

REFERATE GENERALE

Clinica II. de boli contagioase, București (cond.: prof. M. G. Balș)

TEORIA INFORMAȚIEI ÎN MEDICINĂ*

M. G. Balș

În ultimele decenii am asistat la progrese imense în toate domeniile științei și tehnicii. Majoritatea progreselor înfăptuite în tehnică, în telecomunicații, transporturi aeriene și cosmice, în sisteme automate și cibernetice nu ar fi fost posibile fără o dezvoltare paralelă a sistemelor de emisie, transmisie și recepție de tot felul de date. Totalitatea acestor date, de natură foarte diferită, emise, transmise și recepționate, pot fi cuprinse în denumirea generică de *informație*.

În studii nenumăratele fenomene de interdependență, ce se produc în biologie, ne întâlnim la tot pasul cu noțiuni legate de emisia, transmisia și recepția de informații. Din aceste motive studiul teoriei informației a luat în ultimul timp și în biologie, o extindere uriașă servind totodată ca metodă de investigație și de control, în plus ea ne permite să înțelegem mai bine o serie de fenomene de interdependență care înainte nu erau explicate satisfăcător.

În cele ce urmează vom da mai întâi câteva noțiuni introductive privind procesul cunoașterii, modele și modelarea. În continuare vom prezenta unele noțiuni simple despre teoria informației, însoțite de câteva exemple lămuritoare și vom arăta unele aplicații ale acestei teorii în general și în medicină în particular.

★

În procesul cunoașterii noi folosim multe metode de cercetare și de control. Studiul morfologic static „cum este alcătuit ceva” se îmbină cu studiul dinamic: „cum funcționează acel ceva”. Aceste metode se ajută și se completează între ele ca două laturi ale aceluiași proces de cunoaștere.

Aceste cercetări mai sînt îndrumate, dezvoltate și întregite de ipoteze, adevărate extrapolări făcute cu gândul de la cunoscut către necunoscut. Ipotezele trebuie transpuse în *experiment* sau în *practică*, care vor întări, respinge sau modifica ipoteze. De multe ori experimental dă naștere la noi ipoteze.

Pentru experimentare noi folosim o *modelare*. Prin modelare înțelegem încercarea de a rezolva o problemă asemănătoare după legi similare prin studiul experimental al unui alt fenomen similar, mai simplu și mai accesibil, dar care să se desfășoare în interiorul unor parametri. Modelarea ne dă posibilitatea de a studia un fenomen în amănunțime și mai ales de a dovedi legătura dintre cauză și efect.

Tot modelare este și compararea unui fenomen complex cu unul mai simplu așa cum adesea se face în scop didactic.

Modelarea prezintă însă și pericolul de *interpretări eronate* atunci cînd parametrii fenomenului real sînt deosebiți de aceia ai modelului. Transportarea mecanică a rezultatelor observate pe model, în explicarea fenomenelor complexe întâlnite în biologie, ne expune nu numai la greșeli de interpretare dar și la erori ideologice.

Interdependența fenomenelor este o lege generală care se aplică în toate domeniile fizicii, chimiei, biologiei și altele. Toate aceste fenomene de interdependență pot fi exprimate sub forma unor transmiteri reciproce de informații.

* Comunicare prezentată în cadrul U.S.S.M. la Tirgu-Mureș în decembrie 1963.

Prin *informație* înțelegem totalitatea factorilor fizici, chimici, biologici etc. care asigură o interdependență dintre doi factori, două fenomene, dintre doi „parteneri”. Teoria informației ar mai putea fi definită ca teoria care se ocupă cu fenomenele de interdependență, folosind un artificiu de vorbire și o modelare care ne face mai accesibilă studiarea acestor fenomene.

Pentru studii mai amănunțite al fonemenelor de interdependență, în biologie uneori vom putea recurge cu folos la modele preluate din tehnică. Rezultatele culese de la model, împreună cu datele morfologice și dinamice (funcționale) obținute din studii direct al fenomenului, vor putea contribui la confirmarea sau infirmarea unor ipoteze de lucru.

Vom figura aici alăturat trei exemple de modele tehnice care au oareșicare analogii cu unele fenomene observate în biologie (fig. 1).

Este vorba de un sistem fizic sau mecanic de influență reciprocă între doi parteneri: un sistem automat și un sistem de conducere și control sau cibernetic.

Toate acestea au comun transmiterea de informații. În sistemele automate, *efectul* poate influența *cauza* printr-un dispozitiv de conexiune inversă (sau „feed back”). Sistemele de conducere și control (cibernetice) se caracterizează prin faptul, că în urma analizei rezultatului, dacă el nu corespunde programului, se pot alege mai multe soluții pentru îndreptare. Aceasta implică, pe lângă un dispozitiv de conexiune inversă și un „depozit de soluțiuni” sau o „memorie”.

În oricăre sistem în care se produce o transmitere de informație (fig. 2) distingem următoarele părți componente, care pot fi în cazul de față în biologie, mai mult sau mai puțin diferențiate: *doi parteneri* (unul emițător și unul receptor) între care se transmite *informația*. Informația propriu-zisă poate fi de natură fizică, mecanică, chimică, biologică sau chiar foarte complexă.

Pentru ca informația să poată fi transmisă, trebuie să fie exprimată într-un anumit fel. Informația astfel exprimată este transmisă („vehiculată”) sub forma unui *mesaj* (ca o știre, veste). Mesajul poate fi reprezentat printr-un lucru, substanță, și exprimat într-un *cod*. Emițătorul trebuie deci să fie completat cu un „traducător” sau *codificator* care este capabil să codifice mesajul pentru a-l face transmisibil. Călea parcursă de mesaj între cei doi parteneri se cheamă *canal*. Receptorul la rândul său este completat (sau are chiar el această însușire), de un al doilea traducător sau „decodificator”.

În privința codului, adică al modului de exprimare a mesajului, el poate fi — teoretic vorbind — exprimat în două feluri: „simbolist” sau „atomist” (folosim cuvântul atomist în sensul filozofic al cuvântului, fiindcă mesajul este compus dintr-un număr limitat de feluri de unități elementare: „atomi”). Spre pildă scrierea egipteană și chinezească sînt *simboliste*, căci fiecare noțiune își are simbolul ei. Scrierile cu alfabet pot fi considerate atomiste căci toate noțiunile, cît de complicate ar fi ele, toate se exprimă printr-o anumită secvență a unui număr limitat de unități elementare: „atomi” reprezentate prin literele alfabetului.

În tehnică, pentru avantajele practice ce le reprezintă, se folosește deseori un cod binar cu numai doi „atomi”, cu numai două semne: + sau —. În biologie, informațiile pot fi transmise în multiple coduri atât simboliste cît și atomiste, complexe sau binare.

Pe lângă aceste părți componente ale sistemelor de informație mai semnalăm două aspecte deosebit de importante și anume *viteza de transmitere a informației* (timpul de latență) și *posibilitățile cu cauzele de perturbare* în transmiterea informației.

Păstrarea, depozitarea sau „îmagazinarea” informației se cheamă „memorie”. Ea poate fi de mai multe feluri, în funcție de felul mesajului, de codul după care este exprimată și de durata de păstrare a informației. În biologie, pe lângă multe forme de „memorie”, semnalăm ca deosebit de însemnată păstrarea unor informații (genetice, virotice, imunologice etc.) sub o formă codificată într-un mesaj de acizi nucleici, care în anume condiții poate fi reproductibilă și transmisibilă.



Vom căuta acum să studiem, sau mai de grabă să exemplificăm, unele fenomene biologice, folosind limbajul sistemelor tehnice de informație și să recurgem la o „modelare” pentru a descrie unele detalii ale fenomenelor de interdependență și transmitere a informației în biologie.

În toate fenomenele biologice de relații cu mediul înconjurător, de adaptare sau de menținere a integrității și a funcțiilor biologice a viețuitoarelor, se pot distinge foarte numeroase sisteme de informație: sisteme automate de menținere a unor constante biologice și a homeostaziei; sisteme de conducere sau de tip cibernetic. În toate putem distinge părțile componente amintite în modelele tehnice, iar dintre acestea au fost studiate mai amănunțit uneori mesajele, altele codurile, canalele, traducătorii sau analizorii, iar altele conexiunile inverse.

De pildă, în transmiterea nervoasă sînt studiate în special canalele și conexiunile inverse; în fenomenele legate de reglarea circulației, de sistemele endocrine și în altele legate de homeostazie, s-au studiat aspectele de conducere și control caracteristice sistemelor cibernetic.

În toate aceste cazuri folosirea teoriei informației ne poate servi la o înțelegere mai bună și la aprofundarea cunoștințelor.

Transmiterea informației uneori se poate face mai simplu, dar de multe ori ea se face mult mai complex prin intermediul unui lanț întreg de traducători, coduri și canale. De pildă, informația vizuală este recepționată prin sisteme fizico-optice, primul canal fiind mediile transparente ale aerului și ale ochiului. În retină se produce o recodificare, din procese fizice în procese chimice (foto-chimice) și apoi din chimice în nervoase. Informația nervoasă codificată într-un sistem binar este transmisă pe canalul nervilor optici pînă la creier unde este cu siguranță recodificată, (cel puțin pentru memoria vizuală) din codul binar al mesajului nervos, în codul cu patru litere al acizilor ribonucleici.

Lăsînd la o parte multe alte sisteme de informație și în special informația nervoasă, care a fost deosebit de bine studiată, ne vom opri numai asupra a trei probleme de mare însemnătate medicală și anume: transmiterea informației genetice, transmiterea informației virale în infecția virală și transmiterea informației imunobiologice în procesele antigen-anticorp.

Transmiterea informației genetice constituie o problemă legată de cele mai importante aspecte ale biologiei și patologiei; creșterea și reproducerea substanței vii. În acest domeniu s-au făcut în ultimii ani descoperiri extrem de interesante care au pus studiilor genetice baze materiale solide.

În figura nr. 3 redăm în mod schematic transmiterea informației genetice de la o generație la alta și influența mediului înconjurător.

Prin „ereditate” se înțelege trecerea unor caractere morfofuncționale-biologice de la o generație de viețuitoare la cea următoare. Disciplina care se ocupă cu studiul fenomenelor ereditare se cheamă „genetică”. Genetica, în accepțiunea actuală a cuvîntului, deși denumirea poate fi criticată, nu are nimic mistic și nici miraculos. Ea se ocupă cu fenomene reale, obiective, materiale.

În genetică vom studia: substratul material al transmiterii informației genetice (în ce constă mesajul, care sînt codurile folosite, traducătorii etc.), factorii perturbatori care determină modificarea informației genetice și rezultatele observate (boli ereditare, vicii metabolice transmisibile etc.).

a) *Substratul material al transmiterii informației genetice* este studiat de geneticieni, microbiologi și virusologi. El este constituit din complexul biologic conținut în materia vie. Un rol deosebit de însemnat îl au acizii nucleici, fără ei orice transmitere de informație genetică nu este posibilă, orice modificare a lor va atrage după sine modificări ale viitoarei ființe (fig. 4).

b) *Factorii perturbatori* sînt studiați în special în agrotehnică și zootehnică pentru obținerea în mod voit a unor plante sau animale cu însușiri mai folositoare.

c) *Rezultatele genetice* observate, sînt studiate în special în medicină pentru a se ajunge la prevenirea sau tratarea lor.

Folosind mai departe modelarea și limbajul sistemelor tehnice de informație, vom putea analiza pe rând care este substratul material al transmiterii informației genetice, cine constituie mesajul și care sînt codurile folosite de-a lungul șirului complex de fenomene biologice înlănțuite.

Atragem atenția că *acizii nucleici, proteinele și enzimele* sînt substanțele cele mai caracteristice substanței vii. Influența reciprocă continuă, permanenta lor transformare și activitate stau la baza fenomenelor vitale.

Aceste trei grupe de substanțe toate sînt macromoleculare, azotate, termic denaturabile și toate intră în noțiunea de „albumină” așa cum era ea cunoscută pe vremea lui Engels.

În domeniul transmiterii caracterelor pe calea acizilor nucleici, a enzimelor și a proteinelor, se cunosc astăzi multe date fizice și chimice. Se cunosc multe despre felul și dinamica proceselor biologice înlănțuite, despre coduri, traducători, despre lanțul codificărilor și recodificărilor în lungul proceselor de transmitere a informațiilor genetice, despre canale, despre punctele și modurile de acțiune a factorilor perturbatori și inductori capabili să întrerupă, să denatureze, să dea un non sens, să falsifice sau să păstreze pe timp mai mult sau mai puțin îndelungat informația genetică.

Aici se plasează de fapt noile cuceriri ale științei din ultimii ani, a descoperirilor pasionate ce dau o bază materială din ce în ce mai solidă în înțelegerea altă a fenomenelor de creștere și multiplicare a substanței vii, a geneticii, a interdependenței fenomenelor ce asigură homeostaza, cît și a fenomenelor inductoare și perturbatoare ce stau la baza variabilității biologice și a viciilor metabolice în-născute etc.

Substanța vie este compusă dintr-o serie de substanțe chimice dintre care cele mai caracteristice sînt acizii nucleici, proteinele și enzimele. De ele depind în ultima instanță și toate celelalte substanțe, deoarece în substanța vie se produc continuu multiple procese anabolice, catabolice și energetice ce se contopesc într-un complex de fenomene interdependente, toate mijlocite de diferite enzime.

Azi știm că există un număr imens de acizi nucleici, proteine și enzime diferite. Fiecare acid nucleic (deoxiribo-nucleic sau ribo-nucleic) și fiecare proteină sau enzimă are caracterile sale proprii specifice pentru speță, individ, țesut sau celula din care face parte.

Cercetări amănunțite în ultimele decenii au arătat că toți acizii deoxiribo-nucleici (ADN), indiferent de proveniența lor, au o structură asemănătoare, în sensul că sînt constituiți din lanțuri macromoleculare de nucleotizi compuși din alternarea de acid fosforic cu o deoxiriboză. De această deoxiriboză se leagă cîte o bază azotată purinică (adenină /A./, sau guanină /G./) sau pirimidinică (timină /T./, sau citozină /C./). Ceea ce diferențiază un acid deoxiribonucleic de altul nu este decît numărul, proporția și secvența acestor patru baze (A.G.T.C.). Această constatare a permis să se facă o comparație între acizii nucleici și scrierea cu literele alfabetului. După cum în scriere, ceea ce diferențiază un text de altul este doar numărul și secvența diverselor litere (literele alfabetului), tot așa ceea ce diferențiază un acid deoxiribonucleic de altul nu este decît doar numărul și secvența celor 4 baze (cele 4 „litere” ale alfabetului acizilor deoxiribonucleici). Comparația dintre un acid deoxiribonucleic și o scriere nu este doar o fantezie gratuită; ea are un înțeles mai profund, întrucît noi știm acum că acești acizi deoxiribonucleici (ca și o scrisoare) sînt purtătorii unui mesaj care conține o serie întreagă de informații genetice. În privința acizilor ribonucleici (A.R.N.) ei au aceeași structură cu deosebirea că în locul deoxiribozelor din acizii deoxiribonucleici, conțin o riboză și că în locul timinei au uracil (U); cele patru „litere”, al căror număr și secvență este variabilă, vor fi deci A.G.U.C.

În fine, în ce privește proteinele, știm că toate se compun din polipeptide, care toate au aceleași elemente (cca. 20 aminoacizi diferiți) și că ceea ce deosebete o proteină de alta este doar numărul și secvența aminoacizilor (alfabetul

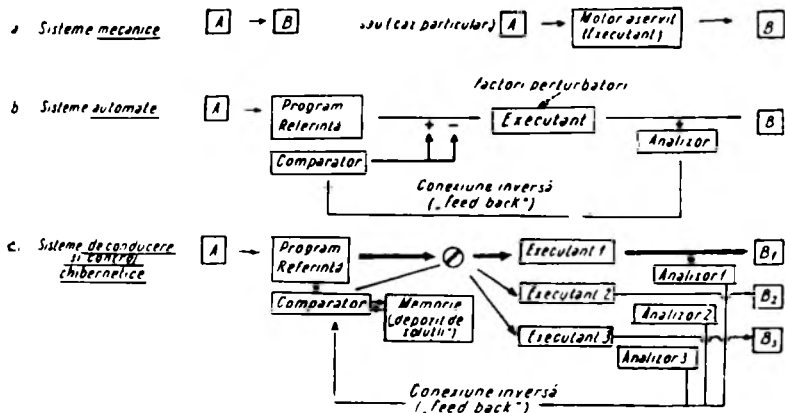


Fig. nr. 1: Exemplificări tehnice (modele).

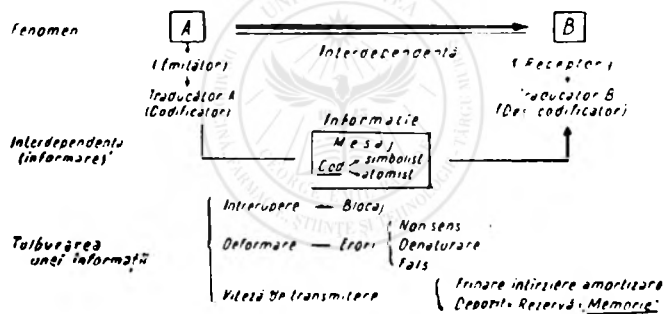


Fig. nr. 2: Schema unui sistem de informare (între doi parteneri).

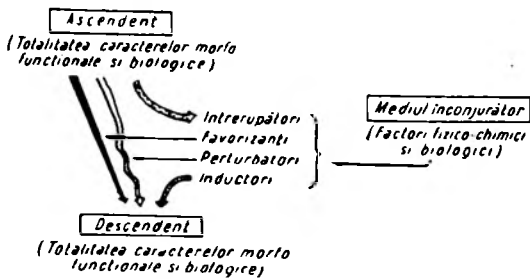


Fig. nr. 3: Transmiterea informației genetice.

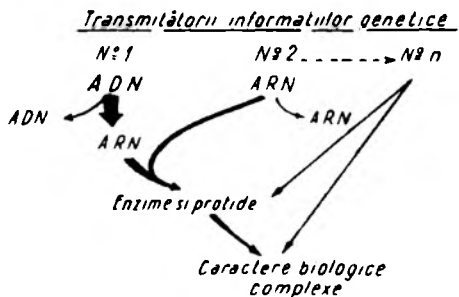


Fig. nr. 4. Substratul material al transmisiei informației genetice.

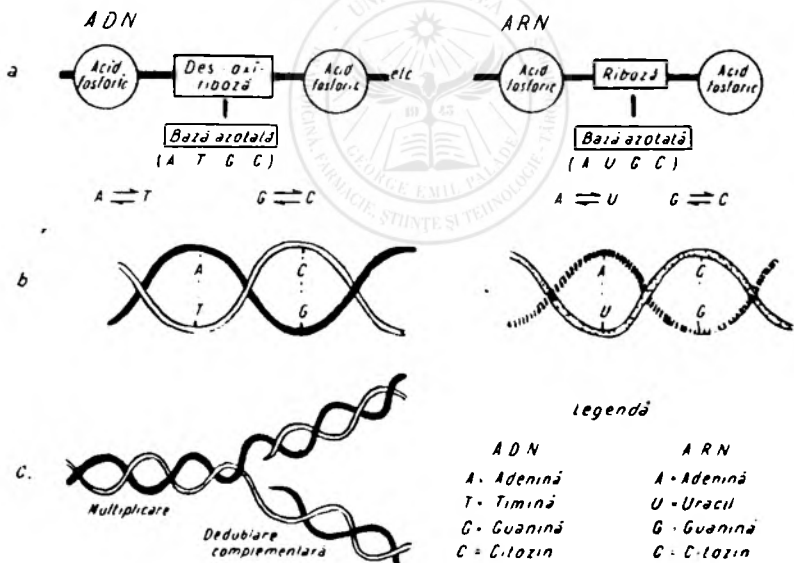


Fig. nr. 5. Acizii nucleici (schematic)

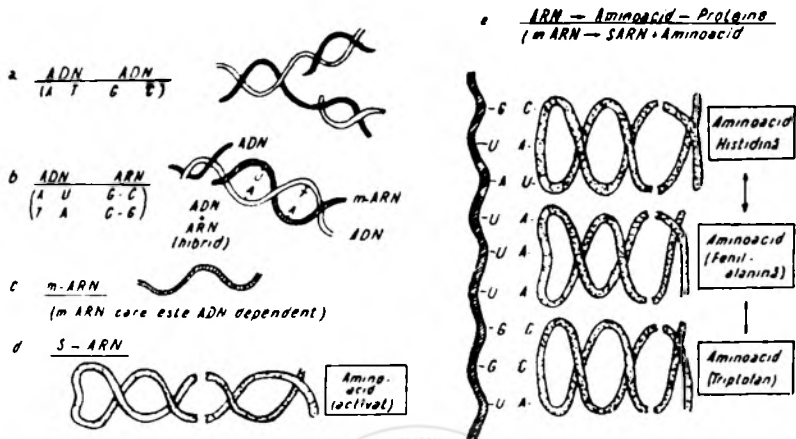


Fig. nr. 6: Acizii nucleici (transmiterea informației).

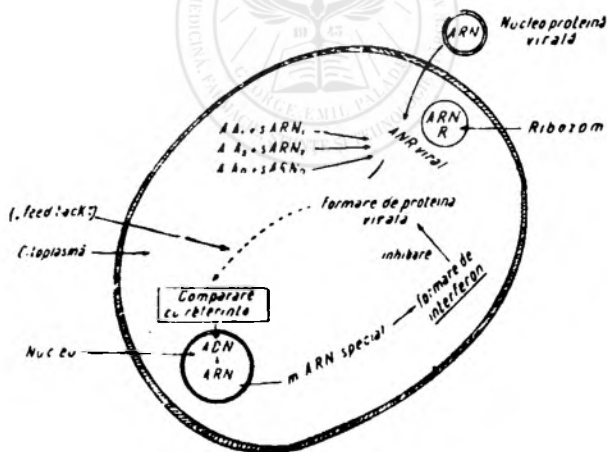


Fig. nr. 8: Circulația informației în celulă (schematic) informația acizii-nucleici ↔ proteine.

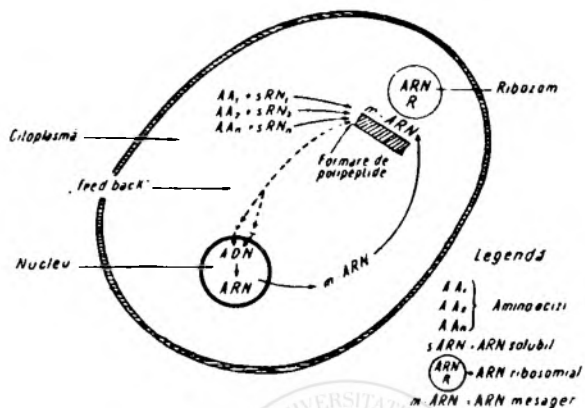


Fig. nr. 9: Multiplicarea virală (și inhibarea ei eventuală) (schemă simplificată).

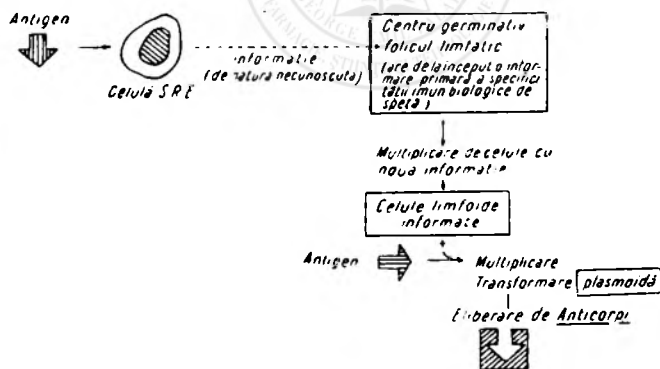


Fig. nr. 10: Informația imunobiologică (un parte nelămurită).

proteinelor se va compune din cca. 20 „litere” corespunzătoare cu aminoacizii din compoziția lor).

— Enzimele au o deosebită importanță biologică. Ele mijlocesc toate transformările chimice ce se petrec în interiorul substanței vii. Enzimele, după cum se știe, nu sînt altceva decît proteine care se leagă specific de substratul de transformat și care au în plus o grupare chimică relativ simplă (coenzimă) care asigură felul transformării chimice, caracteristică enzimei respective. (Se poate deci spune că enzimele folosesc codul proteinelor, avînd o literă în plus, corespunzînd coenzimei respective).

Din noianul de fapte și observații științifice acumulate în ultimii ani, reiese în mod neîndoios că acizii dezoxiribonucleici (ADN) pot purta o serie de informații hotărîtoare pentru sinteza acizilor ribonucleici (ARN) și că aceștia la rîndul lor au un rol hotărîtor în sinteza proteinelor și a enzimelor.

Reprezentăm alăturat, în mod schematic, un fragment de acid dezoxiribonucleic și unul de acid ribonucleic (fig. 5 a).

Acidul dezoxiribonucleic se găsește în natură de obicei sub forma unor lanțuri în duble spirale, cu bazele purinice și pirimidinice, legate prin punți de hidrogen cu bazele lanțului opus. Orientarea și forma spațială a bazelor, precum și locurile în care se pot face punți de hidrogen, permit numai anume legături posibile; astfel în fața adeninei se va găsi totdeauna timină, iar în fața guaninei se va găsi totdeauna citozina și invers. Dublul lanț de ADN apare deci ca două lanțuri complementare, ca două imagini, una în oglindă, ca două fotografii, una pozitivă și una negativă. Mesajul unui lanț se va oglindi complementar în lanțul opus (fig. 5 b).

Multiplicarea acidului dezoxiribonucleic se produce într-un prim timp prin dedublarea lanțului de acid dezoxiribonucleic și apoi prin formarea cite unui „vis a vis” complementar (fig. 5 c). Prin formarea, pe matricea unui lanț simplu de acid dezoxiribonucleic, a unui lanț complementar, de data asta însă în cod de acid ribonucleic, se va obține un lanț hibrid ADN—ARN, iar în mod secundar un acid ribonucleic „comandat” în funcție de mesajul acidului dezoxiribonucleic primitiv, cu deosebirea că în dreptul adeninei din lanțul ADN va apare uracil în lanțul ARN (fig. 6 a, b). În felul acesta se produce transcrierea din cod ADN în cod ARN. Acest ARN care este produsul unei ribonucleopolimeraze ADN dependentă, transmite mesajul de la ADN către ribosomi unde este locul de formare al proteinelor. Acest ARN poartă deci denumirea de acid ribonucleic „mesager” (m ARN) și are o viață extrem de scurtă, cca. 2—3 secunde.

Pe de altă parte, în citoplasmă, fiecare aminoacid care este activat (fosforilat) se leagă specific de *anumiți* acizi ribonucleici de mărime moleculară mică (compus din cîțiva zeci de nucleotizi), solubili în citoplasmă și se cheamă acizi ribonucleici solubili (s-ARN). Avem atîtea feluri de s-ARN cîte feluri de aminoacizi avem (cca. 20 de feluri) (fig. 6 d). Fiecare din acești s-ARN legați de aminoacidul respectiv vor asigura transferul aminoacizilor pînă la nivelul ribosomilor. De aceea ei mai poartă și numirea de ARN de transfer. La nivelul ribosomilor, acizii nucleici de transfer, fiecare împreună cu aminoacidul respectiv, se vor orîndui într-o anumită secvență și anume, complementară cu aceea a ARN-ului mesager (fig. 6 e). Vedem deci că mesajul care a fost la început trecut din cod ADN în cod m-ARN (A→U; T→A; G→C; C→G), a fost trecut ulterior din cod de m-ARN în cod complementar s-ARN și apoi în cod de aminoacizi ceea ce corespunde cu formarea unui anumit polipeptid și deci a unei anumite proteine.

În privința modalității de traducere din cod ARN în cod de aminoacizi (polipeptizi, respectiv proteine), numeroase fapte și experiențe din ultimii ani par să indice că aceasta se face potrivit unui cod liniar, în care la trei „litere” alăturate din codul acizilor nucleici (triplet de baze purinice sau pirimidinice) din mesajul ARN, îi corespunde o „literă” (un anume aminoacid) din mesajul de proteine.

Toate încercările de a descifra acest cod, au rămas sterile pînă acum aproape doi ani, cînd s-a arătat că un polinucleotid sintetic, care conține ca singură bază

uracilul (poliuracil), plasat într-un mediu apropiat, în care are la dispoziție toți aminoacizii activați și energia necesară, determină sinteza unui singur polipeptid compus numai din fenil-alanină. S-a dedus deci că la tripletul U.U.U. din codul ARN, îi corespunde fenil-alanina din codul proteinelor. Pornind pe calea aceasta, două echipe de cercetători lucrând separat, au reușit să propună soluții plauzibile pentru aproape toți aminoacizii (fig. 7; tabelul 1).

Tabelul nr. 1.
Codul „genetic“ (ordinea bazelor în triade nu este stabilită)

Aminoacid		Cod de ARN	
Denumirea	Simbol	Nirenberg și Matthaei	Ochoa
Alanină	ala	U.C.G.	U.C.G.
Arginină	arg	U.C.G.	U.C.G.
Acid asparagic	asp	—	U.A.G.
Asparagină	asp—NH ₂	—	U.A.A.
Cisteină	Cys	U.U.G.	U.C.G.
Acid glutamic	glut	U.A.S.	U.A.G.
Glutamină	glut—NH ₂	U.C.G.	U.C.G.
Glicocol	gly	U.G.G.	U.G.G.
Histidină	his	—	U.A.C.
Isoleucină	ileu	U.U.A.	U.U.A.
Leucină	leu	U.U.C.	U.U.C.
Lisină	lys	U.U.A.	—
Methionină	met	U.G.G.	U.A.G. (?)
Fenil alanină	phe	U.U.U.	U.U.U.
Prolină	pro	(C.C.C. ?)	U.C.C.
Serină	ser	U.U.C.	—
Treonină	the	—	U.C.C.
Triptofan	try	U.G.G.	U.G.G.
Tirozină	tyr	U.U.A.	U.U.A.
Valină	val	U.U.G.	U.U.G.

De la prima vedere se constată însă două imperfecțiuni flagrante și anume, o frecvență mult mai mare de uracil decât se întâlnește în ARN naturali, și faptul că același triplet poate corespunde cu mai mulți aminoacizi și invers, același aminoacid poate fi reprezentat prin mai multe triplete. Aceste constatări au dat naștere la o adevărată avalanșă de lucrări de control și acum se propun o serie de coduri îmbunătățite, din care reținem ideea codului cu trei litere, dintre care doar două obligatorii și una variabilă.

Printre numeroasele lucrări de control nu vom semnală decât unele care tind să arate *veracitatea* codului propus. Se știe de pildă că dacă un acid ribonucleic este tratat, în anumite condiții, cu acid nitros, se produce o dezaminare care transformă citozina în uracil și adenina în hipoxantină (bază nenaturală dar care are o configurație asemănătoare cu guanina). Aceasta ar însemna că acest acid ribonucleic modificat (U în loc de C și G în loc de A) va forma o proteină modificată și ea, în care în loc de isoleucină (U.U.A.) vom avea valină (U.U.G.), în loc de serină (U.U.C.) vom avea fenil-alanină (U.U.U.) și în loc de prolină (U.C.C.) vom avea leucină (U.U.C.), ceea ce s-a și constatat.

O altă întrebare de mare însemnătate este următoarea: acest cod este universal, valabil pentru toate viețuitoarele, sau este valabil numai în anumite condiții? Există o serie de argumente care pledează pentru universalitatea codului. Vom

prezența trei experiențe care par convingătoare. Dacă într-un sistem reconstituit in vitro, compus din aminoacizi activați, acizi ribonucleici de transfer, adenozin trifosfat și ribosomi de colibacili, se plasează acid ribonucleic de virus de mozaic al tutunului sau de *flag F 2* va apare proteina specifică acestui virus sau a bacteriofagului. De asemenea, dacă în condițiile de mai sus se introduce ca model un ARN de reticulocite, va apare hemoglobina.

Am putea spune că în citoplasma reconstituită a unui colibacil, în funcție de mesajul ARN introdus, se poate forma fie o proteină de bacteriofag, fie o proteină de virus vegetal, fie o proteină de mamifer.

Din cele expuse mai sus ne putem imagina următoarea cale de transmitere de informație în substanța vie: ADN → m-ARN → ARN ribosomal. Aici se grupează, într-o secvență ordonată de m-ARN, aminoacizii transferați de către s-ARN realizând sinteza unei proteine (sau eventual a unei enzime) (fig. 8).

— În substanța vie, ca și în sistemele automate, ne mai rămâne de studiat și conexiunea inversă, aceea care asigură interdependența metabolică și un echilibru în sinteza enzimelor și a proteinelor.

— Proteinele și enzimele, (fie direct, fie mai degrabă prin intermediul unor produși de metabolism), prin concentrația lor în citoplasmă influențează retrograd, grație unor conexiuni inverse, procesele înălțuite descrise mai sus și care participă la propria lor sinteză.

Acțiunea de inhibare sau de stimulare (de inducere) se poate exercita chiar asupra informației primare din ADN și anume, în primul caz prin „repressor”, iar în al doilea prin „operon”. Inhibarea sintezei se mai produce atunci când printr-un viciu oarecare proteina sintetizată este diferită de informația primară din ADN („când produsul nu corespunde comenzii”).



În cazul *infecției virale*, în celula parazitată se produce o perturbare metabolică caracterizată printr-o sinteză vie de substanțe nenaturale celulei și anume acid nucleic viral și proteină virală. Putem deci spune că infecția virală este similară cu introducerea unei noi informații în celulă.

Se știe că după pătrunderea corpusculului viral în celulă, învelișul proteic al virusului (capsidia) este metabolizat, iar acidul nucleic viral (ca de altfel și acidul nucleic propriu al celulei) găsește în celulă un mediu prielnic atât pentru multiplicarea sa, cât și pentru a incita formarea unei proteine corespunzătoare și anume proteina virală. În acest caz acidul nucleic viral joacă chiar el rolul (sau induce formarea) unui ARN mesager. (Acest m-ARN este anormal în sensul că nu este dependent de ADN al celulei). Dacă sinteza de proteină virală (anormală față de celula parazitată) este foarte vie, va duce la distrugerea celulei gazde, iar dacă sinteza este mai moderată, va determina prin mecanismul de conexiune inversă, mai sus amintit, în mod indirect propria ei inhibare.

Această inhibare se poate face prin intermediul unui factor celular nespecific care se cheamă „interferon”. Intr-adevăr s-a dovedit că producerea de interferon poate lua naștere atunci când introducem într-o celulă o cantitate nemortală de acid nucleic anormal (fie chiar acidul nucleic propriu al celulei, dar după o anumită modificare a lui).



În cazul informației *imuno-biologice*, pătrunderea în organism a unui antigen produce o serie de fenomene încă insuficient lămurite. Ceea ce pare să reiasă din datele de care dispunem este că după ce antigenul se fixează pe celulele sistemului reticulo-endotelial (în special pe macrofage), o anumită informație (cu siguranță de natură chimică) ajunge în centrul germinativ al ganglionului limfatic tributar și determină acolo o înmulțire de celule rotunde cu citoplasmă clară. Aceste celule se împing treptat către periferia foliculului limfatic unde iau aspectul unor limfocite. Parte din ele sînt antrenate în torrentul limfatic și sanguin. Aceste ce-

lule, care aparent nu au nimic deosebit, totuși sînt „informate” într-un fel de către antigen, căci un nou contact cu același antigen (fie că el a persistat în organism, fie că a pătruns pentru a doua oară), va determina o înmulțire a acestor celule, transformarea lor plasmoidă și consecutiv eliberarea de anticorpi (fig. 10).

În acest caz, deși calea (sau „canalul”) informației imunobiologice este în bună parte cunoscută, nu s-a putut preciza nici care este substratul material al mesajului și nici care este codul folosit.

Spre deosebire de cazurile precedente în care cunoaștem multe date privitoare la transmiterea unui mesaj pe cale ADN→ARN→proteine, în cazul transmiterii informației imunobiologice nu putem încă înțelege etapa dintre antigen (o proteină) și acidul ribonucleic care va determina formarea proteinei de anticorp în așa fel încît să-i confere însușirea de a se alipi specific cu antigenul.

Mai departe, unirea specifică între antigen și anticorpul respectiv poate fi privită ca un fenomen de interdependență, de „informare”, între doi parteneri.



Știm că nenumărate tulburări în transmiterea informației genetice, vicii de metabolism și tulburări de coordonare biologică printre care și neoplaziile, au la baza lor tulburări ale sistemelor de informare, tulburări de codificare și recodificare, alterarea sistemelor de referință și a conexiunilor inverse.

O serie de boli cu cercuri vicioase auto-agresive și auto-întreținute, pot fi considerate ca boli de „informație” și de „automatizare” și studiate din acest punct de vedere.

Iată de ce cunoașterea teoriei informației capătă, pe zi ce trece, o mai mare însemnătate nu numai în tehnică, dar și în biologie în general și în medicină în special.

Sosit la redacție: 16 aprilie 1964.