament Opieki Zdrowotnej, Warszawa, styczeń 1990 r.

² M. Sych, *Rozważania ...*, dz. cyt., 7.

³ Tenże, *Rozważania ...*, 7.

Obserwując pojawiające się próby definiowania śmierci łatwo daje się zauważyć, iż ewolucja samej definicji śmierci następowała w trzech etapach przejawiających się różnicami w ujmowaniu czynników kwalifikujących oraz samych sformułowań. I tak, w tak zwanej definicji klasycznej podkreślano ustanie krążenia krwi jako czynnik powodujący śmierć człowieka w ujęciu całościowym, przy czym część komórek może pozostawać jeszcze żywa. W tzw. definicji nowej podkreślano nieodwracalne ustanie funkcji mózgu traktowane jako jednoznaczne ze śmiercią innych układów. Wreszcie według tzw. definicji zmodyfikowanej nieodwracalne ustanie funkcji pnia mózgu oznacza śmierć mózgu jako całości, przy czym nie zawsze jest to równoznaczne ze śmiercią wszystkich komórek mózgu¹. Konsekwencją powyższych ujęć samej śmierci jest zrozumienie trwania życia w niektórych komórkach ciała ludzkiego, przy ustaniu procesów życiowych w najważniejszych jego narządach. Oznacza to także, że jako żywe mogą przez czas jakiś funkcjonować narządy lub komórki, które można wykorzystywać w zabiegach transplantacyjnych. To rozróżnienie między śmiercią człowieka jako całością, śmiercią mózgu jako całością a śmiercią poszczególnych komórek lub części mózgu pomaga uzmysłwić sobie fakt, że choć fragmenty ciała ludzkiego jeszcze funkcjonują, to on jako całość może być już uznany za martwego. Jako taki może być z etycznego punktu widzenia traktowany w kategoriach dawcy.

2.4. TRANSPLANTACJE

Rozważania skupione wokół procesu starzenia, umierania i śmierci wiążą się bardzo mocno z problematyką natury teoretycznej, czyli moralnej - eutanazją, oraz z problematyką natury praktycznej - transplantologią. Pierwsza wykraczając poza ramy podjętego tematu - obecnie nas nie interesuje, choć niewątpliwie ma bardzo ważne znaczenia zarówno z punktu widzenia biologii, medycyny, jak i etyki, druga - będąc logiczną konsekwencją prowadzonych rozważań stanowić będzie dalszy ciąg niniejszego opracowania.

Dotychczasowe rozważania skupiły się wokół próby określenia momentu ustania życia w organizmie ludzkim. Okazuje się, że nadal sformułowanie kryteriów śmierci budzi szereg wątpliwości. Przy określeniu śmierci człowieka jako całości, śmierci mózgu jako całości, mogą pozostawać żywe i funkcjonujące pewne komórki ciała, czy też pewne

¹ Tenże, *Rozważania ...*, 7

komórki mózgu. Takie całościowe, rzecz można systemowe podejście do zagadnienia śmierci człowieka, stwarza określone konsekwencje natury moralno-prawnej. Powyższe rozważania mają uzasadnienie w świetle stale wzrastających zapotrzebowań w dziedzinie transplantologii.

Przyjmuje się bowiem, iż istnieje szereg wskazań do przeprowadzania przeszczepów, dotyczących nie tylko biorców, ale także i dawców. Tych ostatnich stale brakuje. Formuluje się kryteria, jakie winny być spełnione przy uwzględnianiu dawców różnych narządów.

I tak, w przypadku zapotrzebowania na rogówki wymaga się, by dawca posiadał wiek od 5 do 70 lat, bez przebytej chirurgii oka. Samo pobieranie może nastąpić nawet do 12 godzin po zatrzymaniu krążenia. W przypadku nerki wiek dawcy, jak poprzednio, przy czym ważny jest brak ostatnich chorób układu, zachowanie krążenia krwi, diureza oraz poziom kreatyniny w surowicy nie przekraczający 2,5 mg%.

Dawcą trzustki może być osoba nie przekraczająca 55 roku życia, nie obciążona alkoholizmem, ani uzależnieniem od leków oraz bez przebytego zapalenia trzustki.

Wątrobę może oddać dawca poniżej 55 roku życia osobie o znanej wadze, wzroście ciała, obwodzie brzucha, o prawidłowych próbach wątrobowych oraz bez obciążeń chorobą alkoholową i uzależnień od leków.

Dawca serca nie może mieć więcej niż 50 lat życia. Wymagane są dane dotyczące wzrostu, wagi i obwodu klatki piersiowej, bez obciążeń pochodzącym chorobą serca, o prawidłowym rentgenie klatki piersiowej i zapisie EKG z 12 odprowadzeń. Wymaga się nadto, by nie było długotrwałej asystolii i przedłużonego podawania wysokich dawek dopaminy (>10 mg/kg/min).

W odniesieniu do możliwości przeszczepu płuc obowiązują te same kryteria, co i w przypadku serca oraz brak cech infekcji lub urazu płuc. Poza tym wymaga się niezbyt długiego okresu wentylacji mechanicznej.

Na koniec warto wspomnieć o możliwości przeszczepienia zastawek serca. W tym przypadku dopuszczalny wiek dawcy wynieść może najwyżej 60 lat. Zastawki pobrać można nawet w 24 godziny po zatrzymaniu akcji serca, o ile u dawcy nie stwierdzono choroby zastawek. Na marginesie warto dodać, iż w pierwszych dniach czerwca br. dokonano w Polsce pierwszych dwu operacji przeszczepienia zastawek serca biologicznie czynnych. W przypadku powodzenia należy spodziewać się częściowego rozwiązania problemu dawcy.

Ogólnie przyjmuje się więc, iż dawcą wymienionych narządów może być osoba między 5 a 70 rokiem życia o trwałym uszkodzeniu pnia mózgu powodującym jego śmierć, wymagająca prowadzenia mechanicznego oddychania, nie wykazująca objawów uogólnionego zakażenia, ani objawów choroby nowotworowej (poza pierwotnym guzem mózgu) z wykonanymi próbami na HBsAg/HiV (przy czym próby te można wykonać przed samą transplantacją), oraz z oznaczoną grupą krwi wykonaną w związku z koniecznością doboru odpowiedniego biorcy. Jest zrozumiałe, iż im dawca jest bardziej zdrowy, (a na takiego można liczyć przede wszystkim z wypadku), im bardziej młody, tym większe są szanse na udany efekt zabiegu. Oczywiście sprawą jest nadto cała sfera badań immunologicznych i dobór dawcy pod tym także kątem.

Takie są najbardziej ogólne zasady uwzględniane przy podejmowaniu decyzji o doborze dawcy. Rozważanie możliwości przeprowadzania zabiegów transplantacji w świetle zjawiska śmierci jest bardzo ważne. Świadomość istoty śmierci i znajomość mechanizmu nią kierującego powinno ułatwić pokonanie wszelkich barier moralnych i psychologicznych ogarniających rodziny potencjalnych dawców. Często zdarza się bowiem, iż pojawia się brak przekonania o faktycznym ustaniu życia, zwłaszcza wobec widoku pracującego stale sprzętu reanimacyjnego. Strach rodziny potencjalnego dawcy pojawia się z braku wiedzy i rozeznania, z braku przekonania, iż faktycznie doszło do zgonu i możliwe jest już pobranie narządów do przeszczepu. Przypomnijmy, iż śmierć nie może być traktowana jako zdarzenie lecz jako proces, w wyniku którego człowiek umiera jako całość z chwilą śmierci mózgu. Stale jeszcze brakuje dawców. Problem jej jest o tyle złożony, że poza trudnościami natury moralnej pojawiają się także problemy natury czysto technicznej, czy immunologicznej.

W Polsce wykonuje się przeszczepy od wielu lat. I tak nerki przeszczepiano od 1966 r., serca - od 1985 r., trzustki - od 1988 r., wątroby - od 1989 roku. Stale jednak, mimo powodzenia w wielu przypadkach, utrzymują się bariery natury obyczajowej i środowiskowej. Są to bariery wynikające z małego stopnia wiedzy i uświadczenia dotyczącego przekonania, czy śmierć dawcy rzeczywiście nastąpiła, i czy lekarze nie podejmują zbyt wczesnie pobrania narządu¹.

¹ W. Rowiński, J. Wałaszewski, *Bariery i szanse rozwoju przeszczepiania narządów w Polsce*, Służba zdrowia 43/44(2438/2439) 1994,9.

Kodeks Etyki Lekarskiej sformułowany w Warszawie w kwietniu 1944 roku zawiera w przyrzeczeniu lekarskim między innymi następujący tekst: „... przyrzekam:

- obowiązki te sumiennie spełniać;
- służyć życiu i zdrowiu ludzkiemu;
- według najlepszej mej wiedzy przeciwdziałać cierpieniu i zapobiegać chorobom, a chorym nieść pomoc bez żadnych różnic, ... , mając na celu wyłącznie ich dobro ...”. W założeniu więc tego kodeksu jest takie działanie lekarzy, które ma służyć każdemu choremu ku jego dobru aż do godziwej śmierci. Zadaniem lekarza jest ratowanie zdrowia i życia. Wobec tak sformułowanego kodeksu należy oczekiwać, iż nie jest możliwe pobranie narządu przed faktycznym ustaleniem śmierci człowieka jako całości, śmierci jego mózgu jako całości.

3. POJĘCIE MODELOWANIA I SYMULACJI

Komputery są bardzo często i raczej efektywnie wykorzystywane w procesie modelowania. Matematyzacja i modelowanie są ze sobą ściśle powiązane. Modelowanie stanowi jeden z istotniejszych etapów programowania. Z nim z kolei wiąże się proces symulacji.

3.1. WYJAŚNIENIE POJĘCIA MODELOWANIA I SYMULACJI

Model jest środkiem służącym do naukowego poznania i badania oryginału. Model i oryginał są pojęciami wzajemnie sobie odpowiadającymi. Model jest zatem takim przedstawieniem myślowym lub fizycznym obiektu oryginalnego, że zachodzi pewnego rodzaju podobizna. Model i oryginał są pojęciami względnymi, czyli ten sam przedmiot raz może być oryginałem, innym razem zaś - modelem. Modelowanie nie oznacza samego tylko konstruowania modelu, lecz cały cykl badawczy polegający na budowaniu modelu, jego weryfikacji, kolejnym tworzeniu następnego, lepiej oddającego rzeczywistość modelu. Modelowanie przebiega tu, zdaniem księdza Lubańskiego, po linii spiralnej. Powtarzają się te same, co do nazwy etapy, ale kolejno na coraz wyższych poziomach¹.

Nadto, z logicznego punktu widzenia, modelowanie może być pełne bądź niepełne. Z reguły mamy do czynienia z modelowaniem niepełnym, które charakteryzuje się cechą pewnego tylko, mniejszego lub też

¹ M. Lubański, *Informacja - system, dz. cyt.*, 111.

większego, przybliżenia. W zależności od rodzaju modeli mamy do czynienia z różnymi rodzajami modelowania.

Modelowanie, jak z powyższego widać, stanowi jedną z możliwych metod analizy naukowej bardziej złożonych i trudnych do prostego ogarnięcia zjawisk dynamicznych. W modelowaniu istotne jest uchwycenie układu zdarzeń, przedmiotów, procesów poprzez uproszczony układ zdarzeń, przedmiotów, procesów, wystarczająco podobny do oryginału pod ściśle określonymi warunkami. Modelowanie wykorzystuje się do całościowego badania struktur, funkcji żywych systemów. Poznawanie poprzez modelowanie dokonuje się w świecie istot żywych. Istotna rola przypisywana jest pewnym matematycznym formalizmom, czyli pewnym specyficznym odrębnościom funkcjonowania żywych systemów oraz uchwyceniu mechanizmów doprowadzających do całościowego efektu końcowego. Ale wyraźnie należy podkreślić, iż każdy model jest tylko wycinkiem badanej struktury, badanej funkcji, czy zjawiska. To wycinkowe spojrzenie ma wielkie znaczenie w przypadku próby modelowania i symulacji zjawisk biomedycznych. Oznacza to, iż te same funkcje, zjawiska można modelować na różne sposoby. Jednocześnie pamiętać należy, iż matematyczne ujęcia, ujmując wycinkowo poszczególne zjawiska, nie oddają wiernie istoty zjawisk z racji konieczności przyjmowania uproszczeń¹. Modelowanie zatem musi być traktowane jako metoda wspomagająca służąca wyjaśnianiu skomplikowanych zjawisk, zwłaszcza w przypadku, gdy nie jest możliwe przeprowadzenie eksperymentu na obiekcie oryginalnym. Stąd już tylko jednym krokiem okazało się eksperymentowanie za pomocą komputera, czyli metoda symulacji komputerowej. Wykorzystanie komputerów w badaniu żywych systemów i towarzyszących im zjawisk zyskuje coraz to nowych zwolenników. Istnieje wiele złożonych zjawisk charakteryzujących się przebiegiem w bardzo dużej lub bardzo małej skali czasu, powiązaniemi ze strukturami mikro lub makro, czy wreszcie niepoznawalnych z racji nienaruszalności obiektu, w jakim przebiegają (np. mózg żywego organizmu).

Tak więc z modelowaniem często wiążemy pojęcie symulacji, które ma co najmniej dwa znaczenia. W jednym symulacja to przybieranie wyglądu czegoś, w drugim - naśladowanie czegoś. W tym przypadku oryginałem jest obiekt symulowany, zaś modelem - obiekt symulujący. Już

¹ H. Mayer, *On the heuristic value of scientific models*, Philosophy of science 18(1951)2, 116 i nast.; E.H. Hutten, *The role of modes in Physics*, The Brit. Journal for the Philos. of Science 4(1954)16, 289.

z tej terminologii widać związek zachodzący między modelowaniem i symulacją. Nie zaleca się jednak stosowania zamiennego powyższej terminologii. Przez symulację zwykle rozumie się sposób użycia modelu, zwłaszcza eksperymentowanie z nim, a więc podkreślanie charakteru dynamicznego badania.

Szczególnie interesującą z racji rozważanego tematu możliwości modelowania i symulacji zjawisk biomedycznych wydaje się być propozycja rozumienia symulacji jako sposobu udowodnienia rozumienia działania obiektu rzeczywistego¹.

Symulację stosuje się wówczas, gdy nie jest możliwe bezpośrednie badanie oryginału z racji zbyt dużego stopnia jego złożoności, z braku innej metody badania, z racji zagrożenia dla samego oryginału. Podczas symulacji przedstawiane jest działanie i zachowanie systemu w sposób pośredni w oparciu o historię stanów modelu. Jest więc symulacja procesem konstruowania historii stanów modelu, który jest uważany za odpowiednik historii stanów oryginału. Symulacja jest procesem, czynnością, a nie przedmiotem².

Z racji istnienia poglądu głoszącego, iż symulacja wywodzi się z badań systemowych, należy symulację uznać za nowy styl postępowania naukowego. Tak samo należy potraktować badania symulacyjne, które są nowoczesnym sposobem przeprowadzania doświadczeń, eksperymentów w oparciu o przyjęty model. Symulacja bazuje na zasadzie podobieństwa i analogii. Pozwala na optymalizację działania systemu, dokonywanie zmian w modelu, inspirowanie do odkryć, stawiania hipotez, umożliwia badanie stopnia osiągalności oraz niesprzeczności postawionych w systemie celów. Ponieważ symulacja jest szybka, przeto może generować ogromną ilość różnorodnych informacji³. W procesie symulacji tworzony jest model odtwarzający oryginał. Zakres możliwości symulowania jest bardzo duży. Podejmuje się symulację procesów poznawczych, procesów psychicznych występujących podczas myślenia i rozwiązywania problemów, a także symulację w różnego typu poradnictwie. Podkreśla się fakt, iż we wszystkich tych sytuacjach wykorzystywany jest komputer pracujący w oparciu o wcześniej opracowany program. Można symulować procesy

¹ G.M. Weinberg, *Myślenie systemowe*, Warszawa 1979, 184.

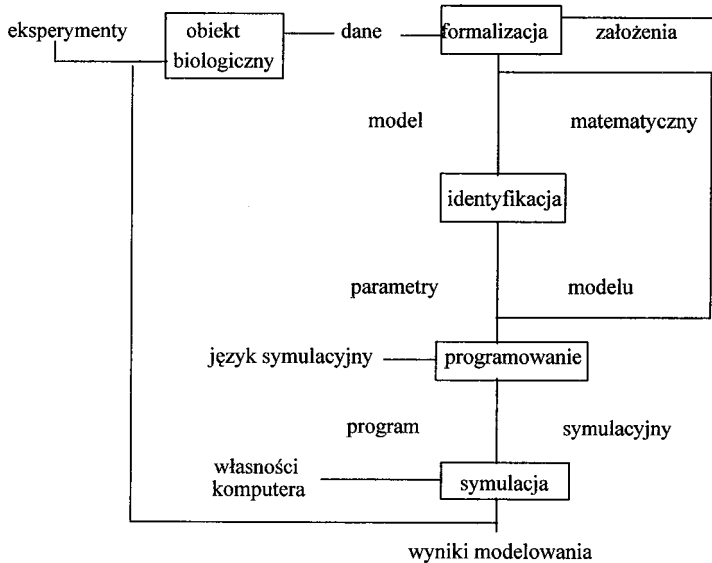
² M. Lubański, *Informacja - system*, dz. cyt., 115.

³ M. Lubański, *Znaczenie metodologiczne badań symulacyjnych*, w: Materiały V Ogólnopolskiego Konwersatorium nt. „Sztuczna Inteligencja” CIR'91, Siedlce - Warszawa 1991, 9-10.

uczenia, osiągać zadawalający poziom wyników, prędkość itp., ale zakłada się tzw. równowagę emocjonalną¹.

3.2. PRÓBA SKONSTRUOWANIA WYBRANYCH MODELI

Ogólnie przyjmuje się², iż proces tworzenia modelu symulacyjnego w odniesieniu do poznania zjawiska biologicznego, winno się ilustrować za pomocą schematu (wg R. Tadeusiewicza):



Z opisu przytoczonych zjawisk biomedycznych wynika, że ich modelowanie i symulacja mogą powodować pewne trudności metodologiczne. Same zjawiska są bardzo złożone, podobnie jak wszelkie zjawiska dotyczące przejawów życia. Przytoczony schemat ukazuje rolę eksperymentów wstępnych związanych z symulacją. Trudno sobie wyobrazić możliwość przeprowadzania jakichkolwiek eksperymentów w odniesieniu do zjawiska starzenia, umierania czy śmierci. Jest natomiast prawdopodobne i wręcz konieczne przeprowadzenie eksperymentów

¹ M. Lubański, *Informacja - system*, 121-131; też tenże: *Z zagadnień symulacji*, St. Phil. Chr. 12(1976)1, 101-112.

² R. Tadeusiewicz, *Biocybernetyka*, Wrocław - Warszawa 1988, 17.

symulacyjnych na modelu człowieka po uprzednim poznaniu i sformalizowaniu opisu przebiegu poszczególnych procesów.

Analizując powyższy schemat w odniesieniu do zjawiska biomedycznego, okazuje się, iż problemy pojawiają się już na poziomie określenia obiektu biologicznego. W zjawisku biomedycznym interesować nas będzie żywy organizm lub też będący na granicy życia wraz ze specyficznymi dla stanu, w jakim się znajduje, symptomami. W odniesieniu do procesów starzenia, umierania, śmierci i transplantacji trudność pojawia się już na poziomie wyspecyfikowania samego zjawiska (patrz obiekt biologiczny) oraz listy dostępnych danych. Dopiero pokonanie tej bariery pozwala na zrealizowanie kolejnych etapów modelowania i symulacji.

Powstaje pytanie: czy znamy wszystkie etapy procesów starzenia się, umierania, śmierci i transplantacji? Tylko bowiem w takiej sytuacji można dokonać procesu modelowania, a następnie symulacji wybranych zjawisk. Czy jest tak, że istnieje faktycznie jakiś jeden, ogólnie obowiązujący algorytm starzenia się, umierania i śmierci obowiązujący we wszystkich przypadkach zaistnienia życia? Tylko w przypadku transplantacji posługujemy się określonym, z góry uznanym sposobem postępowania. Lekarz musi znać dokładnie algorytm działania. Z tego właśnie powodu tak dokładnie opracowano wymagania dotyczące biorcy, dawcy, a także samego przebiegu zabiegu.

Zabiegi transplantacyjne mają niejako ze swojej natury charakter algorytmiczny. Oznacza to, iż można w sposób jednoznaczny i niemal pewny określić poszczególne fazy w ich przebiegu. W konsekwencji, można uznać zabiegi transplantacyjne za jedyne poddające się symulacji.

Lekarz wspomagany techniką, sprzętem typu respiratory, komputery itp. jedynie klinicznie rozpoznaje śmierć. Biologicznie zaś życie trwa nadal. Medycyna stoi wobec tego faktu nadal bezradna. Pojawiające się coraz to precyzyjniejsze określenia momentu śmierci klinicznej, tak naprawdę służyć mogą jeszcze innym celom: jak np. perspektywie wykorzystania biologicznie czynnych, żyjących jeszcze narządów zdolnych do zabiegów transplantacyjnych.

Lekarz wobec śmierci staje na wprost wielkiej Tajemnicy, wielkiej i nieznannej Mocy. Życie i śmierć są każdemu z nas dane jako dar. Człowiek staje się narzędziem do przekazywania życia, czasem - do złagodzenia bólu, zapewnienia godnego przejścia przez procesy starzenia, umierania, śmierci. Jednakże człowiek nie jest dawcą życia ani śmierci.

Nawet najdokładniejsze definicje śmierci formułowane z klinicznego punktu widzenia nie są pomocne lekarzowi w precyzyjnym określeniu momentu śmierci, ani zistnienia śmierci. Lekarz nie potrafi określić, kiedy nastąpi ostatni oddech. Może on jedynie stwierdzić, że ten proces oddychania już ustał.

A zatem modelowanie i symulowanie procesu śmierci jest niemożliwe do przeprowadzenia. Możemy post factum próbować symulować przebieg procesu umierania i śmierci, - konkretnego, indywidualnego zjawiska biomedycznego. Dokonamy tego na podstawie opisu wcześniejszych wydarzeń.

Interesujące z punktu widzenia metodologii i użyteczności byłoby skonstruowanie modelu symulującego wewnętrzne przyczyny starzenia się i śmierci człowieka w warunkach wytworzonej cywilizacji. Pamiętać należy, że żywy organizm traktowany, czy to jako system, czy jako układ nie może istnieć poza własnym środowiskiem. Pozbawienie go odpowiedniego środowiska jest równoznaczne doprowadzeniu go do śmierci. Interesujące wydaje się także ustalenie, do jakiego stopnia procesy starzenia się są odwracalne?

Czy można skonstruować taki model, który umożliwiłby symulację procesu starzenia (oznacza to konieczność bardzo precyzyjnego opisu mechanizmów starzenia) i uchwycenia granicy odwracalności jego przebiegu. Próba skonstruowania modelu symulującego zjawisko biomedyczne w świetle Winberowskiego określenia symulacji, może okazać się bardzo trudne, a nawet niewykonalne.

Czy posiadamy taką wiedzę na temat istoty zjawisk starzenia się, umierania, śmierci, transplantacji, by symulując udowodnić ich zrozumienie?

Wydaje się, iż oczekiwania nasze spełniają jedynie zabiegi transplantacji, a więc tylko one mogą być poddawane modelowaniu i symulacji.

Reasumując stwierdzamy, iż metoda symulacji w odniesieniu do zjawiska biomedycznego ma zawężony zakres stosowania. Jest metodą niezastąpioną w odniesieniu do symulacji indywidualnych przypadków badanych post factum, do eksperymentów przygotowujących wprowadzanie konkretnych ingerencji lekarzy w organizm człowieka (próby zabiegów transplantacji, wprowadzanie nowych leków, szczepionek itp.), do ze swej natury zalgorytmizowanych zabiegów transplantacyjnych,

wybranych fragmentów procesów starzenia, umierania i śmierci rozpoznawanych w oparciu o typowe symptomy (ustawianie oddechu, zanik reakcji rogówki itp.). Ta okrojona możliwość symulacji zjawisk biomedycznych wynika z ich natury. Będąc zjawiskami biologicznymi pozostają obserwowane lub sterowane z płaszczyzny medycyny. Fenomen życia i śmierci polega między innymi na tej ich unikalności, niepowtarzalności, indywidualności, a w konsekwencji - na wielkiej tajemnicy będącej odzwierciedleniem mocy Natury.

THE SIMULATION AND THE MODELLING OF BIOMEDICAL PHENOMENONS

Summary

The main aim of this article is to show a important role of the method of the simulation to looking for the essence of the biomedical phenomenon.

In this paper it is presented the notion of the biomedical phenomenon, some types of them: the senescence, the death and the transplantation. The simulation and the modelling of them is very difficult because there is no knowledge enough. The transplantation has algorismic nature. This kind of the biomedical phenomenon is possible to simulation because of this nature. The rest presented types of biomedical phenomenon are unkonown enough to do it. There are very complicated and individually specific. This specification impedes some simulation tests. The simulation of the death is possible to do only post factum.