

NNCL2213-648v1.0

Szent-Györgyi Albert

Az élő állapot

Válogatott írások



KRITERION KÖNYVKIADÓ
BUKAREST 1973

A SOROZATOT SZERKESZTI
DANKANITS ÁDÁM
MOLNÁR GUSZTÁV
SZABÓ T. E. ATTILA
TORÓ TIBOR

AZ IDEGEN NYELVEN ÍRT SZÖVEGEKET
FORDÍTOTTA
MÉSZÁROS KÁROLY
TÓTH MIKLÓS
SZABÓ T. E. ATTILA

A VÁLOGATÁST GONDOZTA
SZABÓ T. E. ATTILA

AJÁNLÁS

A KORUNK KÖNYVEK SOROZATBAN MEGJELENŐ VÁLOGATÁS SZÁMÁRA

A TERMÉSZETTUDOMÁNY ÚJ MÓDSZERHEZ SEGÍTETTE AZ EMBERT, AMIVEL PROBLÉMÁIT MEGKÖZELÍTENI VAGY MEGOLDANI TUDJA. A MEGISMERÉSNEK NINCS HATÁRA. A VILÁG MAI NEHÉZSÉGEI ÉS VESZÉLYEI NEM ABBÓL ADÓDNAK, HOGY NEM TALÁLUNK VÁLASZT KÉRDÉSEINKRE, HANEM ABBÓL, HOGY A VÁLASZOKAT PUSZTÍTÁSRA, URALOMVÁGYUNK KIELÉGÍTÉSÉRE FORDÍTJUK. ÍGY A HALADÁST AZ EMBER TÖRTÉNETÉBEN NEM A TUDOMÁNYOS KUTATÁSBAN, HANEM EGY ÚJ ETIKA, ÚJ EMBER ÉS EMBER KÖZTI VISZONY KIALAKULÁSÁBAN LÁTOM.

SZENT-GYÖRGYI ALBERT

Woods Hole, 1972. május 29.

“AKKOR FOGJUK VALÓBAN MEGKÖZELÍ-
TÉNI AZ ÉLET MEGÉRTÉSÉT, AMIKOR
VALAMENNYI STRUKTÚRA ÉS FUNKCIÓ,
VALAMENNYI SZINTEN... EGYETLEN EGY-
SÉGBE OLVAD ÖSSZE.”

(Introduction to a Submolecular Biology, 1960)

TUDOMÁNYOS PÁLYÁMRÓL

Kutatásaimat a szövettannal kezdtem. Miután az az információ, amelyet a celluláris morfológia nyújthatott számomra, nem elégített ki, az élettan felé fordultam. Az élettant túlságosan bonyolultnak tartottam, ezért hozzáfogtam a gyógyszertanhoz, amelyben a partnerek egyike, a gyógyszer egyszerű. Minthogy még mindig nagyon bonyolultnak tetszett számomra a helyzet, a bakteriológiát vettem célba. De mert a baktériumok túlságosan komplikáltak, leszálltam a molekuláris szintre, és a kémiát, valamint a fizikokémiát tanulmányoztam. Az itt nyert tapasztalatokkal felfegyverkezve kezdtem az izom vizsgálatába. Húszévi munka után arra a következtetésre jutottam, hogy az izom megértéséhez le kell ereszkednem az elektronok szintjére, arra a szintre, amelyen a törvényeket a hullámmechanika szabja meg. Tehát itt ismét olyan dimenzióba kerültem amelyről mit sem tudtam. A korábbi időszakokban, valahányszor egy új irányvonalat elkezdtem, mindig volt rá reményem, hogy elsajátítom a terület csínját-bínját. A kvantummechanikával nem ez a helyzet [...] Életrajzomra nem azért hivatkoztam, mintha ennek önmagában bármilyen jelentősége lenne. Ezt az utalást pusztán azért tettem, mert egy nagyon fontos kérdés sarokpontját alkotja: megengedhetik-e a biológusok maguknak, hogy – mert járatlanok a kvantummechanika bonyodalmaiban – elkerüljék az elektronok dimenzióját? Jelenleg nagyon kicsi azoknak a száma, akik

mindkét tudományhoz, a biológiához és a kvantummechanikához is értenek. Lehet, hogy az emberi élet és az emberi agy korlátozott volta miatt ez a szám sohasem lesz nagyon nagy. Mindkét tudomány teljes elmét és teljes életet követel. Ezért, legalábbis ma, a fejlődés valamiféle hibridizációtól függ.

Véleményem szerint, legalábbis időlegesen, a legjobb megoldást nem a biológusok fizikával való keresztezése és *vice versa* jelenti, hanem a biológus és a fizikus együttműködése. Ezért nem szükséges, hogy a biológus megismerkedjék a hullámmechanika bonyodalmaival. Elegendő, ha közös nyelvet alakítanak ki a fizikussal, eljutnak a kvantummechanika alapeszméinek és határainak intuitív felfogásához, hogy ilyen módon kiválaszthassák a fizikus számára a problémákat, és megértsék a fizikus válaszában a jelentését. Hasonlóképpen a fizikus jobban teszi, ha a saját portáján marad, semmint esetleg másodrendű biológus válják belőle.

(1960)

AZ ÉLET LÉNYEGÉRŐL

1938 őszét Belgiumban töltöttem, többször látogatván át Angliába és Franciaországba. Utam 1939 tavaszán az Egyesült Államokba vitt, és ott az egész földrészt bebarangoltam. Abban a háború kitörését megelőző évben mindenütt ugyanazt a szorongó nyugtalanságot találtam. De ez a természettudományos kutatók körében volt a legkifejezettebb, mert a bizonytalansághoz náluk még nyomasztó felelősségérzet is csatlakozott. Úgy éreztük, hogy a természettudomány hirtelen fejlődése nagyban hozzájárult a helyzet kritikus voltahoz és veszélyességéhez, mert a természettudomány törölte el a ráépülő technikával a távolságot, okozta a túltermelést és teremtette meg a pusztítás rettenetes eszközeit. Azt kérdeztük magunktól, hogy van-e egyáltalán értelme a mi odaadó és önzetlen munkánknak, ha ilyen gyümölcsöket terem. Nem lenne-e jobb az egész tudományos munkát abbahagyni? Amíg erre a kérdésre nem válaszoltam magamnak, addig szinte képtelen voltam kutatásaimat folytatni.

Hogy gondolataimat tisztázzam, 1938 elején egy angol, a következő őszön egy francia nyelvű munkát írtam a háborúról, annak okairól és megelőzésének lehetőségeiről. Egyik munka sem elégített ki. Mégsem értettem a háborút. Úgy éreztem, hogy mint önálló jelenséget talán meg sem lehet azt érteni, kell hogy az valami sokkal általánosabbnak legyen a részlete, így mindkét munka kiadatlanul maradt fiókomban, és az a gyanúm, hogy kutatótár-

saim közül sokan őriznek hasonló műveket fiókjukban, melyekbe szorongásukat öntötték. De nekem ezenfelül volt még egy személyes problémám is, melyet magamban tisztázni akartam. Annak idején elég tekintélyes vagyont örököltem; ezt az első világháború elfújta. Ott álltam mint kezdő egy feldúlt országban, négyévi katonáskodás után, és nem volt másom, mint égető tudásvágyam és családom, melyről gondoskodnom kellett. Nem tudtam semmit, és nem nyújthattam semmit. Külföldre menve tizenkét év alatt fél tucat országot bejártam, és mindenütt, ahová a tudomány nevében mentem, szívesen láttak, tanítottak, kenyeret adtak. Azt tapasztaltam, hogy az ember jóindulatú és intelligens.

1939 őszén bekövetkezett a rettegett katasztrófa, és most ismét harmadik éve pusztítja magát az emberiség.* Nem tudok moziba menni, képes újságot kinyitni, rádiómat megindítani anélkül, hogy gylkolásról, pusztításról, rombolásról ne látnék vagy hallanék. Az a benyomásom, hogy az ember a legvérengzőbb és legoktalanabb minden állat között. Régebbi tapasztalatom és ez az új kép mint égető ellentét él lelkemben, és megoldást kér.

Nemrég felszólított egy kiadó, hogy írjak könyvet az életről; írjam benne azt, ami jólesik. Visszatudasítottam, de gondolataim mégis visszatértek a tárgyra, hiszen az élet az, aminek titkait mint kémikus harminc éve kutatom; az élet egyetlen és legfőbb kincsünk, a közepe és lényege mindennek. Kiinduló- és végpontja kell hogy legyen minden egységes szemléletnek, amellyel az emberi létet minden jelenségeivel együtt – beleértve a háborút

* Ezek a sorok 1942 októberében íródtak.

is – megérteni próbáljuk. Gondolataim formálódni kezdtek, s megint írógéphez ültem.

De ha “életről” beszélünk, meg kell mondanunk, hogy mit is értünk rajta, mert mást-mást ért *életen* a természettudós, a filozófus és a költő. Ez az emberi gondolkozás három fő típusa, és ugyanazt a dolgot mindegyikük másképp látja és másképp közelíti meg. A természettudomány és a természettudós lényegében csak mér, és igyekszik különböző méréseinek eredményeit közös nevezőre hozni. Ami grammal, méterrel vagy másodperccel nem mérhető, azt nem veszi figyelembe. A filozófus megfigyeléseit gondolkozó apparátusával próbálja megérteni, míg a költő egyetlen realitásnak belső élményét tekinti. Egyformán jogosult mind a három nézőpont vagy módszer. Egyénisége és mestersége szerint az egyes ember az egyik vagy a másik fajtához tartozik, de a határok nem élesek, mert minden igazi természettudósba szorult egy kis filozófus meg egy kis költő, és fordítva, így, ha az életről szólunk, nekünk sem kell szigorúan csupán az egyik nézőpontra szorítkoznunk, a fontos csak az, hogy a dolgokat össze ne kavарjuk, s jól adjunk magunknak számot, hogy a természettudomány, a filozófia vagy a költészet szemüvegén át nézve szólunk-e.

Magam teljes joggal csak mint természettudós beszélhetek, de bennem is él valamennyire a költő és filozófus, és én szót adok nekik is, de hogy zavar ne legyen, külön-külön fogom megszólaltatni őket.

Ha azt kérdezzük, hogy mi az élet, és egyáltalán van-e élet, a költő és a filozófus aligha fog habozni válaszával. Csak a természettudós válaszol vállvonogatással. Hogy ezt jobban megvilágítsuk, hozzuk

össze a természettudóst egy kis beszélgetésre egy úgynevezett “átlagemberrel”.

– Megmondaná nekem, hogy mi az élet?

– Hogyne, nagyon szívesen. Adjon belőle egy darabot, majd megmérem, analizálom, azután megmondom, hogy micsoda.

– Az lehetetlen! Az életnek nincs darabja, nem lehet mérni.

– Akkor nem érdekel, mert nincs is, legalább nekem nincs.

– Már hogyne volna. Látja itt ezt az élő és ezt a döglött békát? Még egy kisgyerek is látja a különbséget.

– Jó, hát akkor vegye ki az élőből az életet és adja ide.

– Nem lehet. Az életet nem tudom a békától elválasztani.

– Nem tudja elválasztani? Akkor az nem olyan valami, ami önmagában is van. Akkor az inkább tulajdonsága ennek az anyagdarabnak, amit ön békának nevez. De mit ért azon, hogy a béka “él”, miért mondja, hogy él”?

– Mert mozog, lélegzik, szaporodik.

– Á, úgy, az más. Ezek olyan jelenségek, melyek mérhetők. Erről lehet beszélni, de ez nem az élet maga, ezek csak “életjelenségek”. Legjobb lesz, ha együtt végzünk egy kísérletet, akkor talán jobban megért. Vegyük az élő békát, és altassuk el kloroformmal. Most kivágom a szívét és a vízbe teszem; (a vízben előbb különböző sókat oldottam fel, amelyek a béka vérében is megvannak). Látja, a szív vidáman ver tovább, és észre sem veszi, hogy a békát levágtam róla. Ha holnap visszajön, ez a szív még mindig verni fog. De most figyelje a

szív nélküli békát, kezd ébredezni. Már magához tért, a hátáról hasra fordult, most meg elugrott. Mit gondol, él-e még a béka, és él-e még ez a szív?

– Hogyne, igaz ugyan, hogy a béka szaporodni már aligha fog. Szív nélkül még egy béka sem viheti sokra. A szív ugyan még ver, de előbb-utóbb meg fog állni. De amíg a szív ver és a béka mozog, addig mégiscsak kell hogy mind a kettő éljen.

– Helyes, de maradjunk a szívnél, ez egyszerűbb. Nézzük mikroszkóp alatt. Látja, vékony szálcskákból van felépítve, ezek összehúzódnak majd elernyednek. Valamennyi szálcscska összehúzódása együttesen egy szívverés. A szívnak ez nem az egyetlen életjelensége. Könnyen megmutathatom, hogy a szív lélegzik (vagyis oxigént fogyaszt és szénsavat termel), és a cukrot tejsavvá erjeszti.

– Most már nem kételkedem benne, hogy ez a szív csakugyan él.

– Várjon csak, még nem fejeztük be a kísérletet. Ezt a szívet most megdarálom, azután kivonatot készítek belőle. A kivonatot vékony sugárban vízbe fecskendezem, és az fonál alakjában megmerevedik. Tessék jól megnézni a fonalkát, éppolyan, mint amilyent a mikroszkóp alatt látott, amelyekből a szív van felépítve. Ehhez a fonalkához egy más szív-kivonatot adok. Mit lát?

– A szálcscska összehúzódik, éppúgy, mint azok a fonalak, amikből a szív van felépítve.

– Ha ezeket az oldatokat jégsezekrénybe tenném, egy hét múlva is tudnék ilyen szálcscskákat csinálni, és azok ugyancsak összehúzódnának. Mit gondol, élnek ezek a szálcsckák? Hiszen összehúzódtak!?

– ?

– Olyan szív-kivonatot is csinálhatok, amelyik

lélegzik és erjeszt. Sőt azokat az anyagokat, amelyek hatására a kivonat összehúzódik, lélegzik és erjeszt, egymástól el is tudom választani. Egy részüket por alakban megszáríthatom. Aztán, ha majd később megint egyszer feloldom és megfelelő módon összekavarom őket, ismét megindul az összehúzódás, lélegzés, erjedés. Mit gondol, hát élnek ezek a porok?

– Természetes, hogy nem.

– Akkor azt sem mondhatjuk, hogy az élet mozgás, lélegzés, erjedés, mert az én porocskáim ezt mind tudják. De akkor mit gondol, mégis mi az élet? Hogy lehet az élettelenről megkülönböztetni?

– Magam sem tudom, kezdek összezavarodni. Az élet – úgy látszik – olyan, mint a tengeri homok: kifut az ujjaink között, ha kézbe vesszük, hogy megnézzük. Ha azok a porocskák mind egyszerre működnek, összehúzódnak, lélegzenek és erjesztenek, az mégsem szív, az mégsem élet.

– Akkor legalább mondja meg, hogy hol szaladt ki az élet az ujjaink között, hol vesztettük el? Mikor szétszedtem az állatot békára és szívre, és a szív még mozgott, azt mondta, hogy az még él. Mikor meg a szívet szétszedtem olyan anyagokra, amelyek mozognak, lélegzenek és erjesztenek, azokra azt mondta, hogy nem élnek.

– Kellemetleneket kérdez. Azokat a porocskákat mesterségesen is elő tudná állítani?

– Egyiket-másikat már igen, még nem mind, de ez csak technika kérdése. Elvben mind előállíthatók, béka nem is kell hozzá. De most én kérdezem: ha én az összes anyagokat előállíthatnám, amikből a békaszív fel van építve, és sikerülne őket pontosan úgy összetenni, mint ahogy a békában voltak,

abból megint szív lenne?

– Kétségtelenül.

– Akkor nem is annyira az a kérdés, hogy ezek a porocskák micsodák, hanem inkább, hogy miként vannak összeillesztve. Úgy vagyunk vele, mint a zsebórával. Ha szétszedem, nem más, mint kerek, csavarok és rugók halmaza. A lényeg nem az, hogy mik, hanem, hogy hogyan vannak összetéve: ez teszi órává. Úgy látszik, így van az élettel is. Az élet nem valami külön mérhető vagy megfogható dolog, sem az anyagok, amikből az élő fel van építve, nem oly különösek, a dolog azon fordul meg, hogy hogyan vannak összetéve. Ha szétszedem, nem óra, nem szív, nem élet többé, csak kerek vagy porocskák. De ha megint eredeti rendjükbe összerakom őket, akkor megint óra, szív és élet lesz belőlük. Kérdezhetek még valamit?

– Tessék.

– Képzeld el, hogy az egész békát szétbontottam egypár száz ilyen porocskára. Ha most az egyes porokat kicserélném ugyanolyan, de mesterségesen előállított anyaggal, úgy az nem tenne semmi különbséget?

– Nem.

– Ha most ezeket a porocskákat pontosan ugyanúgy raknám össze, mint ahogy a békánál vannak, abból béka lenne?

– Igen.

– Mozogna? Lélegzene?

– Igen!

– Tehát élne is.

– Igen.

– Ha ennek az új mesterséges békának az agya teljesen azonos volna egy másik élő békáéval, ak-

kor ennek a mesterséges békának is ugyanolyan emlékei és tapasztalatai lennének, mint a másíknak?

– Igen. Egyetért velem?

– Igen. Én is ezt várnám, de én majd csak akkor nyilatkozhatom, ha a mesterséges békát csakugyan elkészítettem, összes életjelenségeit megmértem és a természetes békával összehasonlítottam.

– Foglajuk hát össze a dolgot: élet tehát nincs.

– Dehogy nincs. Csak önmagában nincs. Élet van, csak nem lehet az anyagtól elválasztani. Az élet az anyagnak egy sajátága, szerkezetének következménye. Olyan, mint a mosolygás. Mosolygás is van, de nem választhatom le azt az ajaktól, és nem tarthatom egyik kezemben, és a másikban az ajkat, mert a mosolygás nem más, mint az ajak játéka.

(1946)

A BIOLÓGIAI OXIDÁCIÓRÓL

“A VITAMINOK HA HELYESEN ÉRTEL-
MEZIK ÉS ALKALMAZZÁK ŐKET, SEGÍTSÉ-
GÜNKRE LESZNEK AZ EMBERI SZENVEDÉS
OLYAN MÉRTÉKŰ CSÖKKENTÉSÉBEN,
AMELYET MA A LEGFANTÁZIADÚSABB
ELME SEM KÉPES ELKÉPZELNI.”

(Studies on Biological Oxidation, 1937)

SZÖVETLÉGZÉS

(ELŐSZÓ)

Több mint tíz éven át munkámat a $2\text{H}+\text{O}=\text{H}_2\text{O}$, látszólag egyszerű reakció mechanizmusának a felderítésére szenteltem. A kísérletek a legkülönbé-
lébb eredményekre vezettek, mint például vitam-
nok felfedezésére, izolálására és identifikálására, a
 C_4 dikarbonsavak katalitikus jellegének a felfede-
zésére stb. Néhány megfigyelésemet még az or-
vostudományban, a betegségek gyógyításában is
alkalmazták.

Szerteágazásuk dacára ezek az eredmények szo-
rosan kapcsolódnak a központi problémához, a
 $2\text{H}+\text{O}=\text{H}_2\text{O}$ reakció mechanizmusához. Csak da-
rabjai egy mozaiknak, amelyről nem remélhetem,
hogy teljes lesz. Ez igazolhatja próbálkozásomat,
amelynek során – legyőzve a toll és tinta iránti el-
lenszenvenmet – összefoglaltam munkámat, meg-
mutatva az összefüggéseket annak egyes fázisai
között és csoportosítva az eredményeket a központi
probléma köré. Eredeti megfigyeléseim legnagyobb
részét adatok tömege temeti be, valamint nagyszá-
mú dolgozat lapjain szétszórta található meg. E
könyv segítségével akarom könnyebben elérhetővé
tenni őket ama kevesek számára, akiket esetleg
érdekelnek.

Nem szándékom azonban egyszerűen összefog-
lalni kísérleteimet. Körvonalazni szeretném a
problémát, amely oly sok éven át lefoglalt és még
mindig elbűvöl.

Ennek a könyvnek a speciális szándéka csak akkor érvényesülhet, ha saját munkámat aránytalanul kiemelem, és másokra csak annyiban hivatkozom, amennyiben ez szükséges lesz ahhoz, hogy mondanivalómat érthetővé tegyem.

Saját és munkatársaim dolgozataira a könyv végén található hivatkozás. Az egyéb dolgozatokra való utalásokat eredeti közleményeimben vagy a lapok alján lehet megtalálni.

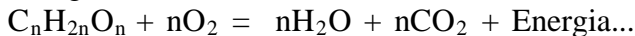
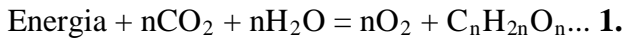
Amikor először tépelődtem ennek a könyvnek a megírásán, gondolataimban köszönetet mondtam munkatársaimnak, akiknek a nevét majd megemlítem. Hálás vagyok mindazoknak, akik segítettek utamon, azon az úton, amely nem volt híján a nehézségeknek.

Köszönöm a New York-i Josiah Macy Jr. Foundation nagylelkű segítségét, amely lehetővé tette számomra, hogy az elmúlt évben anyagi nehézségektől nem akadályozva ötleteimet kísérletekben próbáljam ki.

(1937)

A BIOLÓGIAI OXIDÁCIÓ ALAPJAI

Akármit csinál egy sejt, meg kell fizetnie érte, és az élő szervezetnek ez a valutája, amiben a sejtnak fizetnie kell: az energia. Ha nem lenne szabadenergia, nem lenne élet sem. Ennek az energiának végső soron az egyedüli forrása a Nap sugárzása. De ezt a sugárzást, mint olyant, nem lehet közvetlenül az élet fenntartására hasznosítani, különben éjjel az élet lehetetlen lenne. Ezért a klorofillt tartalmazó növények kloroplasztjai a sugárzó energiát apró csomagokba zsúfolják. Ha a sejtnak energiára van szüksége, nem a sugárzást használja fel, hanem kipakolja ezeket a tápanyag molekuláknak nevezett energiacsomagokat. Az élet két alapvető reakciója: 1. e csomagok elkészítése és 2. kicsomagolásuk.



2.

A második reakció az elsőnek a fordítottja. A két reakció közül az első csak a klorofillt tartalmazó növényi sejtek végzik, míg a kettes számú reakció valamennyi sejtben végbemegy, akár a növényben, akár a növényvel táplálkozó állatban (növényevők) van ez a sejt, akár azokban az állatokban, amelyek a növényt evő állatokkal táplálkoznak (ragadozók).

Ez a könyv a második reakció mechanizmusával

foglalkozik.

A szénnel fűtött gőzmozdony analógiája azt sugallja, hogy ennek a reakciónak a lényege a C egyesülése (oxidációja) O_2 -vel. C alkotja az egész molekula vázát, és az oxigénnel végbemenő reakciója gazdag energiaforrást jelent, a tápanyagmolekula $H_{2n}O_n$ egysége (nH_2O) viszont nem képvisel energiát.

H. Wieland nevéhez fűződik az a felfedezés, hogy ez nem így van, és ez a modern biokémia egyik legnagyobb eredménye.

Wieland szerint, akinek a nézetét nagy mennyiségű modern irodalom támasztja alá, a tápanyagmolekula oxidációja H-atomok lehasításából áll. Az egész tápanyagmolekula lényegében csak kis rész hidrogénből áll, szénatomjai a fogasok, amelyekre a H-atomok "fel vannak akasztva". Hogy Wieland nomenklatúráját használjuk, a tápanyagmolekula egy "H-donor". Ezért ebben a könyvben a tápanyagot egyszerűen "donornak" fogom nevezni.

Az első gépezetet a donor által leadott H oxidációja hajtja. Magasabb rendű szervezetekben ez a reakció az energia egyetlen végső forrása, amely tehát csak egy fűtőanyagot ismer: a hidrogént. A hidrogén az élet üzemanyaga.

A H_2 -nek H_2O -vá oxidálása 68 000 kalóriát szolgáltat, és ilyenformán egyike a kémikusok számára ismeretes, energiában leggazdagabb reakcióknak. A biológiai oxidációnak nem az a célja, hogy ezt az energiát felszabadítsa. A cél az, hogy oly módon szabadítsa fel ezt az energiát, hogy átvihető legyen az energiát igénylő sejtfolyamatok számára. A hővé alakult energia az élő gépezet számára elveszett.

Úgy látszik, hogy az egyetlen H-atom oxidációja során felszabaduló energiamennyiség túlságosan nagy ahhoz, hogy a sejt bánni tudjon vele. Ezért a sejt más utat igényel. A H tehát nem egyesül rögtön az oxigénnel, amely egyesülés a teljes energiát szolgáltatná, hanem sorban egymás után egy sereg anyaghoz kapcsolódik hozzá. Valamennyi új lépés során energia szabadul fel. Így a H darabonként oxidálódik, és az energia felszabadulása eloszlik egy hosszú reakciósorozat mentén.

A H-atomnak ez a darabonként bekövetkező elégése a biológiai oxidáció egyik alapvető elve, és munkámnak az volt a célja, hogy hozzájáruljon ennek jobb megértéséhez.

Korábban az oxigénről gondolták azt, hogy az oxidáció mindenható mestere, amely oxidáló hatása folytán szétbontja a tápanyagmolekulákat. Wieland teóriája szerint tisztét a sokkal szerényebb "H-akceptor" szerepre degradálták. A belélegzett oxigén egyáltalán nem kerül érintkezésbe a tápanyagmolekulával. Még csak a donorról lehasított H-val sem találkozik. Az oxigén csak egyetlenegy, egy hosszú lánc egyik végén elhelyezkedő reakcióban lép színre. Első fellépése után el is tűnik a színről és nem hagy hátra maga mögött mást, mint a vasatomok elektronjaiban bekövetkezett változást. Ennek megfelelően a kilélegzett CO_2 -ben lévő O_2 egyáltalán nem a belélegzett O_2 -ből származik, hanem részben azt az oxigént képviseli, amelyet a tápanyagmolekula tartalmazott, és részben azokból a vízmolekulákból származik, amelyeket a donor vett fel, hogy betöltse velük az elvesztett H-atomok helyét.

Természetesen ezek az általánosítások a légzésre

csak mint nagy egészre érvényesek. Itt-ott egy-egy H az oxigénhez vagy egy-egy oxigén valamely szerves molekulához megtalálhatja az utat. Ettől függetlenül semmi kétség sem lehet afelől, hogy az oxidációról alkotott elképzelésünk alapvető változásokon ment keresztül. Ezelőtt a biológiai oxidációról azt gondolták, hogy a tápanyag és az oxigén között lezajló kölcsönhatás. Ma ezt a folyamatot úgy képzeljük el, mint egy hosszú reakcióláncot, amelynek során a H elég. A biológiai oxidáció központi problémája az egyes H-atomok e részletekben történő oxidációjának a mechanizmusa. A reakciólánc egyik végén a tápanyagmolekula áll, amelynek egyéb funkciója nincs, mint az, hogy leadja a H-atomjait. A másik végén áll az O_2 , amely elektronjait adja oda. Az én fő célom az volt, hogy a reakciólánc középső részének a megismeréséhez járuljak hozzá.

(1937)

A C-VITAMINRÓL

Első megfigyeléseimet az aszkorbinsavról Groningenben, az élettani laboratórium egyik pincehelyiségében tettem. Ennek az anyagnak az izolálása Cambridge-ben Sir. F. G. Hopkins vendégszeretete révén vált lehetővé. Az első kémiai analízishez elegendő kis mennyiségeket káposztából, narancsból és mellékvesékből lehetett előállítani. Ki tudtam mutatni, hogy az anyag összegképlete $C_6H_8O_6$, demonstrálni tudtam reverzibilis oxidálhatóságát, és kimutattam, hogy egyike az állati és növényi sejtek alapvető, mindenütt megtalálható redukáló ágensének. Balszerencsére az említett növények az előállítását csak kis méretekben tették lehetővé, és nagy mennyiségű aszkorbinsav előállítására alkalmatlanok voltak. Portyázásaim a zöldségesüzletekben nem jártak eredménnyel. Nem tudtam rábukkanni nagy méretekben történő előállítására alkalmas anyagra. A vegyület szerepének és kémiai felépítésének a kutatásában a további haladás a nagyobb mennyiségekben történő előállítástól függött. Az egyetlen anyag, amely megfelelt a nagymértékben való munkához, a mellékvese volt. Ehhez azonban Cambridge-ben nem lehetett hozzájutni, és ezért igen nagy szívesség volt A. Krogh professzor részéről, amikor megpróbált segíteni, és repülőgépen nagy mennyiségű mellékvesét küldött számomra Dániából, de mire az anyag megérkezett,

már tönkrement.

A továbblépést a *Mayo-alapítvány* nagylelkű meghívása és E. C. Kendall professzor vendégszeretete tette lehetővé. Hozzá tudtam jutni Amerika nagy vágóhídjainak az anyagához, és miután a drága mellékvesék mázsáit dolgoztam fel, körülbelül 25 gramm aszkorbinsavat állítottam elő.

Ez a mennyiség lehetővé tette, hogy tanulmányozzam anyagomat a növényi légzés szempontjából, és megtaláljam az aszkorbinsavoxidázt. Az Addison-kórra való hatást is tanulmányozni tudtam. Legfőbb gondom azonban a molekula kémiai konfigurációjának a felderítése volt. Ezért megosztottam anyagomat W. N. Haworth professzorral, aki kezdettől fogva élénk érdeklődést mutatott ez iránt az anyag iránt. Mindketten ugyanarra a következtetésre jutottunk: ez a mennyiség kevés bármilyen kis haladás elérésére is. Tehát az anyag elfogyott, és további készítményekre semmi remény sem volt. Növények mint kiinduló anyagok nem feleltek meg, és a mellékvesékből történő ismételt preparálásnak a magas költségek szabtak gátat. A további kutatást kétségbeesve fel kellett adni, és semmi több nem maradt, mint egy kevés aszkorbinsav egyik kémcsöve fenekén.

Kezdetől fogva gyanítottam, hogy az aszkorbinsav a C-vitaminnal azonos, de barangoló életem nem felelt meg vitamin-kísérletek végzéséhez, azonfelül a vitaminokat valahogyan ki nem állhattam. A vitaminok nagy népszerűségüket paradox viselkedésüknek köszönhetik, mert akkor okoznak nekünk betegséget, ha nem fogyasztjuk őket, míg valamennyi egyéb anyag csak elfogyasztás után tesz bennünket beteggé. Hogy mit kell az ételnek

tartalmaznia ahhoz, hogy teljes legyen – olyan kérdés, amely inkább tartozik a szakácsra, mint a tudósra. Ennek megfelelően a vitaminológia eredményeinek a méltánylása gyakran aránytalanul meghaladja tudományos fontosságukat. Ráadásul az aszkorbinsav vitamin-jellege nem sokat adhatott annak valódi tudományos érdekességéhez, hiszen a növényi és állati szövetekben az aszkorbinsav fontosságát és jelenlétét már kimutatták.

Két évvel később arra ítélték, hogy professzor legyek, és Szegedre küldtek a Biokémiai Tanszék élére. Ugyanabban az időben a sors jóvoltából egy eszes munkatárshoz jutottam, I. L. Svirbely személyében, akinek már volt némi tapasztalata a C-vitamin meghatározásában, és magával hozta azt a meggyőződését, hogy aszkorbinsavam nem lehet azonos a C-vitaminnal. Ennek ellenére megvizsgáltattam vele régi gyanúmat: megbíztam, hogy mutassa ki az egyik kémcsövem fenekén hagyott kis mennyiségű porról, hogy nem azonos a C-vitaminnal. 1931 novemberében teljes bizonyosságot szerzett arról, hogy azonos. Ez idő tájt Tillmans szintén a lehetséges azonosság felé fordította figyelmét. Eredményeinket nem tettük közzé mind-addig, amíg kísérletünket nagyszámú állaton meg nem ismételtük. Velünk egyidőben King és Waugh azt jelentették, hogy citromléből antiskorbüt sajátosságokkal rendelkező kristályokat izoláltak, és úgy látszik, hogy ezek azonosak az aszkorbinsavval, amelyet abban az időben “hexuronsavnak” neveztek.

Amikor kiderült, hogy azonos a C-vitaminnal, az általános érdeklődés az aszkorbinsav felé fordult. De nem sok hasznot hajt, ha tudjuk, hogy egy

anyag érdekes, viszont nincs belőle egy szemernyi sem. Tartalékaim teljesen kimerültek, és további előállítására nem nyílt lehetőség. Ahhoz, hogy megállapítsuk a pontos konfigurációt és elvégezzük azt a kémiai munkát, amely a végleges kimutatáshoz volt szükséges, tehát hogy az aszkorbinsav valóban C-vitamin és kristályainak vitamin-aktivitása nemcsak valamilyen hozzájuk kapcsolódó szennyezés következménye, sürgősen nagy mennyiségű aszkorbinsavra volt szükségünk.

Szeged történetesen a magyar pirospaprika-ipar központja. Ez volt körülbelül az egyetlen termés (Capsicum annum), amelyet még sohasem próbáltam ki. Valamilyen ismeretlen ok folytán a természet a magyar pirospaprikát a legcsodálatosabb aszkorbinsav-raktárral látta el. Két egymást követő menetben 3 és 1/2 kg kristályos aszkorbinsavat tudtam előállítani ebből a termésből.

Ebből az anyagból Vargha L. monoaceton aszkorbinsavat készített, amely önmagában teljesen inaktív, de gyönyörűen kristályosodik. Ismételt újrakristályosítások után az aszkorbinsavat ismét le lehetett hasítani, és még mindig megtartotta teljes aktivitását. Ez volt az első határozott bizonyíték arra, hogy az aszkorbinsav valóban a C-vitamin.

Aszkorbinsavam legnagyobb részét szétosztottam a vele foglalkozó kutatók között, így ez az anyag nagymértékben hozzájárult a molekula szerkezetének gyors felderítéséhez, és megnyitotta a szintézishez vezető utat. Tehát főleg a magyar pirospaprikának köszönhető, hogy olyan figyelemre méltóan rövid idő – két év – alatt a C-vitamin a titokzatosság homályából az olcsó szintetikus termékek birodalmába került. Ma a C-vitamint ala-

csony áron, mázsaszámra állítják elő szintetikusán.

Amikor a tudós azt tapasztalja, hogy aktív anyagainak az egyike vitamin, az kisebbfajta tragédiát jelent számára. Az alapproblémákon végzett nyugodt munkát fel kell adnia, hogy helyette nagyipari módszerek kidolgozására és ezek unalmas alkalmazására adja a fejét. Éveket kell eltöltenie kemény munkával pusztán azért, hogy lehetséges legyen a szintézis, ami azután elveszi az összes korábbi munka értékét. Ezzel lezárul egyike azoknak a reményekből és csalódásokból álló ciklusoknak, amelyekből a tudós élete összetevődik.

Ennek ellenére hálás vagyok a paprikának életem egyik legmélyebb impressziójáért. Még mindig eltölt az őszinte hála érzése azért a nagylelkű nemzetközi támogatásért, együttműködésért és baráti magatartásért, amelyet azokban a napokban tapasztalhattam. Ha mindez a nemzetközi politikában is általános volna, valamennyien biztató jövőt élénkítenénk.

(1937)

A P-VITAMINRÓL

Az előző fejezetben a vitaminok ellen beszéltem és elmondtam, hogy miért szaladgáltam mintegy öt éven keresztül zsebemben a kristályos aszkorbinsavval, anélkül, hogy kipróbáltam volna annak vitaminhatását. Elmondtam egy példát arról is, hogy hogyan vezet egy rossz teória jó eredményekhez. Most néhány kellemes dologról akarok szólni a vitaminokkal kapcsolatban, amikor elmondom, miért volt annyira szívügyem a flavonok vitamintermészetének a kiderítése, majd példáját adom egy olyan véletlennek és egy olyan hibának, amelyek végül új felfedezéshez vezettek.

Valamely anyag vitamin-jellegének is nagy tudományos fontossága lehet. Vitaminon olyan növényi anyagot értünk, amelyre az állatnak szüksége van, de ő maga nem állítja elő, hiánya viszont betegséget okoz. Ez a betegség gyakran segítségünkre van egy ilyen anyag létezésének a felderítésében. Azáltal, hogy kimutatjuk valamely anyag vitamin-jellegét, azt is bizonyítjuk, hogy fontos szerepet játszik az állatokban, ezzel új bizonyítékát adva az élő természet egységének.

A benzopiron festékek nagyon fontosak a növény számára. Ezek a festékek a növények birodalmában minden évben tonnaszámra készülnek frissen. Nehezen hihető, hogy ezek az anyagok ne lennének fontosak az állatok számára, bár kémiai módszerekkel nem sikerült kimutatni jelenlétüket az állati sejtekben. Ilyenformán csak akkor remélhet-

tem fontosságuk kimutatását, ha ezek az anyagok történetesen vitaminok és hiányuk betegséget okoz.

Vitamin-jellegüknek a lehetőségét az a tény sugallta, hogy a másik anyag, az aszkorbinsav, amely a peroxidáz rendszerében kéz a kézben együtt dolgozik a flavonokkal, szintén vitamin. A vitaminhatás kimutatásának az esélyei azonban nagyon csekélyek voltak. E kimutatásra a legalkalmasabb állatnak a tengerimalac és a legmegfelelőbb étrendnek a skorbut-diéta látszott, bár a skorbut-diétán tartott állatok, ha aszkorbinsavval elláttuk őket, jól érezték magukat, ami látszólag bizonyította, hogy az étrend vagy tartalmazza ezeket a flavonokat, vagy az állatoknak nincs rájuk szüksége.

Az első jel, ami arra mutatott, hogy a flavonok valószínűleg vitaminok, egy véletlenből származott. Az aszkorbinsavval végzett munkám elején levelet kaptam egy súlyos vérzési hajlamban, vérzékenységben szenvedő orvostól. Aszkorbinsavat kért, hogy kipróbálja ennek az anyagnak a hatását saját állapotára. Minthogy nem volt még elegendő aszkorbinsavam, konzervált formában paprikát (vitapric) küldtem neki. Az illető meggyógyult. Később tiszta aszkorbinsavval ismételtük meg: ez nem volt hatásos. Ez arra mutatott, hogy a hatékonyságért bizonyosan valamilyen egyéb princípium volt felelős. E princípium izolálása reménytelen munkát jelentett volna, ha nem bujkál elmém hátterében a flavonok vitamin-természetének a gondolata. Elkezdtem citromléből izolálni a flavon-frakciót, amelyet mi citrinnek neveztünk el, és barátom, Rusznyák I. és munkatársai, Armentano és Bentsáth kipróbálták betegeken. Ez az anyag hatékonynak mutatkozott, gyógyította a (vaszkuláris)

haemorrhagiás purpurát, és különböző kóros körülmények között visszaállította a törekeny és kórosan áteresztő hajszálerek normális állapotát. Nagy szerencsére a kapillárisok törekenységét és permeabilitását Borbély és Landis módszereivel meglehetősen pontosan tudtuk mérni. Élesen el lehetett választani azokat a betegségeket, amelyekben a hajszálerek reagáltak a citrinre (haemorrhagiás purpura, nephritis, szepsis, nephrosis, polyarthrit) azoktól, amelyekben a citrin hatástalannak bizonyult (diabetes, tuberkulózis).

Egy ilyen irányú hatékonyság a vitaminjelleg mellett szól, de nem bizonyítja azt. A vitamin-jellegre utaló bizonyítékokra csak állatkísérletekben lehet szert tenni, és itt történt az, hogy a hiba segítségünkre sietett.

A klinikai megfigyelésektől vérszemet kapva, kedvezőtlen esélyeink ellenére kipróbáltuk, hogy mit csinál a citrin a skorbutétrenden tartott tengerimalacokkal. Az eredmény teljesen váratlan volt. A skorbutban adott citrin nemcsak meghosszabbította az életet, de megakadályozta a gyors súlyvesztést és csökkentette a vérzéseket. A kontrollokhoz viszonyított különbség szembeszökő volt és ez a citrin vitamin-természete mellett szól. Ezért anyagunkat P-vitaminnak neveztük el.* A

* P-vitaminnak neveztük el a permeabilitásra való hatása és a paprika miatt. Egy másik indokom is volt, hogy a P-t – amelyik az ábécének nem az első szabad betűje volt – válasszam. Rájöttem, hogy a vitaminokkal végzett munka tele van buktatókkal, és reméltem, hogy amennyiben a citrin vitamin-jellegét nem sikerülne igazolni, ez még azelőtt történik, hogy a vitaminológia elérte volna a P betűt, és ilyenformán munkám nem okoz majd zavart. Azt is tudtam, hogy az ortodox vitaminológusokat felizgatja az ábécében tett ugrásom.

kontroll-állatok és a citrint kapott állatok közötti különbség elég nagynak látszott ahhoz, hogy mérési módszerként használjuk fel, és ennek segítségével megállapíthattuk a P-vitaminra vonatkozó alapvető adatokat. Bentsáth kimutatta, hogy a hatékonyság szempontjából lényeges az egész glikozidmolekula érintetlensége, az aglikonok (a festék cukor nélkül) inaktívak; de a fenilbenzopironok sorának nem valamennyi tagja hatékony. A citrin mindkét összetevője, a heszperidin és az eriodiktiol glikozidok egyformán hatékonyak mutatkoztak (Bentsáth, Rusznyák és Sz.). A kvercetin, a legszélesebb körben elterjedt flavont azonban, annak ellenére, hogy máskülönb van farmakológiai aktivitása, kísérleteinkben hatástalannak tapasztaltuk. A kvercetin mindössze annyiban különbözik az eriodiktiol glikozidtól, hogy a 2. és 3. szénatomok között kettős kötés van és a 3. szénatom egy $-OH$ gyököt tartalmaz. Ez az apró eltérés a molekulában elegendő ahhoz, hogy a hatékonysága megszűnjék. Mindez hasonlóan tetszett a lipokrómok esetéhez, amelyben a nagy csoportnak csak néhány tagja hatékony provitaminként. Bentsáth A. megközelítőleg

Természetesen súlyos tévedés lenne, ha a P-vitamint "permeabilitási vitaminnak" neveznénk. Ez körülbelül ugyanazt jelentené, mintha Burr és Burr anyagaikat "farkleesés elleni" vitaminnak neveznék. Burrék kimutatták, hogy a patkányok elveszítik farkukat, ha bizonyos zsírsavak hiányoznak a táplálékukból. Ezeknek a savaknak a szerepük bizonyára nem az, hogy a farkat a helyén tartsák, éppen így a P-vitaminnak sem az a funkciója, hogy a kapillárisok jó állapotáról gondoskodják. Hogy a kapillárisok ennek az anyagnak a hiányában megbetegednek, az másik kérdés.

a citrin szükséges napi adagját is megállapította. Ez körülbelül 0,2–0,4 mg, ugyanis 1 mg citrinnek teljes, míg 0,2 mg-nak szubmaximális hatása volt.

Az aszkorbinsavhoz hasonlóan a P-vitamin, szemben néhány egyéb vitaminnal, γ mennyiségekben nem hatékony. A napi adag megfelel az aszkorbinsav napi adagjának. A citrom körülbelül ötször annyi aszkorbinsavat tartalmaz, mint citrint. Az aszkorbinsav napi adagja megközelítőleg 1,5 mg, durván ötször annyi, mint a citriné.

Tehát kísérletünk értékes eredményeket hozott és tisztázta az alapvető kérdéseket. Csak egyetlen, de nagy baj volt vele. Egy sorozaton belül a kísérletek egyértelmű eredményeket adtak, de a különböző kísérletsorozatokban a hatékonyságot nem lehetett egyformán reprodukálni. A mérőmódszer kényes volt, és úgy látszik, előttünk ismeretlen tényezők is közrejátszottak. Az egyik ilyen tényező Bentsáth és Das kísérletei szerint a kísérlet előtt adagolt táplálék minőségével függött össze. De még az sem biztosította az eredmények állandóságát, ha a táplálást helyesen végezték. Ahogyan kísérleteink előrehaladtak, a kontroll és a citrint kapott állatok közötti különbség egyre kevésbé vált kifejezetté. Még későbbi kísérletek során a citrin nem tudta kivédeni a vérzéseket, majd nem akadályozta meg a súlyvesztést, és végül állataink életét két hét helyett mindössze egy héttel hosszabbította meg. Egy laboratórium, amely kérésünkre nagyszámú állaton a legnagyobb gondossággal megismételte munkánkat, egyáltalán semmi különbséget sem tapasztalt. Mindez rendkívül zavaró volt. Így akkor sem ért meglepetés minket, amikor Zilva közzétette heszperidinnel szerzett negatív eredmé-

nyeit.

Nagyszámú kísérletet végeztünk azzal a céllal, hogy kiderítsük ennek az ellentmondásnak az okát. Végül Bentsáth azt tapasztalta, hogy valószínűleg kísérleti hiba játszott közre, amely nélkül soha nem érhattük volna el eredményeinket. Bentsáth szerint az eredmények közötti eltérések valószínűleg annak tudhatók be, hogy skorbut-diétánk még tartalmazta nyomokban az aszkorbinsavat, ami azonban nagyon kevés volt ahhoz, hogy a legkisebb mértékben is befolyásolja a skorbut kialakulását. Úgy látszik, az állat csak akkor tudja hasznosítani a flavonokat, ha az aszkorbinsav legalább nyomokban szintén jelen van, vagy ha megfordítva akarjuk mondani, az aszkorbinsav nyomnyi mennyiségeit csak P-vitamin jelenlétében képes az állat felhasználni.

Peroxidáz-rendszerünk az elmondottakra egyszerű magyarázattal szolgálhat. Huszák már kimutatta, hogy az aszkorbinsav és a flavonok ugyanabban a reakcióláncban szerepelnek. Ha ez érvényes az állatokra, az ember azt várhatja, hogy az egyik anyag a másik teljes hiánya esetén nem lehet hatékony. Tehát a flavon aszkorbinsav nélkül nem fejtheti ki teljes hatását. Valószínűleg az aszkorbinsav sem képes hatni igen kis mennyiségű flavon nélkül.*

Tudatában vagyok a nehézségeknek és bizonytalanságoknak. Egy új területen tett első lépések meglehetősen rázósak, és teljes bizonyossággal csak akkor kerülhetjük el a tévedést, ha nem dolgo-

* Az aszkorbinsav sokkal könnyebben lebomlik, mint a heszperidin, és a skorbutos diéta valószínűleg tartalmaz nyomokban P-vitamint.

zunk vagy legalábbis elkerüljük az új területeket.

Akármi legyen is a magyarázat, megmarad az a tény, hogy bizonyos körülmények között a P-vitamin feltűnően hatékony. Meghosszabbítja az életet, megakadályozza a súlyvesztést és részben elejét veszi a skorbutos tüneteknek, elsősorban a vérzéseknek. Remélhető, hogy a P-vitamin mérésére rövidesen találnak egy jobb módszert, bár az eredményeket befolyásoló tényezőket még nem ismerik teljesen.

Megmarad még egy másik tény is. Ez a munka fényt derített az anyagok egy csoportjának a hatékonyságára, és úgy látszik, hogy a betegségek elleni harcban az orvosok fegyvertárát hasznos eszközzel gyarapította.*

A szerző nagy mennyiségű citrint preparált azzal a céllal, hogy szétossza azok között a klinikusok között, akik alig várták, hogy kipróbálják ezt a vitamint. Természetesen ezek a kísérletek nem tisztázhatták a terápiás alkalmazás problémáit. Ezek a problémák nagyon hosszú tapasztalatot kívánnak, és ezek az első próbálkozások csak arra voltak elegendők, hogy rámutassanak ennek az anyagnak a hasznosságára. A hajszálerek rezisztenciájára és permeabilitására való hatás egészen kifejezett. Gyógyító hatása vérzéses hajlam, a haemorrhagiás

* Az anyagot többnyire intravénásán alkalmazták. Mint-hogy a citrin egyik összetevője, a heszperidin, nem oldódik, veszélyes szövődmények lehetősége miatt injekcióra alkalmatlan. A másik összetevője, az eriodiktiol glikozid azonban oldható, és minden ártalmas hatás nélkül befecskendezhető. A vegyület jellegéből következik, hogy nem szabad a milligrammok tört részét alkalmazni, hanem az adag napi 25–200 mg kell legyen.

diathesis vascularis típusában szintén meggyőző. Az ismeretlen eredetű különböző belső vérzésekre (bél-, vese-, fogínyvérzésre) is hatással van, de úgy látszik, ez a hatás nem korlátozódik a vérzésre. Az akut nephritis néhány esetében észlelt eredmények feltűnőek voltak (Lajos A.), és ez bármely olyan esetben elvezethet végül a P-vitamin alkalmazásához, amely nephritisszel fenyeget. A szepszissel és a polyarthritisszel szerzett tapasztalatokat rendkívül nehéz megítélni, de a megfigyelések semmi esetre sem nevezhetők kiábrándítóknak.

Ez utóbbi megfigyeléseket csak abban a reményben idéztem, mert esetleg arra ösztökéli a klinikusokat, hogy a P-vitamint szélesebb körben próbálják ki, ugyanis csak a széles körű tapasztalat segít majd hozzá a végleges indikációk felállításához.

A P-vitamin sorsát a szervezetben csak erőteljes kutatómunka tisztázhatja. Huszák első kísérletei arra mutatnak, hogy ez a vitamin nem halmozódik fel vagy bomlik le az állatban észrevehetően. Mégis, amint azt Rusznyák osztályán Armentano észleli, a P-vitamint embernek több napig kell adagolni, mielőtt a kiválasztása megkezdődne és elérné a tetőfokát. Ez arra mutat, hogy a P-vitamin-hiány elterjedt. Úgy látszik, hogy a P-vitaminnal bőven ellátott lázas betegek (polyarthrititis) rögtön kiválasztják ezt az anyagot, és képtelenek a visszatartására.

(1937)

EGÉSZSÉG, BETEGSÉG ÉS A VITAMINOK

Az előző fejezetben megállapítottam, hogy a P-vitamin bizonyos vérzékeny eseteket meggyógyít. Ezzel valami meghökkentőt, ha nem zavarba ejtőt mondtam. Az iskolában azt tanultuk, hogy a vitaminoknak csak a vitaminhiányos állapotokban van jótékony hatásuk. Ezeknek a vézéses betegeknek a tápláléka semmiben sem különbözött az átlagos emberi tápláléktól, ilyenformán semmi okunk sincs feltételezni, hogy kóros állapotuk voltaképpen avitaminózis. De ha erről van szó, akkor a P-vitaminra úgy kell tekinteni, mint egy farmakológiai hatékonyságú terápiás szerre, és ez ismét csak ellentmondásban van általánosan elfogadott nézeteinkkel.

A P-vitamin esetét mint kuriózumot elutasíthatnánk, ha az utóbbi időben a klinikai kutatómunka nem gyűjtött volna össze jó néhány hasonló megfigyelést. Az egyes vitaminok izolálása és szintézise lehetővé teszi, hogy az orvos ezeket az anyagokat viszonylag nagy mennyiségben adagolja betegeinek parenterálisan. A vitaminok ilyen alkalmazása meglepő megfigyelésekhez vezetett. Jelentéseket olvasunk a C-vitamin tüdőgyulladásban és myastheniában, a B-vitamin neuralgiában, ideggyulladásban, sőt még alkoholos ideggyulladásban is kifejtett jótékony hatásáról. Említettem, hogy a P-vitaminnak hasonló hatása van akut nephritisben és szepszisben, helyreállítja a kapillárisok rezisztenciáját és permeabilitását. Ezek az állapotok mind avitaminózisok lennének? Ez lehetetlen.

Vagy a vitaminok úgy szerepelnének ezekben az esetekben mint specifikus gyógyító hatású anyagok? Ez ugyanúgy lehetetlennek látszik. Bizonyos, hogy elképzeléseinkben valami alapvetően hibás.

Azt hiszem, az okozza a zavart, hogy az állatkísérletek csúnyán félrevezettek bennünket. Az állatkísérletek segítettek a vitaminokkal kapcsolatos ismereteink megalapozásában, de az egészség és betegség sokkal kényesebb kérdésében tévútra vezettek. Hibát követtünk el, amikor azt neveztük “egészségnek”, amikor az állat nem szenvedett skorbutban, beriberiben és így tovább. Egészségről beszéltünk, amikor egy védett ketrecben elhelyezett tucatszintű állat jól fejlődött. Röviden úgy vélem, a skorbut és a beriberi nem a betegség első jelei, hanem a halált megelőző tünetcsoportok. A növekedés abbamaradása úgyszintén az egészség súlyos károsodását jelenti. A “teljes egészségtől” a fejlődés első zavaráig, vagy a skorbut tüneteinek az első megjelenéséig hosszú út vezet. (Ez vonatkozhatnék a Rumpel-Leede tünetre is.)

Ennek megfelelően a skorbut megelőzéséhez elégséges vitaminmennyiség és az optimális kondícióknak fenntartásához szükséges vitamin mennyiség között nagy a különbség. Ez a részleges avitaminózis rendkívül elterjedt, és azt hiszem, hogy az emberiség nagyobb része ebbe a csoportba sorolható. “Teljes egészségnak” azt az állapotot nevezem, amelyben az egészség már nem javítható tovább, amelyben az ártalmas behatásokkal szemben a legnagyobb ellenállásunk van, és amelyben a leginkább bírjuk a megterhelést, és a legjobban fejtjük ki képességeinket. Egy védett ketrecben

csücsülő tucatnyi tengerimalac a teljes egészségről vajmi keveset mondhat számunkra. A civilizált körülmények között élő ember ezekhez a mindentől óvott állatokhoz hasonlítható. Egészen jól érezheti magát és vitaminhiányának a legkisebb jelét sem mutatja, de alulmarad, ha hirtelen le kell küzdenie egy fertőzést, ha valamilyen sérüléssel kerül szembe, vagy ha véletlenül valamilyen, például hajszálér-rendszere meggyengül. Alulmaradásának az eredményét az orvos “tüdőgyulladásnak” vagy “vesegyulladásnak” nevezi majd, és dicséri a vitaminok gyógyító hatását. De amit akkor csinál, amikor a vitaminokat alkalmazza, az csak annyi, hogy megfizeti a természetnek a régi adósságot, azt adja meg a testnek, ami megilleti, és amit az olajozott működéséhez igényel.

Mindent összevetve: a vitamin szükséges napi adagja nem az a mennyiség, amely a skorbut megelőzéséhez szükséges. Sir John B. Orr szavai a vitaminokra vonatkoztatva: addig kell növelnünk a vitaminok mennyiségét, amíg a további növelés nem javítja már az egészséget. Ez a helyes napi adag, amely, mint azt fent meghatároztuk, a tökéletes egészséget biztosítja.

Mint kísérletező ember az állatkísérlet meg nem felelő voltát állatkísérlettel próbálom bemutatni. Néhány évvel ezelőtt Jeney és Gugyi az aszkorbinsav kedvező hatásáról számoltak be kísérletes diftériában. Azóta ezeket a kísérleteket alaposan megtoldották, és ma általánosan elfogadott, hogy az egészséges (nem skorbutos) tengerimalacokat C-vitamin masszív adagjaival meg lehet védeni a diftériatoxinnal szemben. Ez a megfigyelés teljesen hasonló a fent idézett klinikai megfigyelésekhez.

Ennek az eredménynek a helyes magyarázata nem az, hogy az aszkorbinsav antitoxin, hanem az, hogy hibát követtünk el, amikor skorbutban nem szenvedő állatokat normális, egészséges állatoknak nevezünk. Ha az aszkorbinsav növeli a diftéria elleni rezisztenciát, ez azt jelenti, hogy fokozza az állat egészségét. Az olyan egészség, amelyet fokozni lehet, nem “teljes egészség”. Ez a kísérlet pusztán azt mutatja, hogy a tengerimalac “teljes egészségben” tartásához masszív adagokban adott C-vitamin szükséges.

Ezt a megállapítást számokkal is alá tudom támasztani. S. S. Zilva azt tapasztalja, hogy állatainak tökéletes kondícióban tartásához napi 2 mg aszkorbinsavat kell adnia. Ugyanakkor csodálkozva veszi észre, hogy ahhoz, hogy állatait maximálisan telítse, tízszer annyi aszkorbinsav kell, és azt kérdezi: vajon szükséges-e az egészséghez ez a maximális telítettség? Inkább kevesebbet ad. Napi 20 mg aszkorbinsav egy tengerimalacnak nagyon is túlzottnak tetszik akkor, amikor az ember adagja 25–50 mg. Állatai napi 2 mg mellett gyönyörűen szaporodnak, tehát azt gondolja, hogy a maximális telítés fényűzés. De ha állatainak diftériatoxint adott volna, valószínűleg azt tapasztalja, hogy aszkorbinsavval telített állatai jobban tűrik, mint azokat, amelyeket 2 mg-on tartott, és eljutott volna arra a következtetésre, hogy az az egészség, amelyet még javítani képes, nem lehet maximális.

De gondolkozzunk csak egy percig azon, hogy a napi 20 mg aszkorbinsav vajon tényleg ennyire hihetetlen mennyiség-e egy tengerimalac számára. Válaszoljunk először egy másik kérdésre: mit jelent az, hogy a vitamin, és az aszkorbinsav miért vita-

min a tengerimalac és miért nem vitamin a nyúl számára? A tengerimalacokat a maguk eredeti, trópusi örökzöld környezetében bőségesen ellátja aszkorbinsavval az egész évben. Minden egyes elfogyasztott levéllel árad a szervezetükbe az aszkorbinsav. A természetben nincs fényűzés. Minthogy a tengerimalacnak nem volt szüksége az aszkorbinsav előállítására, elfelejtette, hogy miképpen kell előállítani. A nyúl ezt nem engedhette meg magának, mert a mi éghajlatunk alatt télen, amikor nincs zöld eleség és aszkorbinsavhoz nem lehet hozzájutni, elpusztult volna skorbutban. Ilyenformán az, hogy a tengerimalac képtelen előállítani a saját aszkorbinsavját, a környezetéhez történő alkalmazkodásának az egyik megnyilvánulása. Valamennyi állat tökéletesen alkalmazkodik környezetéhez, és ez természetes, ennél semmivel sem több. Az elégséget jelentő "környezet" szempontjából a zöldnövényzet élelmet jelent a tengerimalac számára egész évben. Egy 300 g-os kicsiny tengerimalac naponta körülbelül 120 g zöldet fogyaszt el. Ez a mennyiség mintegy 20–60 mg aszkorbinsavat tartalmaz, s körülbelül ez az a mennyiség, amely Zilva szerint állatainak a telítve tartásához szükséges. Ennyi az az aszkorbinsav-mennyiség is, amely egy tengerimalacot megvéd a diftériától, ez az a mennyiség, amely a tengerimalacot teljes egészségben tartja, amelyen túl az aszkorbinsav további növelése nem fokozza már a rezisztenciát és nem emeli a szervezet aszkorbinsav-koncentrációját. Az ember nem tehet többet, mint hogy az állatot telíti aszkorbinsavval.

Azt várom, hogy minden egyes vitamin helyes napi adagjával kapcsolatban végül kiderül majd,

hogyan ez az a vitaminmennyiség, amelyet az állat eredeti környezetében fogyasztott.

Amikor a vitaminok "terápiás hatásáról" olvasok, mindig fejtörést okoz nekem egy probléma: mi történt volna ezekkel a betegekkel, ha betegségük előtt elegendő vitamint kapnak? Egy betegséget sokkal könnyebb megelőzni, mint meggyógyítani, és ha ezek a betegek elég vitamint kaptak volna, valószínűleg egészségesek maradnak.

Ez vezet engem ahhoz a legfőbb és legbonyolultabb problémához, amely kutatóként mindig foglalkoztatott.

Tanulmányaimat orvostudománnyal kezdtem, és öt évet töltöttem mindazon betegségek ezreinek a tanulmányozásával, amelyekben mi, emberek, szenvedünk. A következő húsz évet mint biokémikus, az élő természet csodálatos bonyolultságának, precizitásának, összhangjának és alkalmazkodóképességének csendes csodálatával töltöttem. Mindezekfölött azt szeretném tudni, hogy hol itt az elmentmondás. Az ember lenne az egyetlen tökéletlen teremtmény, amely csak a saját zsenialitása által létrehozott mesterséges eszközök segítségével képes életben maradni? Vagy testünk nem kevésbé tökéletes, mint az egyéb élő teremtményeké, csak éppen nem arra használjuk, amire készült? Azt gondolom, hogy e kérdés megválaszolásának nemcsak szentimentális vagy filozófiai érdekessége van. A válasz hatással lehet próbálkozásainkra, amelyekkel javítani akarjuk az egészséget, csökkenteni a szenvedést és növelni a boldogságot.

Meg vagyok győződve, hogy a természet sohasem hoz létre olyan tökéletlen rendszereket, amilyenek a testünk látszik. Az élet törvényei értel-

mében egy ilyen rendszer nem maradhat fenn.

Azt hiszem, hogy minden élőlénynek tökéletesnek és környezetéhez szigorúan alkalmazkodottnak kell lennie (különben elpusztulna). Valójában az élőlény nemcsak alkalmazkodik a környezetéhez, de része is annak. Az élet határait a nitrogéntartalmú anyag mennyisége határozza meg. Ez a keret mindig majdnem teljesen kitöltött és élő formában van jelen. Egyéniségünk látszólagos érzése csúnyán félrevezet bennünket. Bármely élő rendszer része a környezetének, az életre hívott anyag időleges formája. A dzsungelben élő állat csak egy sejtje, egy fogaskereke a nagyobb szervezetnek, a dzsungelnek, amelybe tökéletesen beleillik. Bármilyen tökéletlenség ebben az illeszkedésben magával vonná az állat könyörtelen kipusztulását.

Meg vagyok győződve, hogy az ember teste épolyan tökéletes, mint állattársainké, és látszólagos hiányosságai a felépítése és a környezete közötti diszharmóniából erednek. Az ember nem a nagyvárosok kövezetén jött létre. Kialakulása valamilyen dzsungelben számtalan éven át tartott, és szigorúan ennek a dzsungelnek az életéhez alkalmazkodott. Civilizációnk új keletű, és még nem nyomta rá bélyegét a testünkre. Ha egészségesek akarunk lenni, testünket vissza kell helyeznünk abba a környezetbe, amely számára kialakult.

Természetesen azt nem várhatják tőlünk, hogy visszatérjünk a dzsungelbe. De azért van a tudomány, hogy segítsen megtalálni: környezetünknek mely tényezői lényegesek, és ezeket a tényezőket segítsen elhozni otthonainkba. Ezek a tényezők sokrétűek: a sugárzás mennyisége, a levegő tisztasága, a zaj mértéke, az izommunka nagysága és a

fertőzés veszélyének a csökkentése stb. stb.

Testünk és környezete között egyik legfontosabb kapocs minden bizonnyal az élelem. Az élelem képében a környezet ténylegesen bekerül testünkbe és átjárja azt. A vitaminok e kapcsolat koordinálásában kétségkívül a legfontosabb tényezők egyikének számítanak.

Meg vagyok győződve, hogyha testünket visszahelyeznénk abba a környezetbe, amely számára ez a test kialakult, éppen olyan tökéletesen működnék, mint a többi élőlény teste. A betegség a szervezetünk és a környezetünk közötti diszharmonia kifejeződése. Olyan nem létezik, hogy egészséges vagy nem egészséges. A hal rosszul érzi magát a földön, a nyúl meg a víz alatt. Minden attól függ, milyen környezet számára alakultunk ki [...]

Szilárdan hiszek az emberi test tökéletességében, és azt gondolom, hogy a vitaminok fontos tényezők a környezettel történő koordinálásban. A vitaminok, ha helyesen értelmezik és alkalmazzák őket, segítségünkre lesznek az emberi szenvedés olyan mértékű csökkentésében, amelyet ma a legfantáziadúsabb elme sem képes elképzelni.

(1937)

AZ IZOMRÓL

“FELVETNI EGY JÓ PROBLÉMÁT, KÉR-
DEZNI EGY JÓ KÉRDÉST, MÁR A MUNKA
FELÉT JELENTI.”

(Perspectives in Biology and Medicine, 1962)

AZ IZOM KÉMIAI SZERKEZETE

A biológia célja az élet megértése. Az életet azonban az anyagtól elválasztani nem tudjuk; élet magában nincs, és így azt magában nem vizsgálhatjuk. Amit életnek nevezünk és amit tanulmányozhatunk, az nem más, mint az életjelenségek, az anyag bizonyos reakciói, mint a légzés és szaporodás. A legősibb és legegyszerűbb életjelenségek egyike a mozgás. Testünkben a mozgás szerve az izom, melynek utolsó nyolc évem szenteltem. Vizsgálataim elsősorban a gerincesek harántcsíkolt izmára vonatkoznak, s így erre fogom korlátozni mondanivalómat.

Az izom mint vizsgálati anyag, a biológusnak rendkívüli előnyöket nyújt. Működése szabad szemmel is jól látható, és aránylag durva eszközökkel mérhető, robbanásszerű gyorsasággal megy végbe, és intenzív energetikai és kémiai változások kísérik, melyek sokkal jobban regisztrálhatók, mint a parenchimás szervek lassú működése. Mindez az izmot a biológiai kutatás klasszikus tárgyává tette, és a századfordulóig a fiziológia jelentős része az izomfiziológia. Lényegében talán mindegy is, melyik szervet vizsgáljuk, mindegyik elvezet bennünket az élet egyszerű alaptörvényéhez. Bármennyire különbözőeknek is látszanak a különböző szervek funkciói, azok lényegükben mind ugyanazoknak az egyszerű alaptörvényeknek a különböző célokhoz szabott alkalmazásai csupán.

Ha egy izmot megdarálunk és a darálékot vízzel

kivonjuk, a fehérjék kisebbik fele oldatba megy, a nagyobbik fele félszilárd kocsonya alakjában hátramarad. A két rész meglehetősen élesen válik el egymástól. A kolloidkémiai analízis azt mutatja, hogy az oldódó proteinek részecskéi gömb alakúak, a nem oldódóké fibrózusak, rost vagy pálcika alakúak.

A gömb alak egyik következménye a mozgékonyosság. Ilyen részecskék struktúráját nem alkotnak, és a természet éppen ott alkalmazza őket, ahol nagy mozgékonyagra, alacsony viszkozításra van szükség, mint a szövet- és sejtnedvekben. A pálcika alakú részecskék nehezen mozognak és könnyen állnak össze struktúrává. Ahol a természet ilyen akar építeni, fibrózus részecskéket használ.

A proteinkémia e téren sajátos tévedésnek esett áldozatul. A kutatók először a könnyen kivonható proteineket vizsgálták (szérum, tej, tojásfehérje), nem véve észre, hogy figyelmüket így öntudatlanul a globuláris proteinekre korlátozták. Így amit ma proteinkémiának nevezünk, az leginkább ezeknek az aránylag egyszerű globuláris proteineknek a kémiája. Az élő alapstruktúra figyelmen kívül maradt. Az ezeket alkotó fibrózus részecskék oly szilárdan vannak összeépítve, hogy azokat denaturálás nélkül szétszedni és így a vizsgálatnak hozzáférhetővé tenni nem tudjuk. Egyetlen kivétel az izom. Itt a mechanikus funkció következtében az egyes részecskék úgy vannak összeillesztve, hogy azokat aránylag enyhe kémiai beavatkozással szét tudjuk szedni. Az oldhatatlan izomfehérjék vizsgálata tehát új korszakot jelent a biokémiában, mert itt először van alkalmunk tanulmányozni magának az élő alapstruktúrának a törvényszerűségeit.

Mielőtt a kémia módszereihez folyamodnánk, lássuk először, mire tanít a mikroszkóp.

A harántcsíkolt izom mintegy 0,1 mm vastag rostokból áll. Egy ilyen rost lényegében nem más, mint a még kisebb, mintegy 0,001 mm vastag rostocskák, fibrillumok kötege. A fibrillumok a rost térfogatának nagyobbik felét foglalják el. Az oldódó globuláris proteinek nagy része köztük foglal helyet, míg a fibrillumok maguk félszilárdak, kocsonyásak. Ezek az izom kontraktilis elemei. Az izom azért húzódik össze, mert fibrillumai rövidülnek.

Az utolsó években az elektronmikroszkóp felfedezése által a láthatóság alsó határa százszorosára bővült. Behatoltunk egészen a molekulák világáig. Ez az elektronmikroszkóp Hall, Jakus és Schmitt kezében mutatja, hogy a fibrillum maga sem más, mint még kisebb, mintegy 50–250 Å (0,000 005–0,000 02 mm) vastag rostocskák kötege. Ezeket a kis rostokat protofibrillumoknak fogom nevezni.

De ha ezek a protofibrillumok egyenesen és megszakítás nélkül futnak végig az izomroston, úgy azt kellene várnunk, hogy az egész hosszában egyenletes kettőtörést mutat. Ehelyett az izomban erősen kettőtörő **A** és izotróp **I** szegmentumok váltakoznak. Ez a harántcsíkoltat a biológusoknak már sok fejtörést okozott. Kielégítő magyarázatukat nemrég Gerendás M. és Matoltsy G. adták meg, kimutatva, hogy az izotróp szegmentumokban egy fibrózus protein van, melynek kettőtörése ellenkező előjelű, mint a fibrillum anyagáé, és így az utóbbi kettőtörést közömbösíti. Ha a protofibrillumokat a rostból kioldjuk, az izom pozitív kettőtörése negatívvá válik, és most az előbbi izotróp-

csíkok azok, amelyek kettőstörőek, míg az előbbi Q-csíkok most izotrópok. Banga Ilona és jómagam már évekkkel ezelőtt kimutattuk, hogy az izomban van egy fibrózus protein is, melynek kettőstörése ellenkező előjelű, mint a kontraktilis anyagé. Hogy ez miért van így szegmentálisan elrendezve, erre az igen érdekes kérdésre nem térhetek ki, de meg kell említenem Székessy Vilmos vizsgálatait, melyek kimutatták, hogy összefüggés van az izom működése és a szegmentumok átmérője között: minél gyorsabb működésű az izom, annál keskenyebb a csíkolat, ami arra mutat, hogy a szegmentális elrendeződés a mechanikai működés következménye. Ennek az új proteinnek az ismerete talán meg fogja nyitni az útját annak, hogy az izmot a maga egészében megérthessük. Jelen előadásom tárgya ennél szerényebb, és csak a protofibrillumok összetételére vonatkozik.

Vizsgálataink legfőbb eredménye az, hogy kimutattuk: a protofibrillum két proteiből van felépítve, melyek közül az egyiket felfedezője, Straub F. B. aktinnak nevezett el, míg a másikat miozinnek neveztek, bár sajátosságai lényegesen eltérnek korábbi szerzők miozinjának sajátosságaitól. A két protein, ha megfelelő viszonyok között hozzuk össze őket, egy komplex proteinné, aktomiozinná egyesül. Az aktomiozint Weber H. H. eljárása szerint könnyen hozhatjuk szál formájába. Az így húzott aktomiozin szál az izom főtt vizes kivonatába téve összehúzódik. Az aktomiozinnak ez az összehúzódása tudományos pályafutásomnak legmélyebb benyomása. Ez az összehúzódás azt jelentette, hogy sikerült az egyik legmisztikusabb életfunkciót, a mozgást, az izom alkotó elemeivel *in*

vitro létrehozni és így az egzakt vizsgálatnak hozzáférhetővé tenni. Mai előadásom tárgya tulajdonképpen ennek analízise.

Első kérdésünk az lehet, hogy az izomkivonatnak milyen anyagai azok, melyek az aktomiozin-szálat összehúzódnásra bírják. Erre a kérdésre aránylag könnyű volt megfelelni. Három anyag szerepel itt, a kálium-ion, a Mg-ion és az ATP. K, Mg és ATP keveréke ugyanúgy hat, mint az izomkivonat.

E közül a három anyag közül az ATP-ről külön kell pár szóval megemlékezni, mert az egész izomélettan középpontjában áll. ATP kémiai név rövidítése; jelentése adenozintrifoszfát. Ez bonyolult organikus molekula, mely egy bázisból, az adeninből, egy szénhidrátból és három foszforgyökből áll. E közül a három foszforsavgyök közül legalább kettő közvetlenül van egymáshoz kapcsolva mint pirofoszfát. Ez a pirofoszfát-kötés azért olyan fontos, mert létrejöttéhez 11 000 kalóriára van szükség, amely energia ismét felszabadul, ha a kötés elhasad. Az izom energiájának ez a forrása. Ha az izomnak energiára van szüksége, úgy az ATP pirofoszfát kötését hasítja el. Maga a tejsavas erjedés pedig, mely az izomban folyik, nem más, mint a szénhidrát-molekulának az energiaszegényebb tejsavvá való átalakítása oly módon, hogy a felszabaduló energia egy, az ATP-molekulán létrejövő pirofoszfát-kötést létesít.

A kontraktilis anyagot alkotó mindkét proteinek, az aktinnak és miozinnak sajátosságai rendkívül érdekesek. Az aktin különös érdekessége az, hogy mind fibrózus, mind globuláris alakban létezhet, és a globuláris aktint szemünk előtt alakíthatjuk át

fibrózussá és vizsont. Ez az átalakulási ciklus valószínűleg minden kontrakciónál lezajlik. Lényegében nem más, mint hogy a globulusok gyöngyfűzer alakjában állanak össze vagy ismét globulusokká esnek szét. A folyamatot ionok kormányozzák. Az ion-antagonizmus itt élesen figyelhető meg. Ca és Na, mint ahogy ezt Straub és iskolája kimutatta, mindketten át tudják a globuláris aktint fibrózussá alakítani, de együtt egymás hatását közömbösítik. Természetesen a globuláris és fibrózus aktin sajátosságai teljesen különbözőek, úgyszintén különböző a kétfajta aktinból készített aktomiozin is. Csak a fibrózus aktin aktomiozinja kontraktilis. Az izomban uralkodó viszonyok alapján feltételezhetjük, hogy az aktin kétirányú átalakulása ezredmásodpercek alatt létrejöhet.

Nem kevésbé érdekesek a miozin sajátosságai. Legfeltűnőbb tulajdonsága az, hogy bár hidrophil kolloid, neutrális sók, mint NaCl vagy KCl egész kis koncentrációi kicsapják. Ha a kicsapást megfelelő körülmények közt végezzük, kristályosán válik ki és könnyen átkristályosítható. Vizsgálataink legnagyobb részét ilyen átkristályosított miozinnal végeztük.

Ennek a kicsapódásnak a magyarázatát az analízis adta meg. A sómentes miozin anodikus, negatív elektromos töltésű. Ezt a töltést a COOH csoportok disszociációjából kapja. Ha a miozinhoz növekvő mennyiségben adunk KCl-t, a miozin pozitív K-ionokat köt, ahogy a KCl koncentrációt fokozzuk, mind többet. Ha a miozin mennyiségéül önkényesen 17 600 grammot veszek, akkor 0,025 M KCl-ben az egységnyi mennyiség 3 ekvivalens K-t kötött meg, ami az eredeti negatív töltést éppen

leközömbösíti, mire a miozin oldatából kiválik. Persze közömbösítésen nem azt kell értenünk, hogy pozitív elektromosság egyesült a negatívval, hanem hogy az eredeti negatív és a K-val megkötött pozitív töltések egymás hatását kifelé egyensúlyozzák. Ha most fokozzuk a KCl koncentrációját, a miozin tovább köt K-t, de most nemcsak K-t, hanem ekvivalens mennyiségben Cl-t is köt (Hermann Vilma), ami által új, elektromosan töltött pontok keletkeznek és a protein ismét oldatba megy. 17 600 g-onként két K és Cl adszorpciója elég, hogy a miozin újra oldatba menjen.

Mg és Ca-hoz különösen nagy a miozin affinitása, és ha az ionok egyforma mennyiségben vannak jelen, leginkább a Ca, azután a Mg és végül a K kötődik a miozinhoz.

A következő kérdés, amely bennünket itt most érdekel, a miozin az ATP-hoz való viszonya. Banga Ilona kimutatta, hogy a miozin ATP-t adszorbeálni képes. Hermann Vilma pedig kimutatta, hogy ez a kötés rendkívül intenzívvé válik, ha a miozin eredeti negatív töltését Ca vagy Mg közömbösíti, és ha ezenfelül még kálium-ionokat is kötött a miozin. Az ATP-anionoknak neutrális reakciónál három negatív töltése van, de Hermann görbéi mutatják, hogy már egy K-ion megkötése elegendő, hogy a miozin egységnyi mennyisége ATP-t tudjon kötni.

A miozin egyik legérdekesebb sajátága az Engelhardt és Ljubimova által felfedezett és Laki K. és Banga Ilona által behatóan tanulmányozott ATP-bontóképessége. A miozin könnyen hasít le az ATP-molekulából egy foszforsavat, elbontva evvel a pirofoszfát-kötést és egyben felszabadítva az oda

beépített energiát. Nem bocsátkozhatom ezeknek az igen bonyolult és érdekes reakcióknak a tárgyalásába, de meg kell említenem, hogy ezek a reakciók nemrég új fényt vetettek a miozin szerkezetére. Banga és Guba Ferenc kísérletei ugyanis arra a megismerésre vezettek, hogy a miozin nem egységes anyag. A miozinrészecske egy bonyolult rendszer, mely egy vázból és a hozzákötött globuláris proteinek egész sorából áll. Ezek a proteinek egész furcsa sajátosságokkal bírnak. 0,1 n sósavban egy negyedóráig főzhetők, anélkül, hogy elpusztulnának. Ezeket az anyagokat elneveztük protineknak, megkülönböztetésül a többi proteinektől. Magában a váz fermentatív inaktív, és váz nélkül a proteinek is inaktívak. Csak együtt tudnak összehúzódní vagy ATP-t bontani. A proteineket a vázról leszedhetjük és oda visszatehetjük. A különböző fermentatív hasításokat más és más protein végzi. Guba F. behatóbban tanulmányozta azt a proteint, amely a miozint képessé teszi arra, hogy a belőle készített aktomiozin ADP jelenlétében összehúzódjék. ADP (adenozin-difoszfát) az az anyag, amely ATP-ből keletkezik, ha belőle a miozin egy foszfátot már lehasított. Ez a protein egy akromoproteid, és egy rendkívül érdekes festéket, kromofor-csoportot tartalmaz. A protein csak akkor aktív, ha a festék redukált alakjában van jelen. Oxidálva a festék sárga és ultraviolet fényben kékessárga fluoreszcenciát mutat. Mint ahogy adszorpciós spektruma mutatja, ez a festék nem azonos egyik ismert festékkel sem. Kétségtelen, hogy ez a festék a biokémiában még igen fontos szerepet fog játszani.

Az idő rövidsége nem engedi, hogy az ATP-hasítás részleteibe bocsátkozzam. Magáról az

ATP-hasításról csak annyit szeretnék megjegyezni, hogy az bármennyire érdekes is, annak úgy, ahogy azt a miozin és ATP összekeverésénél megfigyeljük, nincsen sok értelme. Azt várhatjuk, hogy az izomban a miozin az ATP-t a kontrakciós ciklus egy bizonyos pillanatában bontja csak el, abban a pillanatban, mikor az izomnak az energiára éppen szüksége van.

Megtárgyalva így az aktint és a miozint, nézzük most már, hogy mi történik, ha azokat összekeverjük. Hogy a két kolloid közt reakció jön létre, azt a magasba szökő viszkozitás mutatja. Mind az aktin, mind a miozin viszkozitása mérsékelt és normális, ami annak a jele, hogy a részecskék mindkét kolloidnál hosszúkásak, bot alakúak, de hosszuk mérsékelt, kereszt- és hosszszelvényük aránya, az ún. *axialis ratio*, nem túl nagy. A magasba szökő anormális viszkozitás azt mutatja, hogy a két kolloid olyan új anyaggá egyesült, melynek részecskéi igen hosszúak.

Ha sók hatását vizsgáljuk, úgy azt látjuk, amit a miozinon szerzett tapasztalatok alapján várni lehet. Sómentes közegben az aktomiozin igen hidrófil, erősen hajlamos a duzzadásra. Ha hozzá kevés sót adunk, úgy az aktomiozin, ha szuszpenzió alakjában volt jelen, kicsapódik, ha kocsonya alakjában volt jelen, zsugorodik. A zsugorodás csak mérsékelt. A zsugorodás tetőfokán is a kolloid még aránylag sok vizet köt. Ennek megfelelően az aktomiozin oldatában sókkal képzett csapadék igen laza, vízenyős. Ha a sók koncentrációját tovább fokozzuk, az aktomiozin ismét oldatba megy. Ha a sókoncentrációt magasra emeljük (2M), a viszkozitás leesik arra az értékre, amit az aktin és a

miozin egyenként adnának, ami annak a jele, hogy az aktomiozin alkotórészeire, az aktinra és miozinra esett széjjel.

Míg a sók hatása így magukban semmi meglepőt nem mutat, egész más a helyzet, ha ATP-t is adunk a rendszerhez. Kis sókoncentrációnál az aktomiozin most teljesen disszociál. Ha a sókoncentrációt kissé fokozzuk, az aktomiozin, ha szuszpenzióban volt jelen, hirtelen precipitál vagy, ha kocsonya alakjában volt jelen, úgy kontrahál. Mindkét folyamat sokkal intenzívebb, mint az imént. A csapadék egészen száraz, homokszerű, amiért is ezt a precipitációt szuperprecipitációnak, a gél megfelelő extrém zsugorodását kontrakciónak neveztem. Ha most a sókoncentrációt ismét egy kissé fokozom, az aktomiozin nemcsak hogy feloldódik, de disszociál is. ATP jelenlétében az aktomiozin csak két állapotban lehet jelen: a sókoncentrációtól függően vagy teljesen disszociálva, vagy teljesen kontrahálva. A disszociált aktomiozin nem is aktomiozin többé, csak aktin és miozin. ATP jelenlétében az aktomiozin tehát csak kontrahált (szuperprecipitált) állapotban létezhet. ATP jelenlétében, szobahőmérsékleten, kontrahálatlan aktomiozin nincsen.

Kolloidok precipitációja vagy zsugorodása a kolloidikában mindennapos jelenség. Oka rendszeren az elektromos töltés elvesztése. Előbb láttuk, hogy az ATP és az ionok a miozinon adszorbeálódnak és annak töltéseket adnak. Ha ez a töltés egy bizonyos minimumot túlhalad, úgy az aktomiozin szétesik. Ha a töltés a két érték közé esik, úgy az aktomiozin nem esik széjjel, de benne a töltések valahogy úgy rendeződnek át, hogy egymás hatását le tudják közömbösíteni, ami összehúzódásra vezet. Ami a

kontrakció belső mechanizmusát illeti, arról nagy valószínűséggel mondhatjuk, hogy az nem csupán töltések elvesztéséből, a micellumok összetapadásából áll, de hogy az egyes hosszú aktomiozin-részecskék valahogy meg is rövidülnek. Feltűnő különbség van a szálak és az izomrostok rövidülése között. A szál rövidülése izodiametrális, vagyis a szál egyszerre lesz rövidebb is meg vékonyabb is, szemben az izomrost anizodiametrális rövidülésével, melyben a rost rövidebb, de egyben vastagabb lesz. Van azonban a szál és az izomrost szerkezetében is egy különbség: a rostban a hosszú aktomiozin-részecskék a tengellyel párhuzamosan vannak elrendezve. Az aktomiozin szálakban teljes rendezetlenségben összevissza vannak. Azonban, mint ahogy azt Gerendás kimutatta, nyújtás által az aktomiozinból is készíthetünk szálat, melyben a részecskék a tengellyel párhuzamosan vannak elrendezve. Ilyen szál, ha ATP hatására rövidül, egyben vastagszik is. Ez nekünk még egy fontos dolgot árul el. Ha a részecskék a szállal koaxiálisak, úgy nyilván a részecskék közti hasadékok is koaxiálisak, így rövidülés azáltal nem jöhet létre, hogy a víz kilép, mert ettől a szál csak vékonyabbá lehetne. Hogy az ilyen rendezett szál rövidüljön, kell hogy az aktomiozin-részecskék maguk rövidüljenek. A kettőtörés eltűnése valószínűbbé teszi, hogy a részecskék valahogy meggörbülnek, összegyűrődnek.

Most már nézzük, hogy mindezek a megfigyelések mennyire segítenek bennünket az izomkontrakció megértésében. Vegyük egyenként a kontrakciós ciklus fázisait.

Az alapállapot a nyugalom. Első kérdésünk az

lehet, hogy a kivont miozin és az abból készített aktomiozin vajon azonos-e az izomban lévő miozinnal vagy aktomiozinnal. Erre a kérdésre határozottan nemmel felelhetünk. Az izomban minden jel szerint az egyes micellumokat valamilyen erők tartják össze egy összefüggő rendszerre. Hogy a miozint kivonhassuk, ezeket a kötéseket el kell tépniük. Ahhoz, hogy ezek a kötések elszakadjanak, a miozínrészecskéket ATPvel és adszorbeált ionokkal igen erősen fel kell töltenünk. Hogy az izomban levő miozin kioldódjék, ahhoz ATP-n kívül 0,5 M KCl-re van szükségünk. A kivont miozin már 0,1 M KCl-ben is oldódik, és a belőle előállított aktomiozin ATP jelenlétében már 0,20 M KCl-ben disszociál.

Ez a kolloidkémiai különbség azonban nem jelent, hogy az elemi folyamatok, mint az adszorpció, különböznek a kivont és az izomban lévő miozinban. Hermann Vilma kísérletei azt mutatják, hogy a kettő megegyezik, így azt várhatjuk, hogy a miozinmicellumok eredeti negatív töltését elsősorban az adszorbeált Ca-ionok közömbösítik. Izomban azonban igen kevés Ca van, és a Ca-hoz az aktinnak is igen nagy az affinitása, úgyhogy lehet, hogy a miozinnak nem is jut belőle. Mg azonban elég van. Koncentrációja éppen elegendő ahhoz, hogy a miozin negatív töltését közömbösítse, így ezt a töltést Mg vagy Ca és Mg közömbösítik. Ahhoz, hogy a miozin ezen túlmenőleg kössön kationt, ehhez se a jelenlevő Ca, se a Mg koncentrációja nem elegendő. Ehhez csak egy ion van elegendő koncentrációban: a K. A K^+ -koncentrációhoz hozzászámítjuk a jelenlevő Na^+ koncentrációját is, mert úgy látszik, a miozin

nem tud a kettő közt különbséget tenni. A miozin-részecske, ha annak molekulásúlya másfél millió, mintegy 240 K- plusz Na-iont fog adszorbeálni. A kérdés az, hogy milyen aniont köt meg a miozin. Az analízis azt mutatja, hogy az minden 3 K- vagy Na-ionra egy hármás negatív töltésű ATP-t köt meg. A miozinrészecskének tehát igen bonyolult elektromos struktúrája van, rengeteg + és - töltéssel, mely egymást nyugalomban egyensúlyozza, de nem közömbösíti.

Kevés kétségünk lehet az iránt, hogy az izomkontrakció és az aktomiozin *in vitro* kontrakciója vagy szuperprecipitációja azonos folyamatok, kolloidális jelenségek. A töltésnek jobb kiegyenlítődéskének kell lennie, melyet szekundér módon követ az összehúzódás. Így az ingerület is lényegében nem lehet más, mint a töltések kiegyenlítődése. Első kérdésünk azonban az kell hogy legyen: ez a kiegyenlítődésként miért nem jön létre a nyugvó izomban, miért nem húzódik össze a nyugvó izom, mikor ATP, aktin és miozin együtt vannak jelen? Erre a kérdésre Rózsa György kísérletei adnak választ. Rózsa dr. frissen izolált izomrostokat helyezett növekvő töménységű KCl-be. ATP-t nem adott az oldathoz, mert abból van a friss izomrostban elég. A kísérlet azt mutatja, hogy a rostok egy szűk KCl-koncentrációzónában összehúzódtak, afölött és alatt nem húzódtak össze. A kísérlet tökéletlensége miatt egy keskeny zónában az összehúzódás csak részleges volt.

Az izomrost a benne lévő ATP-vel hasonlóan viselkedik, mint az aktomiozin, amelyhez ATP-t adtunk. Az izom 0,16 M KCl-dal izotóniás, ez felel meg a szérum és a fiziológiás folyadékok (Ringer)

ozmotikus nyomásának is. Más szavakkal ez azt jelenti, hogy a nyugvó izomban a töltések éppen elérik azt a kritikus értéket, amely nem engedi meg az aktomiozinnak, hogy kontraháljon.

A meglepetés akkor jött, mikor Rózsa az enyhén hipertóniás folyadékhoz ATP-t tett. Erre a rostok összehúzódtak, egészen fel 0,45 M KCl-ig. Ez az eredmény megegyezik Buchthal és munkatársai észleleteivel. A legmeglepőbb azonban az, hogy a kontrakciónak ilyenénvaló előidézéséhez csak igen kevés ATP-re van szükség, amely szinte elenyészően csekély az izomban jelenlevő ATP koncentrációjához képest és nem elegendő ahhoz, hogy magában kontrakciót váltson ki, amihez aránylag sok ATP kell. Így a kontrakciót nem a rosthoz kívülről hozzáadott ATP okozta: az csak valamit csinált a rosttal, ami úgy változtatta meg, hogy az saját ATP-jével a normális ion-koncentrációnál is össze tudjon húzódni. Azt is mondhatjuk, hogy a rosthoz hozzáadott szabad ATP valami olyant tud csinálni, olyan pontokat tud a miozinon elérni, melyeket az ott levő miozinhoz kötött ATP elérni nem tud. A valószínű magyarázata az, hogy a kötött ATP nem tud a proteinnel reagálni, a szabad ATP tud és ezzel az izom görbéjét megváltoztatja.

Hogy a képet tovább tudjuk szőni, ahhoz először egy más kérdésre kellene megfelelnünk: mire kell az izomnak a külső energia, az összehúzódáshoz vagy a relaxációhoz? Mint ahogy azt kimutattuk, maga a kontrakció egy, a hőmérséklettől függő egyensúlyi reakció.

Munkatársam, Varga László úgy találta, hogy a nyúlizom 0°-on egyáltalában nem húzódik össze, míg 16°-on összehúzódása már maximális. A két

hőmérséklet között az izom részlegesen húzódik össze, de nem azért, mert az egyes részecskék csak részben húzódtak össze, hanem azért, mert csak egy részük húzódott össze. Egy aktomiozínrészecske vagy egészen összehúzódik, vagy egyáltalán nem. Így az izom hosszából Varga következtetni tudott különböző hőmérsékleten a kontrahált és relaxált micellumok viszonyára, ami nem más, mint maga az egyensúlyi konstans, ennek pedig a hőmérséklettől való függéséből számítani lehet az energetikai viszonyokat van't Hoff képleteinek segítségével.

A számítások azt mutatták, hogy a kontrakció endotermás folyamat, de a szabad energia csökkenésével jár együtt. A szabadenergia-csökkenés nagysága a hőmérséklettől függ: minél magasabb a hőmérséklet, annál nagyobb a szabad energia esése. 0° -on a szabadenergia-esés 0, ezért nem tud az izom ennél a hőmérsékletnél összehúzódni, 37° -on a szabadenergia-esés 7000 Cal.

Itt egy mulatságos epizódot kell megemlítenem. A vizsgálatok lezárása után egy szép napon jeges vízben egy békát láttunk úszni, pedig annak Varga görbéi szerint 0° -on nem lett volna szabad mozognia. Ezért a kísérleteket Varga békaizommal is megismételte, és azt találta, hogy a békaizommal a görbe kissé másként fut le, az abszcisszát nem 0° -on metszi, mint a nyúlnál, hanem -3° -on, ami a békának megengedi, hogy 0° -on nyugodtan úszkáljon.

A fontos mindebből most részünkre az, hogy a kontrakció szabadenergia-eséssel jár, tehát spontán folyamat, és energiára így a relaxációhoz és nem a kontrakcióhoz van szükség.

Az előbb elhagyott fonalat felvéve kielégítő képet így festhetünk a kontrakció energetikai viszonyairól: a szabad ATP a proteinnel reagál, ami azt eredményezi, hogy a töltések kiegyenlítése már normális ionkoncentráció mellett létrejön. Az izom tehát összehúzódik. Ehhez nem kell kívülről energia. Ez spontán folyamat, hozzá az aktomiozin saját belső energiáját használja fel.

Bíró A. és Szent-Györgyi András legújabb kísérletei azt mutatják, hogy az aktomiozin az összehúzódás által megy át enzimatikusan aktív állapotba. Az összehúzódtott aktomiozin proteinje tehát elbontja az általa megkötött ATP pirofoszfátját. Ezzel két célt ér el. Egyrészt megszabadul az ATP-től, de ugyanakkor felszabadítja az ehhez szükséges energiát is.

Az ember azt várná, hogy a relaxáció egyszerűen a kontrakció megfordítottja, de a dolog alighanem bonyolultabb. A kontrakciónál ugyanis a fibrózus aktin globulusokká esik széjjel, a globuláris aktomiozin pedig ATP jelenlétében disszociál. Azt hiszem, ez a disszociáció az izomfiziológia szempontjából igen lényeges mozzanat, mert lehetővé teszi, hogy az izom lehetőleg súrlódásmentesen menjen vissza relaxált állapotába. Azonkívül a disszociáció az ott levő, a miozin által elbocsátott ionok readszorpcióját is megkönnyíti.

Utolsó kérdésünk talán az lehet, hogy hogyan terjed az izomban tovább az ingerület. Könnyen elképzelhetjük, hogy egy szabad ATP-molekula a fentiek szerint egy aktomiozin micellumot kontrakcióra bír, a töltések egyensúlyának megbomlása pedig a szomszéd micellumokban szabadít fel ATP-t kötéséből.

Hogy a helyzetet az ATP szempontjából még egyszer összefoglaljuk: az ATP-nek két szerepe van. Nagy része szilárdan meg van kötve a miozin micellumhoz. Ez az ATP-vel telített miozin nem kontrahál, mert a kötött ATP nem tud a proteinnel reagálni. Ez a kötött ATP azonban igen fontos, mert ez adja a nyugvó izomban a miozin töltését és evvel puhaságát, de egyben kontraktibilitását is. Ha most az izomhoz kívülről teszünk ATP-t, vagy az ott levő ATP-nek a kötését valamiképpen megla-zítjuk, akkor az ATP a proteinnel reagál, és a miozin görbéit evvel úgy változtatja meg, hogy az összehúzódik.

Mi történik most már, ha a halál után az ATP lassan elbomlik? Erre a kérdésre könnyen felelhetünk: az aktomiozin megmerevedik és az izom át-megy *rigor mortisba*. Erdős Tamás vizsgálta a merevség megjelenését és az ATP elbontását, és azt találta, hogy a kettő teljesen párhuzamosan megy, ami nem hagy kétséget az iránt, hogy a rigor oka az ATP eltűnése. A rigor későbbi oldódásának oka az izom teljes szétesése.

Más a helyzet, ha az ATP *in vivo* az ingerelt izomban tűnik el. Akkor a kontrakció jut túlsúlyba a relaxáció rovására, és az izom kontraktúrába megy át.

Ezek a tapasztalatok vezettek azokhoz a klinikai kísérletekhez, melyeknek célja annak megállapítása volt, hogy bizonyos izomelemeknek a hiányos el-ernyedése nem hozható-e összefüggésbe az ATP hiányával, deficienciájával. Hámory Artúr dr. a szegedi belgyógyászati klinikán az ATP-t először igen kifejezett klinikai kórképeknél alkalmazta, amilyen a vasospastikus gangrénák bizonyos esete,

ahol a kis artériák izomelemeinek krónikus összehúzódása a vérpályát elzárja és ezzel gangrénát okoz, mely súlyosabb esetekben végtagamputációra adhat okot. Az eredmények a legbiztatóbbak voltak. Úgy tudom, hogy az ATP-t több esetben alkalmazták, amikor az amputáció indikációja már fennállott, és úgy tudom, hogy az ATP egy esetben sem hagyott cserben, és a betegek a megfelelő ATP-injekciós kezelés után gyógyultan távoztak.

Ugyancsak kipróbálták az ATP-t az angina pectoris és dysmenorrhoeák különböző eseteiben, szintén igen biztató eredménnyel. Az injekciók leginkább intramuszkulárisak voltak, és a hatás az ATP mennyiségétől függött. A tapasztalat szerint 20 mg mutatkozott hatékony adagnak.

Az ATP gyógyszeres hatása eléggé bonyolult kérdés. Az anyagcsoport gyógyszeres aktivitását majdnem húsz évvel ezelőtt Drury A. N.-nel együtt magam fedeztem fel. Kimutattuk, hogy a csoport számos tagja bír gyógyszeres hatással. A koronáriákat egyaránt tágította és az atrioventrikuláris vezetést egyaránt lassította az ATP, az AMP és az adenzin. Az AMP (adenozinmonofoszfát) már csak egy foszfátot tartalmaz, az adenzin egyet sem. Az ingerület vagy kontrakció és relaxáció kiváltásában viszont csak az ATP hatásos, így egyelőre legbiztosabban járunk el, ha mint gyógyszert magát az ATP-t használjuk, azt az anyagot, amely az élő szövetben is jelen van és ott központi szerepet játszik. Tudjuk, hogy ebben az anyagcsoportban a molekula szerkezetének igen kis változtatásai a biológiai hatást igen lényegesen megmásíthatják.

Ezért egyelőre az élesztőből készült ATP-t, melynek foszforjai másként vannak a molekulába

bekapcsolva, mint az állati ATPnél, szintén nem használhatjuk még teljes bizalommal.

Az állati ATP előállítására használt módszerek oly drágák és hozamuk oly alacsony, hogy azok segítségével még ahhoz sem igen lehetett elegendő anyagot előállítani, hogy a laboratóriumi kísérleteinket zavartalanul folytathassuk. Ezért munkatársaimmal új eljárást dolgoztunk ki, melynek lényege az, hogy a miozinhoz adszorbeált ATP-t a miozinnal együtt kicsaptuk. Ezt alkohollal könnyen elvégezhetjük, anélkül, hogy az alkohol kárba vesszne. A miozin az alkohol hatására oldhatatlanná válik, de róla vízzel az ATP könnyen leoldható, így ATP-t aránylag nagy töménységben, és nagyobb mennyiségű vegyszer felhasználása nélkül nyerhetünk olyan tisztasági fokban, hogy azt egy-két preparatív lépés beiktatásával injekcióra alkalmassá tehetjük.

Ezek után most már kérdezhetjük, hogy értjük-e az izom működését. Nem értjük. Mint ahogy az imént vázoltam, az izomkontrakció lényegében töltések eltolódása. A protein kémiai szerkezete, ahogy azt ma elképzeljük, nem ad nekünk lehetőséget arra, hogy ezeknek a töltéseknek a vándorlását megmagyarázzuk. De ez a kudarcunk nem szorítkozik az izomfiziológiára. Azt merném mondani, hogy egy-két kivételtől eltekintve, egyetlen biológiai reakciót sem értünk; sőt határozottan azt is mondhatjuk, hogy az élő anyag struktúrájáról alkotott képeinkben az a sajátság semmiképpen nem jut kifejezésre, amely sajátságánál fogva az élőanyag biológiai reakciókra képes. Vegyünk például egy szexuálhormont. Ennek képletét pontosan fel tudjuk írni, és a képletből nyilvánvaló, hogy a

molekula kémiaiilag teljesen közömbös, testhőmérsékleten semmiféle reakcióra nem képes, míg a biológiából tudjuk, hogy az a szervezetben belül a legcsodálatosabb reakciókat váltja ki. Azt kell tehát mondanunk, hogy ebben a képletben nincsenek kifejezve azok a sajátságok, amelyekről a biológiai reakció függ. Úgyszintén a protein képletéből, amelyeket papírra szoktunk írni, hiányoznak ugyanezek az alapvető minőségek. Ezek a képletek egyben azt is kifejezésre juttatják, hogy az élőanyag molekulákból, a molekulák diszkrét atomokból vannak felépítve. Ezek az atomok állnak magból és hozzájuk tartozó elektronokból, és így minden atomhoz tartozik elektron, és minden elektron egy atomhoz tartozik, egyes kivételes esetektől eltekintve. A biokémiának az általános kudarca engem már rég arra a meggyőződésre vezetett, hogy ez az anyagszerkezeti teória hibás, illetve, hogy nem magyarázza meg az élő anyag reakcióit, éppoly kevésbé, mint ahogy a vasatomok sajátságai nem magyarázzák meg egy vasdrót elektromos vezetőképességét. Valami új anyagszerkezeti teóriára lenne szükségünk, hogy ezeket a jelenségeket megértsük. Persze, gyermekes dolog lenne, ha a biokémikus kísérelné meg egy új teória felállítását. Egy ilyen új teória az utolsó évtizedben az elektromos vezetés kutatása kapcsán a fizikában azonban már kialakult. Jelen tudásunk szerint egy drót azért vezeti az elektromosságot, mert benne a valenciaelektronok nem tartoznak egyes atomokhoz, hanem az egész rendszernek közös tulajdonai. Ha ez a drót Párizstól New Yorkig is ér, benne ezek az elektronok minden atomhoz egyaránt tartoznak. Ilyen elektronközösség felléphet, ha egymáshoz hasonló atomok

nagy számmal a térben igen szabályosan rendeződnek el. Nem vezető szabályos elrendezésű anyagoknál, kristályoknál is felléphet ilyen elektronközösség, és már évekkkel ezelőtt láttam, hogy ha ezt a teóriát tudnánk élőanyagra alkalmazni, akkor a biológiai reakciókat meg tudnánk érteni.

Meg tudnánk érteni nemcsak az izomkontrakciót, de azt is, hogyan tudnak a kémiailag közömbös, biológiailag aktív anyagok az élő rendszerben reakciókat létrehozni. Ha a sejtben bizonyos elektronok közös rendszereket alkotnak, úgy ebben a rendszerben megvan az elektronoknak a kvantummechanika által előírt statisztikai megoszlása, amit bármely molekulával megzavarhatnánk, melynek kémiai szerkezete megengedi, hogy a sejtproteinhez elég közel jöjjön és ott is maradjon.

Úgy, ahogy a drót azáltal vezeti az elektromosságot, amivel több, mint az őt alkotó egyes atomok összege, úgy valószínű, hogy az életjelenségek abban az elektrostruktúrában játszódnak le, amelyet semmiféle képlettel ma még leírni nem tudnék, amellyel a sejt több, mint atomjainak vagy molekuláinak összege. A megfigyelések mindjobban halmozódnak, melyek arra mutatnak, hogy a biológiai reakciók a közös elektronrendszerek zavarai, ami talán lehetővé fogja tenni nemcsak azt, hogy ezeket a reakciókat megértsük, de azt is, hogy őket a kvantummechanika képleteivel fejezhessük ki.

(1947)

A SZUBMOLEKULÁRIS BIOLÓGIÁ- RÓL

“AZ ÉLET TANULMÁNYOZÁSA KÖZBEN
A MAGASABB RÉGIÓKBÓL EGYRE ALA-
CSONYABBAKBA SZÁLLUNK, MÍG VÉGÜL
ÚTKÖZBEN AZ ÉLET ELTŰNIK, ÉS OTT ÁL-
LUNK ÜRES KÉZZEL. A MOLEKULÁK ÉS AZ
ATOMOK ÉLETTELENEK.”

(Internat. Sci. Techn. 1966 ap. Selye J., In vivo)

MIÉRT SZUBMOLEKULÁRIS BIOLÓGIA?

A KÉRDÉS FELVETÉSE

Messziről nézve a biokémia története meghökentő sikerek sorozatának, egy dicsőség lángjának tetszik. A haladás sebessége nem mutat törést, és úgy látszik, mintha hamarosan teljesen kitörölnénk azt a kifejezést szótárunkból, hogy „nem tudom”. De akkor miért beszélünk “szubmolekuláris biológiáról” addig, míg a molekuláris biokémia végleg be nem futotta a pályáját?

Ezeket a sikereket nem lehet kétségbe vonni. Mégis, ha az embert nem vakítják el, és a biokémiát sötétbe szokott szemmel közelíti meg, nyilvánvalóvá válnak a tudásunkban levő űrök. Fontoljuk csak meg a kémiai biológia néhány főproblémáját, kezdve az anyagcserével. A biokémia feltárta az intermediér anyagcsere bonyolult körfolyamatait és kimutatta, hogy ennek az anyagcserének az a fő célja, hogy előkészítse a tápanyagokat végső oxidációjukra, amelyben energiájuk felhasználásával egy molekula foszfát ADP-hez kapcsolódik, és így ATP keletkezik. Ebben a folyamatban a tápanyag energiája egy nagyon specifikus molekula terminális “magas energiájú foszfátkötésének” (jele: ~) az energiájába épül át. A tápanyagok energiája csak ebben a formában szolgálhat az élő szervezet számára üzemanyagként és hajthatja azt. Ez az “oxidatív foszforiláció” tehát az anyagcsere központi eseménye. Ennek a mechanizmusa tökéletesen ismeretlen.

Ugyanígy semmit sem tudunk ennek a folya-

matnak a megfordításáról, az ATP magas energiájú foszfátkötése energiájának a felszabadulásáról. Hogy miként hajtja ez a magas energiájú foszfátkötés az élő szervezetet, hogyan alakul át energiája a munka különböző formáivá, akár mechanikai, akár elektromos vagy ozmotikus formáról van is szó, nem tudjuk, ámbar ez az átalakulás a biológia legközpontibb problémája lehet. Az életet csak tüneteivel révén ismerjük, és az, amit úgy nevezünk, hogy “élet”, nagyrészt ezeknek a különböző munkáknak a rendezett összejátszása; a halált az emberiség kezdete óta többnyire az egyik ilyen munkának, a mozgásban kifejeződő munkának a megszűnéséből diagnosztizálják. Nem tudjuk, hogy a mozgás hogyan keletkezik, hogyan alakul át a kémiai energia mechanikai munkává.

Az élettan kimutatta, hogy testünk különböző funkcióit hormonok szabályozzák és koordinálják, és a biokémikus büszkén veszi elő a vegyszeres üvegek sorát, amelyek ezeket a titokzatos hormonokat többnyire szép, kristályos porok alakjában tartalmazzák, s e hormonok közül néhányat minden bizonnyal szintetikusán állítottak elő. Ugyanez a különböző vitaminokra is érvényes, ezeknek a katalógusa csaknem befejezettnek látszik. A biokémikus a legtöbb ilyen anyagnak képes megadni a szerkezeti képletét. De nem az az igazán érdekes probléma, hogy mik ezek az anyagok, hanem az, hogy mit *csinálnak*, hogyan hatnak molekuláris szinten, hogyan hozzák létre a hatásukat. Erre a kérdésre nincs még válasz. Ugyanez a helyzet a gyógyszerek legnagyobb részével is.

Ami magát az élő szervezetet illeti, a biokémikus azt mondja majd, hogy legfontosabb anyagai a

fehérjék, a nukleinsavak és a nukleoproteidek. Rámutat arra a nagy haladásra, amelyet ezeknek az anyagoknak a szerkezeti elemzésében elértünk, megtaláltuk építőköveiket, az aminosavakat és nukleotidokat, ezek kapcsolódását és viszonylagos elhelyezkedését, beszél a kötések által bezárt szögekről és kötéstávolságokról és a keletkezett különböző spirálokról. De ha megkérdezzük, hogy a természetben miért került össze ez a nagyon nagyszámú atom ilyen rendkívül specifikus módon, milyen sajátosság kialakulása miatt, akkor biokémikusunk egyszerre elcsöndesedik. Az élet egyik alapvető elve az “organizáció”, amelyen azt értjük, hogy amikor két alkatrész összekerül, akkor valami új születik, olyan új, amelynek a kvalitásai nem additívek, és ezeket nem lehet az alkatrészek kvalitásaival kifejezni. Ez a szerveződés teljes skálájára érvényes, arra, hogy az elektronok és az atommagok atomokká tevődnek össze, hogy az atomok molekulákká, az aminosavak peptidekké, a peptidok fehérjékké, a fehérjék és nukleinsavak nukleoproteidekké egyesülnek és így tovább. Hogy min “töri a fejét” a természet, amikor ez lezajlik, azt jelenleg még találgatni sem tudjuk. Tehát itt is bezárva találjuk a központi problémához vezető ajtót.

Különböző körülmények ezt a helyzetet nagyon zavaróvá teszik. Először is ezek a megválaszolatlan kérdések a biológia központi és legérdekesebb problémái. Egy másik rendkívül zavaró tény abban rejlik, hogy az alapismereteinkben levő öröknek megfelelően az orvostudományban is örök vannak, és jelentős számú “endogén” vagy “degeneratív” betegség vég nélküli szenvedés során szabadon szedi az áldozatait. De a legzavaróbb körülmény

az, hogy miközben a biokémia állandóan előre halad azokon a területeken, amelyekben már eddig is sikereket ért el, az előbb említett problémák megoldásában jóformán semmiféle előrelépés sincs. Úgy látszik, mintha a biológia problémáit két csoportba lehetne osztani: abba, amelyet a jelenlegi biokémia képes megoldani, és abba, amelynek megoldására képtelen. Úgy tetszik, mintha valami nagyon fontos dolog hiányoznék a jelenlegi gondolkodásunkból, egy egész dimenzió, amely nélkül ezeket a problémákat nem lehet megközelíteni.

A szerzőben nincs semmi kétség afelől, hogy tulajdonképpen melyik ez a hiányzó dimenzió. A történet egyszerű és logikus. A biokémia a múlt század végén indult virágzásnak. Abban az időben az anyagról azt gondolták, hogy nagyon kicsi oszthatatlan egységekből, az atomokból épül fel. A molekulák ezekből az atomokból állnak össze. Körülbelül 90 különböző atomfajta volt, amelyeket különböző betűkkel jelöltek, míg kapcsolódásaik jelölésére vonalak szolgáltak. Nem vitás, hogy ez a "betű és vonás"-nyelv az emberi elme legnagyobb teljesítményei közé sorolható, és ez tette lehetővé a biokémia valamennyi bámulatba ejtő sikerét. Ha átfutjuk a fent felsorolt problémák jegyzékét, rájövünk, hogy azok a problémák, amelyekkel a biokémia sikeresen megbirkózott, szerkezeti problémák voltak vagy olyan egyszerűbb reakciókban végbemenő szerkezetváltozások, amelyeket homogén oldatokban legtöbbször megismételhettek, és betűk és vonalak segítségével kifejezhettek, megválaszolhattak. A megválaszolatlanul maradt problémák viszont a komplex rendszerek működésének a problémái voltak, amelyeket nem fejezhettek ki

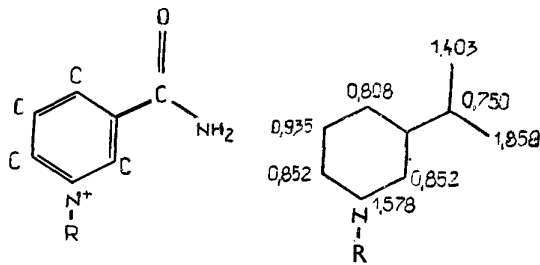
ezen a nyelven. Hogyan is lehetne ezekkel a kifejezésekkel leírni egy olyan reakciót, amelyen az izomösszehúzódás, amelynek a fő terméke nem valamely anyag, hanem a munka?

A mai biokémiának a nyelve még mindig a betűk és vonalak nyelve, s ez azt jelenti, hogy ez a tudomány még ugyanabban a molekuláris dimenzióban mozog, amelyben születése idején, a múlt században mozgott. De azóta a biokémia szülőtudománya, a kémia, szövetséget kötött a fizikával és matematikával, átcsapott egy új dimenzióba, az elektronok szubmolekuláris vagy szubatomos dimenziójába, abba a dimenzióba, amelyben a történeteket nem lehet többé a klasszikus kémia kifejezéseivel leírni, amelynek a törvényeit a kvantum- vagy hullámmechanika törvényei uralják. Ha az új tudomány szemüvegén át nézzük az atomot, akkor többé nem oszthatatlan egység, hanem egy magból és az ezt körülvevő változó és fantasztikus alakú elektronfelhőből áll, és valószínűnek látszik, hogy az élet bonyolultabb jelenségeit az elektronfelhők változó alakja és eloszlása hozza létre.

A biokémia nem követte szülőtudományát, a kémiát ebbe az új atom alatti dimenzióba, amelyben pedig valószínűleg megtalálható a szövvényes biológiai működések megértésének a kulcsa. Ezt egy példa illusztrálhatja. Az 1. ábra bal oldalán áll a DPN piridin-végének a klasszikus képlete, a klasszikus jelölésekkel. Azt mondja nekünk, hogy a piridin-gyűrű öt egyenlő C-atomból és egy N-atomból épül fel, amelynek egy pozitív töltése van. Ugyanennek az ábrának a jobb oldalán az előbbi anyagnak a Pullmanék egyik legutolsó közleményéből vett "molekuláris diagramja"

látható.

Az egyes atomokhoz rendelt számok az elektromos töltést jelölik. Azt mondják nekünk, hogy minden egyes atomnak különböző töltése van és a molekulát ilyenformán rendkívül komplex szerkezetű elektronikus felhő veszi körül. A pozitív töltés egyenlőtlenül oszlik meg a gyűrű egy N- és öt C-atomja között, míg a negatív töltések az oldalláncra tolódtak.



1. ábra. A DNP piridin-végének klasszikus képlete és molekuláris diagramja

Ezt az ábrát az adatok három további sorozata tenné teljessé, az egyik sorozat arról adna információt, amit a gyűrű egyes atomjai “szabad vegyértékének” nevezünk, a másik a kapcsolódások “kötésrendjét” írja le, és a harmadik megadja a “lokalizációs energiákat”. Míg a klasszikus képlet csak az egész molekulának tulajdonít felületes formát és valamilyen dipólusmomentumot, a molekuláris diagramban a gyűrű minden egyes atomja egy-egy személyiséget, jellegzetességet és nagyfokú specifikusságot képvisel, és az egész szerkezet azt a bonyolultságot kezdi felölneni, amelyet bármely, a biológiai reakcióban részt vevő anyag szerkezetétől elvárhatunk.

Miközben az atomokról és molekulákról kiderítették, hogy olyanok, mint egy-egy bonyolult, apró világegyetem, a “szilárd testek fizikája” lerombolta a szigorú egyediségükről szóló elképzelést. Ha egy csomó atom szabályos és szorosan összezsúfolt rendszert alkot, akkor új tulajdonságok jelenhetnek meg. Ha például nagyszámú réz- vagy vasatom meghatározott rendben kerül össze, akkor e rendszerben elektromos vezetőképesség jöhet létre, amely az egyes egységek hullámmechanikai tulajdonságai közötti kölcsönhatás következtében fellépő sajátosság. Még a makromolekulák esetében is kialakulhatnak szilárd állapotra jellemző tulajdonságok. Tehát azért, hogy a biológia központi problémáit megközelítsük, gondolkodásunkat két ellentétes irányban, mind a szub-, mind pedig a szupramolekuláris szint felé ki kell terjesztenünk. Ez a két szint bizonyos szempontból azonos egymással, minthogy a szupramolekuláris tulajdonságok csak a szubmolekuláris tényezők közös hatásának az eredményei, és ez az “organizáltság” új példáját szolgáltatja. Hasonlóképpen várhatjuk azt, hogy merőben új tulajdonságok fejlődnek ki majd akkor is, amikor ezek a molekulák vagy molekulahalmazok kölcsönhatásba lépnek az élet minden élőlényben közös elemével, a vízzel, és ezzel új és egyedülálló rendszert hoznak létre. Mindezeknek a megvilágítása kölcsönözheti végül gondolkodásunknak azt a plaszticitását, amely megközelítéséhez, továbbá annak a maga nemében páratlan rendszernek a megértéséhez, amelyet “sejt”-nek nevezünk, valószínűleg elengedhetetlen.

Lehet, hogy ezeknek az új dimenzióknak a megközelítése nehéz, és az itt közölt elgondolások kö-

zül sok homályosnak és kétségesnek tetszik. Az, amit még nem ismerünk, csak bizonytalan támaszt kínál. Ami felől nincs semmi kétségem, az az, hogy a Teremtőnek nagyon kellett ismernie a hullámmechanikát és a szilárd testek fizikáját, sőt alkalmaznia is kellett azokat. Biztos, hogy az élet megformálásakor nem szorítkozott kizárólag a molekuláris szintre csak azért, hogy azt a biokémikus számára egyszerűbbé tegye.

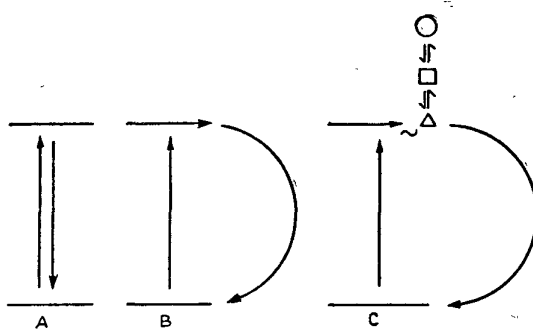
(1960)

AZ ÉLET ENERGIA-KÖRFOLYAMATA

Első megközelítésünkben leghelyesebben tesszük, ha egy átfogó képet alkotunk. A legátfogóbb kép, amit az élet energetikájáról alkothatunk, akkor keletkezik, ha az egész élővilágot tekintetbe vesszük és megpróbáljuk megfigyelni, hogyan működtetí az energia. Közismert, hogy ennek az energiának a legvégső forrása a Nap sugárzása. Amikor a Nap által kilövellt foton kölcsönhatásba kerül a földgolyónkon elhelyezkedő valamilyen anyag részecskéjével, egy alapállapotban levő elektronpár egyik elektronját egy magról távolabbi üres pályára emeli, amint azt a 2. ábra "A" részén a felfelé mutató nyíl jelképezi. Törvényszerű, hogy az elektron nagyon rövid időn belül visszaesik alapállapotába, ezt a folyamatot a lefelé mutató nyíl jelképezi. Az élet betolakodik e két folyamat közé, és az elektron alapállapotba való visszakerülését saját gépezetén belül választja meg, felhasználva annak energiáját, amint azt a 2. ábra "B" részén látható félkör szimbolizálja. Hogy a folyamat hatásosan menjen végbe, az elektronnak egy speciálisan felépített anyaggal (legtöbbször ez az anyag a klorofill) kell találkoznia, ennek az anyagnak olyan rendszerhez kell kapcsolódnia, amely a rendkívül labilis elektron gerjesztési energiáját stabilisabb kémiai potenciállá, kémiai energiává, vagyis valamely stabilis anyag elektronrendszerének az energiájává alakítja át Jelen ismereteink szerint ez nagyrészt úgy történik, hogy a gerjesztett elektron

energiája a víz – H_2O^+ – elemeinek a szétválasztására használódik fel.*

Az oxigén O_2 formában a légkörbe kerül, míg a H valamelyik piridinnukleotidhoz, TPN^+ -hez vagy DPN^+ -hez kapcsolódik, amely vegyületek ilyenformán redukálódnak TPNH -vá vagy DPNH -vá, amint azt a D. Arhon és mások laboratóriumából kikerülő munkák kimutatták.



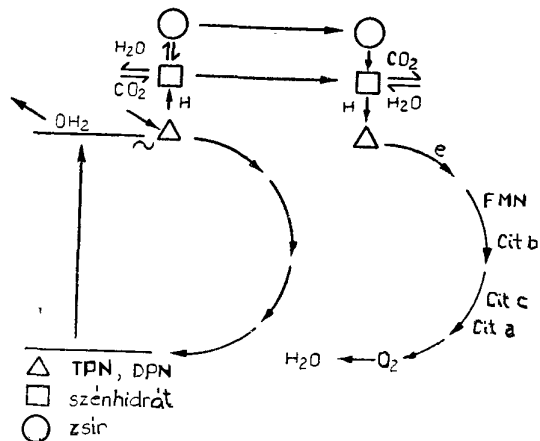
2. ábra. A fotoszintézis vázolata

Egyidejűleg ADP-ből és foszfátból ATP is képződik, átalakítva ezáltal az energia egy részét az ATP terminális pirofoszfát-kötésének energiájává (“~”). Ábrám “C” részén a piridinnukleotidot egy háromszög jelképezi, míg az efölött levő négyszög és kör azt a tényt fejezi ki, hogy a piridinnukleotidok és az ATP nem alkalmasak jelentős mennyiségű energia tárolására, és ezért energiájuk a tárolásra alkalmasabb egyéb formákká alakul át. Ez úgy történik, hogy a légkörből széndioxid tűnik el, ami szénhidráttá és vízzé redukálódik, ezt jelképezi

* Itt a fotoszintézis klasszikus “nyitott” körfolyamatát veszem csak figyelembe. Az egyszerűbb és “zárt” formákról lásd D. I. Arhon munkáját.

a 3. ábrám bal oldala, ahol a négyszög jelenti a szénhidrátot, a kör pedig a zsírokat.

Mindez sok időt és nagy apparátust igényel, ezért hagyjuk, hogy ezt a munkát a növény végezze el, majd a növényt elfogyasztjuk, vagy megesszük azt a marhát, amelyik viszont korábban a növényvel táplálkozott. Étkezésünket ezen az ábrán a vízszintes nyilak jelképezik, míg ugyanennek az ábrának a jobb oldalán megpróbáltam nagyon vázlatosan és jelképesen ábrázolni, hogy mihez kezdünk mi ezekkel az anyagokkal.



3. ábra. A fotoszintézis vázlata

A szénhidrát hidrogénatomjait többnyire visszaállítjuk egy piridinnukleotidra, miközben a szén széndioxid formájában felszabadul. Vennesland, Westheimer és munkatársaik izotóptechnika segítségével ténylegesen azonosították az anyagcsere-termékekről lehasított hidrogént azzal a hidrogénnel, amely a piridinnukleotidhoz kapcsolódott. A DPNH vagy TPNH viszont flavin-

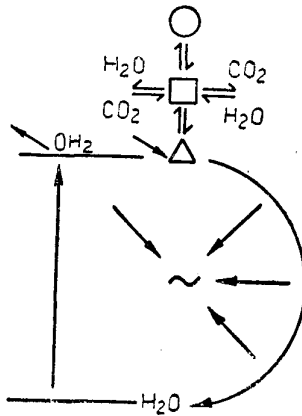
mononukleotidokat (FMN) redukál, de az FMNH₂-ben található hidrogénatomokat nem lehet továbbra is azonosítani a DPNH vagy TPNH hidrogénjeivel, ezért valószínűnek látszik, hogy ezekről nem hidrogének kerülnek át az FMN-re, hanem elektronok és azok a hidrogének, amelyek kémcső-kísérletekben az FMNH₂-molekulában találhatóak, s a legelterjedtebb oldószerből, a vízből származnak; ugyanis a negatívan töltött FMN-molekula a vízből protonokat ragad magához. Kosower és munkatársai kimutatták a DNP-ről, hogy jó elektrondonor.

Ahhoz, hogy a DNP⁺ redukálódjék DPNH⁺-vá, egy hidrogénatom és egy elektron szükséges. Ilyenformán a DNP⁺ mind hidrogéneket, mind elektronokat képes felvenni (és leadni), ez a molekula tehát úgyszólván egy pénzváltó pulthoz hasonlítható, amelynél a tápanyagok hidrogénjei elektronokra cserélhetők, és az elektronok azután a FMN-molekulán keresztül végighaladnak az oxidációs láncon. Az FMN-molekulától kezdve az elektronok anyagról anyagra lépnek, ezek közül a 3. ábrán példaképpen hármat idézek: citokróm b, a citokróm c és a citokróm a.*

Végül az elektront az O₂ molekula veszi fel, amelyik azután H-ionokat köt meg és ilyenformán H₂O-vá, vízzé redukálódik. A vízmolekulában az

* Elektronok borostyánkősavon keresztül is haladnak át a láncon. A borostyánkősav e lánc és a citromsavciklus között közvetít. Egyszerűség kedvéért az ábráról a borostyánkősavat elhagytam, csakúgy, mint az egyéb intermedier katalizátort, mint a koenzim Q-t, valamint a szabad vasatomot, amely – D. E. Green szerint – szintén fontos szerepet játszhat az elektronok továbbvitelében.

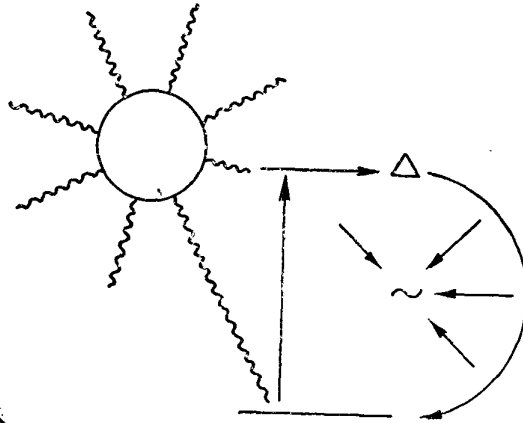
elektron eléri a legalacsonyabb energiaszintjét, miután energiáját mintegy lépcsőfokonként leadta. Az így leadott energia kevés veszteséggel az ATP nagy energiájú kötéseinek az energiájába megy át. Az egészel azt akarom elmondani, hogy a gerjesztés folyamatától eltekintve (függőleges nyíl), 3. ábrám jobb oldala és bal oldala lényegében azonos. Mint-hogy a két oldalt egymástól csak azok a horizontális nyilak választják el, amelyek a táplálkozás (elméletileg) érdektelen tényét ábrázolják, a két oldalt összevonhatjuk egy ábrába, amint a 4. ábrán tettem.



4. ábra. A fotoszintézis vázlatja

A szénhidrát és a zsír csak mellékes elágazások, tehát ezeket is elhagyhatjuk, és kiegészíthetjük a vázlatot e dráma főszereplőjével, a jó öreg Nappal, amint az az 5. ábrán már látható. Ilyenformán ezen az ábrán az élet-energia körfolyamatának a lényeges vonásait találhatjuk meg, ami tehát a fotonok által gerjesztett állapotba hozott, majd az élő szervezetekben alapállapotukba visszajutó elektronok-

ból áll, eközben az elektronok fokozatosan leadják felesleges energiájukat, és az az energia hajtja az élő gépezetet.



5. *ábra.* A fotoszintézis vázlatja

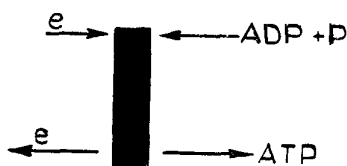
Ez az ábra semmi olyat nem tartalmaz, ami nem lenne közönségesen ismert. Mégis segítségemre volt abban, hogy világosan lássak három olyan lényeges pontot illetően, amelyek gondolkodásom sarokköveit képezik. Először megmutatta nekem, hogy az élet hajtóereje semmi más, mint az elektronok, helyesebben az az energia, amelyet ezek az elektronok adnak le, miközben arról a magasabb szintről, amelyre a fotonok gerjesztésének a segítségével kerültek, vízesésként zúdulnak alá. Egy körbevándorló elektron kicsi áramot képvisel. Az, ami az életet hajtja, ilyenformán egy kicsi elektromos áram, amelyet a napsütés tart fenn. Az intermediér anyagcsere valamennyi bonyodalma csak csipkedész e körül az alapvető tény körül. A második pont az, hogy ami az elektronok után visszama-

rad, az csak ATP és DPNH vagy TPNH. Tehát bizonyára ezek az anyagok az élet valódi üzemanyagai. A harmadik pontom azzal függ össze, hogy ebben a körforgásban az elektronok magányosan vesznek részt. Gerjesztés révén egyik a másik után energiához jut, majd áthalad a citokróm-sorozaton, szintén egyik a másik után, minthogy a központi vasatom csak egy vegyértékváltozásra képes. Számomra valószínűnek tetszik, hogy az elektronok az egész körforgás folyamán egyedül vándorolnak. Ennek a fejezetnek a végén elmondom, hogy miért fontosak nekem annyira ezek a szempontok.

Vissza kell térnem iskolás éveimhez, amikor azt tanították nekem, hogy az élet hajtóereje égési folyamatokból származik, és az oxidációs energia olyan reakciókban szabadul fel, amelyek egymással összeütköző molekulák között mennek végbe. Ha X-molekula összeütközik Y-molekulával és oxidálja azt, a rendszer szabad energiája ΔF értékkel csökken, és a ΔF energiáról feltételezték, hogy az élet hajtóereje. X és Y mint más molekulák, zárt rendszert alkotnak, és így kölcsönhatásuk ideje alatt XY képződik. Sohasem tudtam megérteni, hogy egy zárt rendszerben végbemenő változás hogyan lehet a hajtóereje bárminek, ami e rendszeren kívül van. Ez ugyanolyan, mint a zárt dobozban felszabaduló energia, így a ΔF számomra termodinamikus könyvvitelemnek csak egy tétele maradt és nem lett olyasvalami, amiért az ember vásárolhat is valamit.*

* A termodinamika könyvvitele nagyon fontos, mert visszatart attól, hogy értelmetlenségeket beszéljünk. "Tartozásunk" és "követelésünk" számláit egyeztetni kell és a végső számok szükségképp két alapvető törvénynek

Az 5. ábrán javasolt alapállapotba hulló elektron valami egészen mást jelent: ez egy kicsi áramot képvisel, amellyel hajtani lehet bármit, egy dinamót vagy egy izomgépezetet, vagy amelyből nagy energiájú kötések lehet előállítani. Hogy segítségével nagy energiájú kötések állítsunk elő, pusztán egy “fekete dobozt”^{**} kellene az elektron szóban forgó két szintje közé tenni, ebbe a dobozba felülről betáplálnánk a nagy energiájú elektronokat, ADP-t és foszfátot, azért, hogy alul megkapjam az ATP-t és a fáradt elektront (lásd a 6. ábrát). Ha később az lenne a célom, hogy ATP-m segítségével hajtóerőt szolgáltatassak az élet számára, csak meg kellene fordítanom a dobozt a tetejével lefelé, az ATP-t az egyik végénél betáplálnám, hogy a másik végén magas-energiaszintű elektront (és ADP-t + foszfátot) nyerjek.



6. ábra. Az oxidatív foszforiláció vázlatja

felelnek meg. Az első ezek közül azt mondja, hogy semmiért nem kaphatsz valamit és bankszámlád nem terhelheted túl, míg a második arra figyelmeztet, hogy minden ügyletért fizetni kell. Így a termodinamika csak azt mondja meg, hogy valamely reakció lehetséges-e vagy sem, de semmit se mond nekünk annak a természetéről vagy mechanizmusáról.

^{**} “Fekete dobozon” a mai szóhasználat szerint olyan ismeretlen reakciót értünk, amelyről reméljük, hogy később tisztázódik majd.

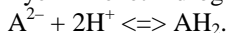
Tehát az a kérdés, hogy az ATP hogyan képes hajtóerőt adni az élethez, hogyan képes összehúzó-dást létrehozni az izomban, számomra pillanatnyilag arra a problémára szűkül le, hogy az ATP nagy energiájú kötéseinek az energiája hogyan alakulhat át elektronok energiájává.

A “magányosan vándorló” elektronok szintén további magyarázatot igényelnek. Az iskolában azt tanultam, hogy a szerves redukáló ágensek olyan anyagok, amelyek képesek leadni két hidrogént vagy két elektront, ugyanakkor az oxidáló ágensek képesek felvenni két hidrogént vagy elektront, ilyenformán két stabilis állapot létezik, amelyek egymástól két hidrogénben vagy két elektronban különböznek.*

Michaelist és Schubertet idézve: “A szerves vegyületek esetében a redukció rendszerint kétértékű, vagyis két elektron felvételével jár. Ez majdnem kivétel nélkül érvényes, és a stabilis szerves molekulákként figyelembe vett vegyületek páros számú elektront tartalmaznak.”

Itt az a lényeges, hogy az ilyen kétértékű redox-folyamatban a két molekula, az oxidáló, valamint a redukáló anyag molekulája találkozik, mindketten két elektron elvesztése, illetve nyérése árán egy új stabilis konfigurációt vesznek fel, majd szétválnak. Képtelen voltam megérteni, hogy egy ilyen találkozás szabadenergia-változása, a molekulaszervezet ezt követő belső átrendezésével

* A hidrogének és elektronok egyenértékű fogalmak, minthogy egy negatív töltést egy proton felvétele segítségével könnyen ki lehet hidrogénre cserélni és *vice versa*:



egyetemben, hogyan szolgáltatna hajtóerőt bárminek is. Ez a helyzet akkor sem változott, amikor Michaelis felfedezte a monovalens oxidációt. Hogy az ő szavait használjam: “A szerves molekulák valamennyi oxidációja, *ámbár az oxidáció bivalens*, két egymást követő univalens lépésben zajlik le, és a közbenső állapot egy szabad gyököt jelent.”* Michaelis elgondolása szerint a helyzet ilyenformán analóg a Noé bárkájában előállított helyzethez, ahová az állatoknak kettésével kellett haladniuk. Michaelis csak azt engedte meg, hogy az állatok a hídon egymást követve egyesével menjenek át.

A megkülönböztetés fontos. Egy bivalens oxido-redukció klasszikus kémiai reakció, amely a molekula szerkezetének újrendeződésével jár együtt, ugyanakkor a monovalens elektronátvitel, amikor egy elektron önmagában megy át a másik molekulára, kis áramot képvisel, és ez nem jár szükségszerűen ilyen molekulaátrendeződéssel. A 4. ábra egy kis helyét foglalja el az, amit rendszerint úgy foglalnánk össze, hogy “intermedier anyagcsere”, ami egy csomó klasszikus kémiai reakcióból tevődik össze, és a továbbiakban nem foglalja le az időnket, de ami a félkör mentén folyik, és az élet hajtóerejét adja, az áram, egyedülálló elektronok leömlő zuhataga, amelyek energiájukat darabonként részletekben adják át. Az

* W. G. Westheimer cáfolta e megállapítás általános alkalmazhatóságát és olyan példákat sorolt fel, amelyekben az oxidáció a szabad gyök, közbeeső termék keletkezése nélkül mehetett végbe. Tehát Westheimer nézetei szerint a fenti idézetben a “valamennyi” szót a “sok” szóval kellene helyettesíteni.

áram bármit csinálhat, de amit csinál, azt klasszikus kémiai kifejezésekkel nem lehet leírni. Egy vándorló elektron az elektronfelhők változó alakú és eloszlású világához tartozik, s az elektronfelhők a szubmolekuláris régióban honolnak, és itt a kvantummechanika törvényei uralkodnak.*

(1960)

* A klasszikus kémiai reakciók és a monovalens elektronátvitel közötti ilyen megkülönböztetést nem érvényteleníti az a tény sem, hogy a végső analízis eredménye szintén egy klasszikus kémiai reakció, de ez kvantumváltozások sorozatának a végső terméke. Az sem hatálytalanítja a megkülönböztetést, hogy ATP az intermedier anyagcsere során is keletkezik.

A GYÓGYSZEREK HATÁSÁNAK MECHANIZMUSÁRÓL

A szerzőnek nem szándéka, hogy megpróbálja megválaszolni azokat a megoldatlan problémákat, amelyeket a kiinduláskor körvonalazott. Mindaz, amit könyvecskéjének ebben a részében remélhetőleg képes megcsinálni, annyi, hogy kimutatja: e problémák közül néhány, ha szubmolekuláris szemüvegen keresztül nézzük, egészen új megvilágításba kerülhet, próbaképpen elméleteket sugallhat, amelyek azután hasznos kísérletezéshez vezethetnek.

Az első példa, amelyről szólni akarok, a gyógyszerek hatásmechanizmusát érinti. Számos gyógyszerhatás magyarázatát a kompetitív gátlás jelenségében találta meg. Amint egy rossz kulcs beleilleszkedhet a zár nyílásába, anélkül, hogy képes lenne azt nyitni, ugyanúgy egy gyógyszer hozzáilleszkedhet valamilyen biológiai kötőhelyhez és kizoríthat valamilyen természetes anyagot, anélkül, hogy képes lenne működésének megfelelni. Egnéhány biológiailag aktív anyagról, mint amilyen az SH csoport, kiderült, hogy bizonyos fontos atomcsoportok blokkolásával fejt ki a hatását. Ezeknek a sikereknek ellenére, a gyógyszerek nagy többségének a hatásmechanizmusa megmagyarázhatatlan maradt. Ez vonatkozik például a legtöbb alkaloidára, és vonatkozik a hormonokra is, azokra a gyógyszerekre, amelyeket testünk költségmentesen állít elő. A gyógyszerhatás az érdeklődés számára tág teret nyit, és a mi megközelítésünk csak

nagyon korlátozott lehet. Feltehetjük például azt a kérdést, hogy vajon a töltésátvitel nem játszik-e szerepet a gyógyszerhatásban úgy, hogy a gyógyszerek közül néhány elektrondonorként vagy elektronakceptorként hatna. Nehéz megjósolni egy ilyen töltésátvitel biológiai hatását, ugyanis a hatás nemcsak attól függ, hogy elektronok kerülnek a molekulára vagy elektronok szakadnak le a molekuláról, hanem a hatás helyétől is. A sejtmembrán például, amely a sejt működését uralja, legtöbbször belül negatív és kívül pozitív töltésű. Tehát a belülré leadott elektronok növelik a negatív töltést, hiperpolarizációhoz és ezzel gátláshoz vezetnek, míg a kívülré leadott elektronok csökkentik a feszültséget, és várhatóan ingerületet hoznak létre. Az elektronakceptorokra ennek ellenkezője az érvényes. Felkészülhetünk arra is, hogy paradox eredményekkel találkozunk. Tételezzük fel, hogy egy biológiai anyag elektronok átadásával fejt ki hatását. Egy elektrondonorként ható gyógyszer versenghet valamely természetes vegyülettel annak elektronakceptoraként. Ilyenformán ez a gyógyszer zavart kelt az elektron-transzmisszió normális folyamatában, bár ő maga elektront átadó vegyület, s olyan hatást válthat ki, amely az elektronátadás gátlásának felel meg. Mindezeknek a bizonytalanságoknak ellenére mégis várható egy határozott összefüggés. Ha valamely anyag biológiai hatékonyságát elektronok leadásával vagy felvételével képes kifejezni, akkor ennek az anyagnak kivételes elektronakceptor vagy elektrondonor tulajdonságokkal kell rendelkeznie.

Az előző oldalakon már jeleztem, hogy az akceptor-donor sajátságok gyógyszerzeti hatásnak

lehetnek az alapjai. Arról volt szó, hogy az indolgyeületek kivételesen jó elektrondonorok, és sok biológiailag hatékony anyag indolgyűrűt tartalmaz (szeroton, lizergsav, bufontin, indolecetsav). Korábban, Popov, Castellani-Bisi és M. Craft a gyógyszerzeti hatékonyságot, amilyen például a görcsöt kiváltó hatás, elektronok átadásával próbálták összefüggésbe hozni. Az a tény, hogy a szerotoninmolekula 5. számú helyére bevezetett OH csoport egyformán növeli a gyógyszerzeti hatékonyságot és az elektronátadási képességet, még inkább amellet szól, hogy az indolok biológiai reakcióikban valóban elektrondonorként hathatnak. A szerotonin egyike a legjobb donoroknak, amellyel valaha is találkoztam, bár a legnagyobb betöltött pálya k értéke csak alig kisebb, mint az indol esetében (0,461). Léteznek tehát még fel nem ismert molekuláris paraméterek, amelyek nagyon befolyásolják az akceptordonor tulajdonságokat. Hogy a töltésátvitel szerepet játszhat a gyógyszerzeti hatékonyságban, arra az a tény is utal, hogy a különböző alkaloidák, amilyen a kinin, a nikotin, az atropin, a fizosztigmin, a morfín, a sztrichnin, az akonitin stb., vízmentes oldatban jóddal szemben valamennyien jó donorok, * ugyanígy viselkednek a ketoszteroidok is, míg az ösztrogének, amint előbb

* A J_2 adszorpciós spektrum (kloroform oldatban) ezeknek az alkaloidáknak a jelenlétében úgy változik meg, hogy az izobesztikus pont 520 m μ -tól rövidebb hullámhossz felé, 400 m μ köré toódik el, míg az ultraibolya tartományban egy széles töltésátviteli spektrum fejlődik ki. Nikotin esetében a töltésátvitelre jellemző spektrum lassan, körülbelül egy óra alatt alakul ki. Ez a lassú reakció sok töltésátvitelre jellemző.

említettük, a trinitrobenzollal szemben bizonyulnak elektrondonoroknak. Az akzeptordonor tulajdonságok lehetséges gyógyszeres fontosságára egy további bizonyítékot Fudzsimori szolgáltatott, aki kimutatta, hogy a különböző pteridin származékok annál jobb antimetabolitjai a fólsavnak, minél jobban működnek akceptorként triptofánnal szemben.

További példának a nitrofenolokat, elsősorban a 2,4 dinitrofenolt és a halofenolokat idézhetjük. A dinitrofenolról ismert, hogy az oxidatív foszforilációra erős szétkapcsoló hatással van, ami a jelenlegi biokémia egyik legnagyobb rejtélye. A polinitrofenolok, általában nitro csoportjuk kiegyenlítetlen elektronegativitása következtében nagyon jó elektronakceptorok, és feltehető, hogy azáltal, hogy az elektrondonorral töltésátviteli komplexet képeznek, elfogják azokat a nagy energiájú elektronokat, amelyeknek a korábban tárgyait "fekete dobozba" kell menniök. A halofenolokra, amelyeknek a foszforilációra kifejtett erős hatását Clowes és Krahl fedezték fel, ugyanez érvényes. Hatásuk a dinitrofenolénál kevésbé specifikus (Middlebrook és munkatársai). Arra is emlékezni kell, hogy a sejt-oxidáció egyik legfontosabb regulatora, a tiroxin hormon szintén egy halofenol, amelyik a leginkább elektronegatív halogént, a jódot tartalmazza. A tiroxin szétkapcsolja az oxidatív foszforilációt. Hatását nagyon lassan, mintegy 48 óra alatt fejti ki – feltűnő lassúság, amely sok töltésátviteli reakcióra jellemző, s amelyeknek egyik példáját, nevezetesen a rodamin B és a diklórfenol közötti nagyon lassú komplexképződést R. H. Steele analizálta.* A

* Lásd *Bioenergetics* (Szent-Györgyi A., Academic Press,

nitron-vegyületek szintén elősegítik azt, hogy a hozzájuk vonzott elektron triplet állapotba kerüljön. Ugyanez várható – a nagyon súlyosnak számító jód atomjai folytán – a tiroxintól is.

B. Kaminer egy más gondolatsort követett (még nem közölte). A *Phascolosoma* nevű tengeri féregből készített simaizom preparátum (a proboscis) denervált állapotban nem mutatott spontán ritmicitást. A szerotonin – egy elektrondonor – hatástalannak bizonyult. De ha a készítményt először valamely jó elektronakceptor-vegyülettel kezelték, a szerotonin ritmikus összehúzóásokat hozott létre. Ennek a fordítottja is hatásos: szerotoninnal történt kezelés után az elektronakceptorok ritmikus kontrakciókat idéztek elő.

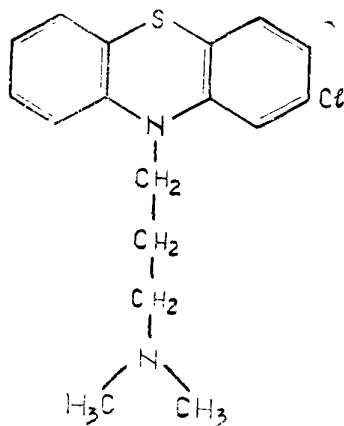
Hogy az elektronátvitel és a gyógyszeres hatékonyosság közötti kapcsolat további bizonyítékaira bukkanjunk, az látszik logikus eljárásnak, ha összevedjük a rendkívüli farmakológiai aktivitású gyógyszereket, majd feltesszük a kérdést: vajon ezeknek a szereknek elektrondonorként vagy elektronakceptorként szintén rendkívüli tulajdonságaik vannak-e? Amennyiben a kérdéses gyógyszer rendkívüli biológiai hatékonysága elektronátvitel következménye, akkor az is várható, hogy e gyógyszernek kivételes tulajdonságai legyenek – elektrondonorként vagy elektronakceptorként.

Az egyik ilyen egyedülálló biológiai hatékonyságú gyógyszer a nyugtató hatású klórpromazin*

New York, 1957) 54. oldal, jegyzetek a diklórfenoxi-ecetsav oxigénfelvételére kifejtett gátló hatásáról; lásd ugyanott a 122. oldalon.

* A szerző a Thorazin nevű anyaggal való ellátásáért hálás köszönetet mond Smithnek, Klinenek és Frenchnek.

(7. ábra), amelyet a szkizofrénia tüneteinek a kezelésére széles körben használnak. E gyógyszer bevezetése óta nagyszámú kórházi ágy üresedett meg, ami azért érdekes, mert valamennyi betegség közül a szkizofrénia volt az, amelyik a kórházi férőhelyek legnagyobb részét foglalta le állandó jelleggel. Figyelembe véve ezt az eredményt, Karreman és munkatársai kiszámították ennek az anyagnak a k -értékeit, és azt tapasztalták, hogy a legnagyobb betöltött pálya k -értéke egészen kivételesen magas.



7. ábra. Klórpromazin

Az a helyzet, hogy ennek az értéknek negatív előjele van, vagyis kisebb, mint a nulla: $-0,210$, ami azt jelenti, hogy a pályának nincs kötő jellege. Ilyen értékeket korábban B. és A. Pullman a leukometilénkének vagy a redukált riboflavin esetében találtak, de e vegyületek közül egyik sem stabilis, két elektron kényszerű felvételével mindkét anyag gyorsan autooxidál. A klórpromazin az első olyan anyag, amelynek normális, stabilis állapotban

nem kötő, legnagyobb betöltött pályája van. Várható, hogy a klórpromazin kivételesen jó egyértékű elektrondonor, amely az elektronok halmazával rendelkező konjugált kettős kötésesei terjedelmes rendszerének planáris jellege, valamint az N- és S-atomokon helyet foglaló magányos elektronpár miatt stabilis töltésátviteli komplexek képzésére képes.

Ezek az elgondolások különböző gondolatmenetek kiindulási pontjául szolgálhatnak. Amennyiben ennek a gyógyszernek a hatása elektrondonor tulajdonságai miatt jön létre, és ezeket a tulajdonságokat ki lehet számítani, akkor megeshet, hogy számítások segítségével új és még hatásosabb gyógyszerek találhatók, amelyek még jobb elektrondonorok és még a klórpromazinnál is kedvezőbb hatást fejtenek ki. És ha a szkizofrénia tünetei elektrondonorokkal kedvezően befolyásolhatók, akkor talán ennek a betegségnek a létrejöttében elektronhiány játszhat szerepet, és amennyiben ez így van, felvetődik a kérdés: mi hozta létre ezt az elektronhiányt? Ha a zavar az elektron adásával bizonyos mértékig megszüntethető, akkor nem okozhatta a zavart valamilyen elektronakceptor jelenléte? Rendkívül tetszetős, ha ezzel kapcsolatban megjegyezzük, hogy B. Pullman és A. M. Perault a hematoporfirineket mind jó donoroknak, mind jó akceptoroknak, és a biliverdint, a protoporfirinek anyagcseretermékét, egészen kivételesen jó elektronakceptoroknak tartották. Ez az anyag bizonyos értelemben a klórpromazin ellenlábas, mert a legkisebb üres elektron pályájának a k -értéke plusz előjelű ($+ 0,021$), vagyis kötő jellegű. Tudomásom szerint ez az első anyag, amelyről kiderítették,

hogy ilyen k -értéke van. Egy további anyagcsere-terméknek, az urobilinnek még erős elektrondonor sajátosságai vannak. Ezeket az adatokat az teszi izgalmassá, hogy az emberi szervezet naponta nagy mennyiségű hemet alakít át, a teljes vérmennyiség 0,7%-át, és Klüver már sok évvel ezelőtt felhívta a figyelmet a hematoporfirinek és a mentális zavarok közötti szoros kapcsolatra. Újszülöttekben a hiperbilirubinémiát gyakran az agy súlyos anatómiai károsodása kíséri. Bilirubin gátolja a hem termelését és számos egyéb elektronakceptorhoz hasonlóan gátolja az oxidatív foszforilációt. Ha a szkizofréniát a vérben levő valamilyen erős elektronakceptor okozza, akkor lehet, hogy ezt az anyag inaktíválni képes egy erős elektrondonorral, amellyel az akceptor töltésátviteli komplexet képezhet, s ezáltal megszabadítja a beteget valamennyi panaszától. Én itt nem javaslok egy új teóriát a szkizofréniára. Pusztán azt akarom megmutatni, hogy a kvantummechanika ilyen hosszú ideje egy helyben topogó fontos problémák meghökkentő új megközelítését sugallhatja. Az idézett példák azt is mutatják, hogy a nehezen érthető kvantummechanikai számítások és a betegség közötti távolság valószínűleg nem olyan nagy, mint eddig hitték. Ha elindulunk ezen az utakon, egy nap kiderülhet, hogy a szkizofrénia valamennyi titokzatos pszichés eltéréseivel egyetemben csak valamilyen önmagában ártalmatlan anyagcserezavar mellékhatása, és ha egyszer már felismerték ezt az anyagcserezavart, akkor talán könnyűszerrel helyesbíteni lehet.

(1960)

AZ ÉLŐ ÁLLAPOT

Ez a kérdés elmém számára az egyik legérdeke-
sebb problémát jelenti. Emellett ez egyike a legne-
hezebben megközelíthető problémáknak is, amit
legalább annyira nehéz meghatározni, mint az éle-
tet magát. Bár az életet nem tudjuk definiálni, a
halál révén ismerjük azt, és különbséget tudunk
tenni egy döglött macska és az élő között, ami meg-
felel a biológiai rendszerek két alapvető állapotá-
nak. A probléma talán nem egészen annyira nehe-
zen elérhető, mint amennyire első látásra látszik,
mert az egyik állapotból a másikba történő átválto-
zást egyszerű kísérleti eszközök segítségével, le-
galábbis “egy módon” előidézhetjük. Hogy a
macskánál maradjunk, például a carotis artéria le-
szorításával, azaz az agy O_2 -ellátásának megszü-
ntetésével, egy csapásra kitörülhetjük az öntudatot.
Ez a biológiai aktivitás leállását jelenti, mert az
öntudat az agy fő terméke. Azt az ellenvetést lehet-
ne tenni, hogy ez nem halál, hiszen a létrehozott
változás megfordítható. De a megfordíthatóságnak
nagyon szűk határai vannak. Ha a carotisokat né-
hány percen át leszorítva tartjuk, a változást többé
nem lehet visszafordítani. Ez azt jelenti, hogy az
élő rendszer metastabilis állapotban volt, amely
fenntartásához állandó energiaellátást igényel,
minthogy az élő állapot felezési ideje percnyi nagy-
ságrendű. Semmi kétség, hasonló változásokat
egyéb szervekben is előidézhetünk, bár a felezési
idő bizonyos mértékig változhat.

Ugyanezt cianid segítségével még drámaibb módon lehet demonstrálni. Ha vénáink egyikébe cianidot fecskendezünk, az első dolog, ami feltűnik, az az, hogy halottak vagyunk. Amint azt Warburg klasszikus munkájából tudjuk, a cianid némely jelenlevő fémkatalizátorral egyesülve leállítja az O_2 aktivitását.

Hogy az élő rendszerek olyan metastabilis állapotban vannak, amelyhez állandó energiaellátásra van szükség – nem meglepetés. A termodinamika második törvénye ezt megjósolta. Ami váratlan, az a felezési idő rövideje. Ez meglepő, mert a legtöbb szervnek jelentős keratinfoszfátból pótlódó ATP-raktára van, ugyanakkor korlátozott mennyiségű ATP anaerob körülmények között is keletkezhet. Ennek az ATP-nek elégnek kellene lennie ahhoz, hogy sokkal hosszabb O_2 -hiányos időszakon is átvergődjünk, de csak akkor, ha a metastabilis élő állapot fenntartásához szükséges energiát ez a vegyület szolgáltatni képes.

Számomra semmi kétség sincs afelől, hogy az izomösszehúzódnak számára az energiát az ATP-ből nyerjük. Amikor az izom működni kezd, hogy elvégezze mindennapi feladatát, az összehúzódnak, hirtelen nagy mennyiségű energiát követel. Az O_2 -ellátás lassú és folyamatos. Tehát az izom nem függhet az összehúzódnakhoz szükséges energia szempontjából közvetlenül az O_2 -től, és energiaforrásként egy olyan anyagot kell felhasználnia, mint az ATP, amely nem túl nagy mennyiségben, de bármikor elérhető. De ha az ATP képes kielégíteni egy mindennapi funkció hirtelen támadó nagy energiaigényét, miért nem képes kielégíteni azt a szerény, de folyamatos igényt, amelyet a sejt saját

élete számára támaszt metastabilis állapotának a fenntartásához? Nem arról van-e szó, hogy az energia termelésének két egymástól független rendszere létezik, mindkettő O_2 -t használt fel mint végső elektronakceptort; az egyik a mitokondriumokban helyezkedik el és az ATP termelődéséért felelős, míg a másik magában a sejt alapstruktúrájában van, amelyet sajátos állapotában kell fenntartani?

Egy pillantás a 4. ábrára, és ez a feltevés ésszerűnek tetszik. Ez az ábra azt szándékozik bemutatni, hogy azoknak az elektronoknak, amelyek azért mennek végig az oxidatív foszforiláció láncolatán, hogy energiájuk segítségével ATP-t termeljenek, jelentős részük DPNH-ból vagy TPNH-ból származik. De az ilyen lassú és folyamatos igény kielégítésére miért kell a szervezetnek ezt a hosszú, a mitokondriális oxidatív foszforilációt és az ATP-t felőlelő kitérőt választania? Miért nem lehetne a DPNH és TPNH nagy energiájú elektronjait közvetlenebbül az élő struktúrához juttatni, amelyek végül O_2 -höz kapcsolhatnák azokat, miközben az energiájukat közvetlenebb módon hasznosítanák?

Míndez csak spekuláció, de ha már egyszer felismertük a metastabilis élő állapot létezését, fel kell tennünk kérdéseket és spekulálnunk kell, hogy ily módon ésszerű munkahipotézist találjunk. Ha azt mondjuk, hogy az ATP tartja fenn az élő állapotot, ez sem több, mint spekuláció, mégpedig olyan spekuláció, amely nagy nehézségekkel találja magát szemben. A következő hipotézist javasolom: a sejt az élő állapotának a fenntartásához szükséges energiát közvetlenül DPNH-ból vagy TPNH-ból nyeri. Ezzel kapcsolatban első lépésként kérdéseket tehetünk fel a hipotetikus folyamat két végéről: ho-

gyan kerülnek át a DPNH vagy TPNH elektronjai a fehérjére, és hogyan jutnak át ezek az elektronok a fehérjéről az O_2 -re? Mindkét kérdésre meg lehet kísérlni a válaszadást.

Ami az elsőt illeti: Talalay, Williams-Ashman és Hurlock kimutatták, hogy a piridinnukleotidok között mind specifikus, mind nem specifikus fehérje jelenlétében a szteroidok közvetíthetik az elektronátvitelt. Akkor miért ne közvetíthetnék az elektronátvitelt a TPNH vagy DPNH és maga a fehérjemolekula között? Az, hogy a szteroidok O csoportjukkal elektrondonorként szerepelhetnek – valószínű, és az olyan szteroidnak, amely már leadott egy elektront, jó akceptornak kell lennie, mindez pedig képessé teszi a szteroidmolekulát arra, hogy elektrónátvivőként működjön.

Ami a másik véget, az O_2 -t illeti, Debye és Edwards azt tapasztalták, hogy a rövidebb hullámhosszú ultraibolya fényvel besugárzott fehérjék alacsony hőmérsékleten hosszú ideig utófelvillanást bocsátanak ki. Ezt a jelenséget az én laboratóriumomban is tanulmányoztuk; mi előszeretettel a szemlencse fehérjéit használtuk fel, amelyek nem tartalmaznak hem festékeket. Ezt a fénymissziót az O_2 teljesen kioltja, ami azt bizonyítja, hogy az O_2 felveszi a gerjesztett elektronokat. Az elektronoknak a fehérjéről O_2 -re történő közvetlen átvitelét ilyenformán egyszerű eszközökkel lehetett demonstrálni.* Ennek ellenére a cianiddal szerzett

* Érdemes megjegyezni, hogy a triptofán hosszú ideig tartó utófelvillanását az O_2 nem oltja ki, ugyanakkor a fehérje utófényét – annak ellenére, hogy a fehérjék emissziója minden valószínűség szerint a bennük lévő triptofán emissziójának felel meg – kioltja. Ámbár kevésbé valószínű, de azt a le-

tapasztalat arra mutat, hogy valamilyen fémtartalmú katalizátor közrejátszik az elektronok O_2 -höz juttatásában. **

Az előadott hipotézis magyarázatot adna a szteroidok mindeddig ismeretlen hatásmechanizmusára. Amit erről jelenleg tudunk, az alig több annál, hogy a szteroidok nélkülözhetetlenek az élethez, és az élet egyszerűen kudarcba fulladna nélkülük.

Hogy mi történik a hipotetikus szteroid és az O_2 -vég között, ez csak egy kérdőjellel írható le, mert az egész problémát korábban még sohasem vetették így fel. A fehérje- vagy a nukleoprotein-struktúrákban az elektron sorsa nagymértékben ezeknek a makromolekuláris aggregátumoknak a jellegétől, hidrátburkától, félvezető vagy protonvezető stb. tulajdonságától függ. A mi megközelítésünk nagymértékben azon a kérdésen is múlik, hogy mit értünk energián. Akármit is jelent ez a szó, egy elektron energiáját kényelmesen ionizációs potenciálértékben lehet

hatóságot sem szabad elvetni, hogy az O_2 okozta kioltás e molekula paramágnesessége miatt jön létre, vagyis egy "paramágneses kioltásról" van szó.

** A ciánérzékeny enzimek peroxidázok lehetnek. G. H. Williams-Ashman, M. Cassman és M. Klavins kimutatták, hogy a peroxidázok az ösztrogének katalizáló hatására oxidálják a DPNH-t vagy TPNH-t. Ez rendkívül figyelemreméltó, mert, az ösztrogének, amelyek az uterus izomzatának a hipertrófiáját váltják ki, a peroxidázoknak a szervben magas koncentrációban történő megjelenését is előidézhetik. Ezek a peroxidázok az O_2 redukciójakor keletkezett H_2O_2 -t is hasznosítani tudnák. Azt, hogy az ösztrogének aromás szerkezetük segítségével elektronodonorként is hathatnak, Williams-Ashman mutatta ki.

kifejezni. *** Számomra valószínűnek látszik, hogy amint a p_H -t az egyes sejtekben bufferek egyenlítik ki, ugyanúgy az ionizációs potenciálokat az elektrondonorok és elektronakceptorok szintén kiegyenlítik. Az aszkorbinsav a dehidroaszkorbinsavval együtt egyike lehet ezeknek az “IP buffereknek”. A donorokként vagy akceptorokként ható ionok is hasznosak lehetnek ebben a kiegyenlítődsben. Amint az elektronakceptorok, valamint donorok – G. N. Lewis elgondolásai szerint tágabb értelemben savak, illetve bázisok –, úgy az “IP buffer” is csak a savbázis buffer gondolatának a kiterjesztését jelenti. A fehérje gerincének NH csoportjaitól várható, hogy erős donorok, ugyanakkor a CO csoportok mint “ketoid akceptorok” vagy magányos-pár donorok működhetnek. Mindkét csoport stratégiailag a hidrogénkötések folyamatos láncolatában helyezkedik el, ami az egész fehérjemolekulát összefogja és folytonos energiasávokat hozhat létre (lásd Evans, Gergely, valamint Eley és munkatársai).

Bizonyos, hogy az élő állapot sok tényezőt foglal magában, és jelenleg alig tehetünk többet, mint megpróbáljuk összegyűjteni az egyes tényezőket abban a reményben, hogy később majd egységes képbe foglaljuk őket.

Az élő állapot egyik jellemvonása az ionok koncentráció gradienssel szemben történő felhalmozása, minthogy a koncentrációk a halál után kiegyen-

*** “Elektron tenzióról” is beszélhetnénk (a p_H -hoz hasonlóan), amely az ionizációs potenciállal fordítottan arányos. A legtöbb sejt “belsejének” a “külső környezetéhez” képest negatív potenciálja összefüggésben lehet a belső, nagyobb elektron tenzióval.

lítódnak. Még nincs végső válaszuk arra a kérdésre, hogy az ionok miképp halmozódnak fel. Csak teóriáink vannak. Egy redox-pumpa lenne, amint azt Conway javasolta, vagy a karrieranyagokkal véghezvitt néhány különböző bűvészmutatvány, vagy tömeghatásról lenne szó, egy struktúra következményéről? Nem tudjuk. Az a tény, hogy a gradienssel szembeni iontranszportot a cianid megbénítja, de 2,4 dinitrofenol (amelyik leállítja az oxidatív foszforiláció révén keletkező ATP termelődést) nem, szintén azt sugallja, hogy a felhasznált energia valamilyen más forrásból származik, mint az ATP.

Az élő állapot egyik fontos, jellegzetes sajátosságának látszik annak paramágneses viselkedése, amint azt Commoner és munkatársai felvetik, akik azt tapasztalták, hogy a különböző állati vagy növényi szövetek által leadott ESR-jelzés arányos az anyagcsere intenzitásával. Ez a latin mondásra emlékeztet: “Minél gyorsabb a mozgás, annál több is” (Quo celerior motus, eo magis motus). Minél intenzívebb az élet és az anyagcsere, annál több is az élet, és intenzívebb a paramágneses viselkedés, ugyanakkor halál után a diamágnes érzékenység növekszik. Úgy látszik, hogy az élő szövet ESR-jelzései főleg az anyagcsere során képződött szabad gyökökből születnek. Commoner csoportja, csakúgy, mint Ehrenberg és Ludwig azt tapasztalták, hogy az FMN és ennek fehérjekomplexei részleges redukciója útján keletkező szabad gyökök ESR-jelzéseket adnak. Egyéb szabad gyökök szintén adhatnak ESR szignált, így az ionos állapotba kerülő egyéb töltésátviteli komplexek is valószínűleg

hozzájárulhatnak egy ilyen jelzéshez. Mindenesetre, úgy látszik, hogy az ESR-szignál az élet szignálja, ámbar stabil anyagok, mint például a melanin vagy különböző gyanták, szintén adják ezt a jelzést. Bármi ami élő, akár “az ön ujja vagy az egér farka”^{*}, úgy látszik, ad valamilyen szignált.

Ezek a megfigyelések azt a benyomást keltik, hogy a paramágneses viselkedés az egyelektronos redox-folyamatok során képződött szabad gyökök következménye, de nem szabad elfeledkeznünk arról, hogy az élő fehérjestruktúra nem csekély részének ténylegesen valamilyen töltésátviteli komplex alakjában kell jelen lennie, ami viszont bizonyos értelemben egy szabad gyök. Hogy bárkit meggyőzzünk erről, elegendő a máj intenzív barna elszíneződésére vetni egy pillantást. A kétségtelesen nagyszámú erőfeszítés ellenére senkinek sem sikerült izolálni azt a festéket, amely ezért a színért felelőssé tehető. Én elkülönítettem egy jelentős mennyiségű csokoládébarna anyagot, amely HCl-lel történt kezelés után színtelen fehérjévé és aranysárga flavinná esett szét. Nyilvánvaló, hogy ez az anyag a fehérje FMN-nel létesített töltésátviteli komplexe volt, és a máj barna elszíneződését az izoalloxazinokkal képződött töltésátviteli komplexek számlájára kell írni. A vese és a mellékvesekéreg szintén barnák. Az agy színe fehér, mert nagy mennyiségű dielektrikumot tartalmaz, ámbar az agykéregnek, amely sejtekben gazdagabb, barnás színárnyalata van, és ahol a sejtek összetömörülnek, mint például a “vörös magban” a barna szín egészen nyilvánvalóvá válik.

^{*} A M. Calvinnal folytatott társalgásból.

Nem lehetetlen, hogy nem a flavinok az egyedüli olyan anyagok, amelyek a fehérjékkel töltésátviteli komplexet képeznek. A szteroidok donorokként valószínűleg hasonlóképpen viselkednek, minthogy olyan töltésátviteli komplexeket hozhatnak létre, amelyeknek a spektrumai az infravörösben vagy az ultraibolyában vannak.

Az “élő állapot” furcsaságait felsoroló jegyzékem utolsó tételeként az utóbbi évek egyik legérdekesebb megfigyelését szeretném érinteni, nevezetesen a nukleoproteinek által adott nagyon széles szignált (Blumenfeld, Kalmanson és Shen-peí). Ez a szignál (amennyiben valóban a fehérje-nukleinsav komplex következménye) olyan sűrűségű párosítatlan elektron jelenlétére utal, amely a fémekben talált elektronfelhőhöz hasonlítható, és amelynek a fémek vezetőképességüket köszönhetik. Ez az eredmény – ha megerősítik – leránthatja azt a leplet, amely jelenleg még a fehérje, a nukleinsav és a nukleinprotein igazi jellegét és jelentését fedi.

Mindezek a tényezők az élet nagyszerű épületének a részei, ugyanúgy, mint azok az út mentén heverő téglák, amelyek egykor egy görög templom részei lehettek.

Egy korábbi fejezetben hangsúlyoztam az “organizáció” biológiai fontosságát, amin azt értettem, hogyha a természet két dolgot összehoz, akkor olyan új struktúra születik, amelyet nem lehet többé leírni összetevőinek a tulajdonságaival. Ugyanez a funkciókra is érvényes. Úgy látszik, hogy az élő rendszerekben a különböző funkciók is magasabb rendű egységekbe integrálódnak. Akkor fogjuk valóban megközelíteni az élet megértését, amikor valamennyi struktúra és funkció, valamennyi szint

– az elektronok szintjétől egészen a molekulák feletti szintig – egyetlen egységbe olvad össze. Addig azonban a struktúra és a funkció, a klasszikus kémiai reakciók és a kvantummechanika vagy a szub- és szupramolekuláris közötti megkülönböztetések csak módszereink és felfogásunk korlátozott jellegét mutatják.

(1960)

AZ ÉLET JELLEGE

Előadásaim végéhez értem, és most önök valószínűleg azt várják tőlem, hogy az előadássorozat drámai befejezésképpen mondjam meg, mi az élet. Félek, előadásom éppen most fog csődöt mondani, és nem tudom megmondani, mi is az élet.

Megbeszéléseink során az organizáció több szintjét érintettük, kezdve az elektronoktól a kötésektől, a kötésektől a molekulákig és sejtfonalakig, a sejtfonalaktól a szálakig és fibrillumokig, végül eljutottunk az izomrostig. Efölött még nagyon sok szint létezik. A következő szinten találjuk az ideget és a vérkeringést, majd a reflexívet, az agykérget és végül az egész nyulat, de kétségbe vonom, hogy a sor ezzel befejeződjön. A biológiából többé vagy kevésbé mindenki tudja, hogy egy nyúl sohasem volna képes reprodukálni önmagát, és ha az életre az önreprodukció a jellemző, akkor egyetlen nyulat egyáltalán nem lehet élőnek nevezni, vagyis egy nyúl nem nyúl, és csupán két nyúl lenne egy nyúl, és így mehetnénk tovább, amíg végül az egész élő természetet neveznénk csak élőnek.

Azon a szinten, amely bennünket leginkább érint, vagyis az aktomiozin szál szintjén, úgy látszik, hogy az élet két energiaszint létevel kapcsolatos, amely energiaszintek két különböző fizikai állapotnak és az élő anyag két alapvető működési állapotának – a nyugalomnak és az aktivitásnak – felelnek meg.

Amikor az egyik szintről egy következőre lé-

pünk tovább, mindig új minőségi tulajdonságokat nyerünk, minthogy az egész mindig több a részeinél. De nemcsak nyerünk, hanem veszítünk is, amint a működés egyre speciálisabbá és alkalmazkodóbbá, a működés területe pedig egyre korlátozottabbá válik.

Ugyanúgy végigjárhatjuk az utat az ellenkező irányban is, lefelé haladva az organizáció lépcsőfokain, és mindenhol találunk majd életjeleket, bár mind kevésbé és kevésbé tökéleteseket, míg végül magunkra maradunk az atomokkal és elektronokkal, amelyek még mindig rendelkezhetnek az élet bizonyos tulajdonságaival. Hogy valami élő vagy sem, az a mi felfogásunkon múlik, azon, hogy mit nevezünk “élőnek” és milyen kritériumokat választunk. Az “élet”-nek mint főnévnek nincs értelme, ilyen dolog nem létezik.

Kérdésünkre nincs egyértelmű válasz. Az organizáció minden szintjén megállhatunk, és ott húzhatjuk meg a határt, ahol csak akarjuk. Minden azon múlik, milyen szemléletet választunk. A bíróság például elítéli azt, aki keresztüllövi embertársa fejét, holott ezáltal az organizációnak csak a legfelszínesebb szintjét érintette, és ezalatt egy csomó szinten egy csomó élet megmaradt. A bírák számára a határ a teljes egyén. Az elemi történések azonban, úgy látszik, az elektronok és kötődési struktúráik dimenziójában mennek végbe, és az élő természet valamennyi nagyszerűsége és gazdagsága olyan reakciókon alapul, amelyeket egy napon remélhetőleg majd a kvantummechanika egyenleteivel képesek leszünk leírni.

A biokémikusokban rendszerint romboló szellem él. Boldogabbak, és azt gondolják, hogy az élet

gépezetét jobban megértik, ha sikerül azt a legkisebb darabokra szétszedni. Különösen azokhoz a jelenlevő fiatalabb kollégáimhoz akarok szólni, akik hivatásuknak tekintik az ismeretlenbe való bemenészkedést, kutatói pálya elé néznek. Ne korlátozzátok figyelmeteket csak a töredékekre; járjatok mindkét úton. Próbáljátok megérteni az egészet, próbáljátok megállni és a leggondosabban körülnézni minden szinten, mert minden szinten meglepetésekre bukkantok majd. Nem számít, hogy melyik szinten dolgozunk, ezek a szintek valamennyien egyformán csodálatosak; de tudnunk kell, hol vagyunk, melyik szintről beszélünk, és ne vonjunk le jogosulatlan következtetéseket sem felfelé, sem lefelé. Remélem, hogy amikor majd a következő alkalommal beszélek önökhöz, drámaibb módon tudom befejezni előadásomat: azzal, hogy előhúzó a zsebemből egy szintetikus nyulat.

(1948)

MIKOR ÉN MEDIKUS VOLTAM..

Mikor én medikus voltam, nem volt sem Bohr-elmélet, sem elektronpálya, sem kvantumok, sem elektronmikroszkóp, sem röntgensugaras kristályszerkezet-meghatározás. Ismertünk vagy húsz aminosavat és körülbelül ugyanannyiféle cukrot, és hozzávetőlegesen fel tudtuk osztani a sejtet fő alkotórészeire. Akkoriban mindez nagy dolognak számított, mai szemmel nézve jóformán semmi. Mindezek dacára úgy éreztük, meg kell magyaráznunk az életet, s aki azt állította, hogy ehhez kevés a tudásunk, azt vitalistának vagy misztikusnak neveztük. Most sokkal többet tudunk és célunk megint csak az, hogy az életet megmagyarázzuk. A jelszó: *“molekuláris biológia”*, s bár ma is, csakúgy, mint diákkoromban, fogalmunk sincs róla, hogy még hányféle új tudományág vár felfedezésre, misztikusnak vagy vitalistának nevezzük, aki azt merészeli mondani, hogy mai tudásunk ehhez még nem elegendő, és hogy a molekuláris biológia még nem minden.

Korántsem akarom azt állítani, hogy a molekuláris biológia eredményei lebecsülendők. Szükség van arra, hogy mennél többet megtudjunk a molekulákról, kvantumokról, s ezáltal közelebb jussunk az élet megértéséhez. Azonban ne felejtjük, hogy a molekuláris szint csak egy lépcsőfok a szerveződés egészében és hogy maga az élet *valamennyi* funkció és reakció összessége. Nincs olyan bíró, aki

felmentene, ha azzal védekeznék, hogy bár fejbe löttem valakit, testének csak egy apró részét ronsoltam szét, a szíve még vert, izmai összerándultak, s még a haja is tovább nőtt egy rövid ideig. Ez nem mentség, hiszen az élet az egész test tulajdonsága. Az oszthatatlan egész ezen a szinten hihetetlenül bonyolult és nehéz feladatok elé állítja a kutatót, de ugyanakkor feltárja előtte az élet minden szépségét és szeszélyét. Ezeknek a dolgoknak a regisztrálásához nem elég, ha műszerek mutatóit figyeljük, itt személyes kapcsolatokra van szükség. Sőt merem állítani, hogy az élő szervezetet csak úgy érthetjük meg, ha szeretjük is, és ha az élet mélységeibe akarunk hatolni, igen nagy szükségünk van két régimódi műszerre: a szemünkre és az eszünkre. Talán nem túlzás azt állítani, hogy az életet csak az értheti meg, aki egy kicsit költő is.

A biológiából manapság sajnos egyre inkább elűzzük az élet különleges báját. A fiatalokat óvjuk a tévedésektől, vagyis a kockázatvállalástól, és nem a problémák megtalálására, hanem eredmények és dolgozatok felmutatására biztatjuk őket.

Nagy örömömre szolgál hogy dr. H. Selye könyve elé írhatok néhány sort. Ő az életet kezdetől fogva a maga egészében látta, egy költő ösztönös értésével ismerte fel és kutatta minden szépségét. Megmutatta, hogy ez a módszer nemcsak elméleti eredményekkel jár, hanem elősegíti a betegségek gyógyítását is. Azt is tőle tudjuk, hogy értelmes hibák sokszor a jelenségek mélyebb megértéséhez vezetnek. Jelen könyvével felmérhetetlen szolgálatot tesz a tudománynak, amikor a tudományos felfedezés és kidolgozás szellemi folyamatát elemzi mélyrehatóan. Melegen ajánlom ezt a köny-

vet minden kutatónak, aki el akar igazodni a bonyolult problémák rengetegében, és meg kívánja őrizni szellemének frissességét.

Selye dr. sok nyelven beszél, de ennél is fontosabb az, hogy érti az élet nyelvét, és ennek a nyelvnek a segítségével részesít minket abban a kivételes és izgalmas élményben, hogy követhetjük útján az ismeretlenbe.

(1967)

AZ OKTATÁSRÓL ÉS AZ ALKOTÁS- RÓL

“NE KORLÁTOZZÁTOK FIGYELMETEKET
CSAK A TÖREDÉKEKRE...”

(Nature of Life, 1948)

AZ OKTATÁS ÉS AZ EGYRE BŐVÜLŐ ISMERETEK

Az egyre bővülő ismeretekkel járó egyszerűsítés lehetővé teszi, hogy az oktatás felölelje ezeket az ismereteket.

Reménytelen lenne az a próbálkozásunk, hogy az oktatást összhangba hozzuk az állandó – szinte robbanásszerű – kiterjedésben levő ismeretanyaggal, ha e növekedéssel nem járna együtt az egyszerűsítés. A továbbiakban a kérdés e kellemesebb oldalával fogok foglalkozni. A tudás olyan, mint egy szent tehen, és az én problémám az lesz, hogy miképp lehet ezt a tehenet úgy megfejteni, hogy közben távol maradjunk a szarvaitól.

Egyik okom az optimizmusra az, hogy a természet alapján egyszerű. Erre akkor jöttem rá, amikor sok évvel ezelőtt Princetonban az Institute for Advanced Studies tagja lettem. Abban a reményben léptem be ebbe az intézetbe, hogy összedugva orunkat azokkal a nagy atomfizikusokkal és matematikusokkal, megtanulok majd egyet s mást az élőanyagról. De mihelyt sejteni engedtem, hogy bármelyik élő rendszerben több mint két elektron van, a fizikusok nem álltak szóba velem.

Valamennyi számológépük segítségével sem tudták megmondani, hogy miképp viselkedhet a harmadik elektron. A figyelemreméltó az egészben az, hogy ez az elektron pontosan tudja, hogy mit csináljon. Ilyenformán ez a kicsiny elektron tud valamit, amit Princeton valamennyi bölcs embere sem tud, és ez csak valami nagyon egyszerű lehet.

A természet lényegében bizonyosan sokkal egyszerűbb, mint ahogy számunkra látszik. Előttünk úgy jelenik meg, mint egy rejtjelezett levél, amelyhez nincs rejtjelkulcsunk. Amilyen mértékben módszereink megfelelőbbekké, kevésbé nehézkesé válnak, és megfejthetjük a természet kódját, a dolgoknak nemcsak világosabbakká, de sokkal egyszerűbbekké is kell válniuk.

A tudomány azon az úton van, hogy általánosítson, és az általánosítás egyszerűsítést jelent. Saját tudományom, a biológia ma nemcsak sokkal gazdagabb, mint tanuló éveimben volt, de egyszerűbb is. Az idő tájt borzasztóan bonyolultnak tetszett, minthogy nagyszámú elkülönült elvre töredezett szét. Ma ezek valamennyien egyetlen egészben egyesülnek, amelynek a középpontjában az atommodell áll. Kozmológia, kvantummechanika, a DNS és a genetika valamennyien többé vagy kevésbé egy és ugyanannak a történetnek, a legcsofálatosabb egyszerűsítésnek a részei. És az általánosítások meggyőzőbbek is az értelem számára, mint a részletek. Nekünk, oktatásunk során nagyobb hangsúlyt kell helyeznünk az általánosításokra, mint a részletekre. Persze, a részleteknek és az általánosításoknak megfelelő egyensúlyban kell lenniök: általánosítást csak részletekből kiindulva lehet elérni, míg az általánosítás az, amely értéket és érdekességet ad a részletnek.

Ez után a bevezetés után néhány általános megjegyzést szeretnék tenni, először a tanítás fő eszközéről: a könyvről. Az ismereteinket tartalmazó könyvek természetéről széles körben elterjedt egy helytelen felfogás. Úgy vélik, hogy ezek a könyvek olyanok, amelyeknek a tartalmát a fejünkbe kell

préselni. Azt gondolom, ennek az ellenkezője közelebb áll az igazsághoz. A könyvek azért vannak, hogy megtartsák magukban a tudást, mialatt mi a fejünket valami jobbra használjuk. Az ismeretanyag számára a könyv biztosabb otthont is nyújt. Az én saját fejemben bármelyik könyvszagú ismeretnek a felezési ideje néhány hét. Így hát az ismereteket biztos megőrzésre a könyveknek és a könyvtáraknak hagyom, és inkább horgászni megyek, néha halra, néha új ismeretekre.

Tudom, hogy megdöbbenően tudatlan vagyok. Vizsgálhatnék az egyetemen, de akármelyik vizsgán megbuknék. Ennél rosszabb: kincsként őrzöm tudatlanságomat; kényelmesnek érzem. Nem felhőzi be naivitásomat, szellemem egyszerűségét, azt a képességemet, hogy gyermeki módon csodálkozom a természetben és felismerjek egy csodát még akkor is, ha mindennap látom. Ha 71 évemmel még ászok a tudás hegyében, ezt ezzel a gyermeki magatartással teszem. “Boldogok a lelki szegények, mert övék a mennyeknek országa” – mondja a Biblia; “mert képesek megérteni a Természetet” – mondom én.

Nem akarom, hogy félreértsenek, én nem becsülöm le a tudást, én sokáig és keményen dolgoztam, hogy a tudomány biológiával kapcsolatos valamennyi területén ismeretekre tegyek szert. Enélkül nem tudnék kutatni. De csak azt tartottam meg, amire szükségem van a dolgok egyféle megértéséhez, intuitív megragadásához és ahhoz, hogy megtudjam, melyik könyvben mit találok meg. Ez számomra szórakozás volt, és nekünk szórakoznunk kell, különben munkánk nem jó.

Következő megjegyzésem az időviszonyokat

érinti. Az iskolában töltött idő aránylag rövid az azután következő időhöz képest. Ezt külön hangsúlyozom, mert szélteben azt gondolják, hogy mindent, amit tudnunk kell ahhoz, hogy munkánkat jól végezzük, az iskolában kell megtanulnunk. Ez tévedés, mert az iskolát követő hosszú időszak alatt hajlamosak vagyunk, így vagy úgy, elfelejteni, amit akkor tanultunk, amikor bőven volt időnk a tanulásra. Valójában legtöbbszörnek egész életünkön át tanulni kell, és már deres fejjel történt, hogy én magam is hozzáfogtam a kvantummechanika tanulmányozásához. Ilyenképpen az, amit az iskolának el kell végeznie, elsősorban az, hogy megtanítassa velünk, hogyan kell tanulni, hogy felkeltse a tudás iránti étvágyunkat, hogy megtanítsa bennünket a jól végzett munka örömére és az alkotás izgalmára, hogy megtanítsa arra, hogy szeressük, amit csinálunk, és hogy segítsen megtalálni azt, amit szeretünk csinálni.

Gerard barátom Fouchet-t idézte, aki azt tanácsolta nekünk, hogy a tudás oltáráról a tüzet vegyük el és ne a hamut. Lévéen földibb hajlandóságú, azt tanácsolom önöknek, hogy a húst vegyék, ne a csontokat. A tanárok általában figyelemre méltó előnyben részesítik a csontokat, különösen a száraz csontokat. Természetesen, a csontok a fontosak, és olykor-olykor mi valamennyien szeretjük egy kicsit szopogatni őket, de csak akkor, amikor a húst már megettük. Amit mondani akarok, az az, hogy nekünk nem *tanulnunk*, hanem *átélnünk* kell a dolgokat. Ez majdnem mindenre igaz. Shakespeare-t és minden irodalmat át kell *élni*, a zenét, a festészetet és a szobrászatot *művelni* kell, a színdarabot el kell *játszani*. Mindez még a történelemre is igaz: a tör-

ténelmet, a különböző periódusok szellemét, ahelyett, hogy adataikat raktároznánk, át kell élnünk. Örülök, amikor elmondom, hogy ez az irányzat – átélni a dolgokat – még a tudományok oktatásában is nyilvánvalóvá válik. A legújabb irányzat nem az, hogy a természet egyszerűbb törvényeit *megtanítsák*, hanem az, hogy hagyják, hogy a hallgatók egyszerű kísérletekben *felfedezzék* azokat a maguk számára. Persze, tudom, hogy az adatok fontosak. Még érdekesek is lehetnek, de csak a hús, a lényeg elfogyasztása után. Ekkor még kíváncsiakká is válhatunk rájuk és így megőrizzük őket. De ez előtt az adatok csak unalmasak és a szellemet elbutítják, ha meg nem ölik.

Általánosan elterjedt vélemény, hogy a memorizálás nem okoz bajt, hogy a tudás nem ártalmas. Attól tartok, hogy árthat. A holt ismeretanyag eltompítja a szellemet, megtölti a gyomrot, anélkül, hogy táplálná a testet. Az elme nem feneketlen gödör, és ha beleteszünk valamit, esetleg ki kell hagynunk belőle egy másik dolgot. Életszerűbb tanítással betölthetjük a lelket, és a szellemet a valóban fontos dolgok számára tarthatjuk fenn. Sőt még az egyre bővülő tárgyakhoz szükséges időt is megtakaríthatjuk így.

Az ilyen élő tanítás, amely betölti mind a lelket, mind a szellemet, hozzásegíti az embert, hogy szembenézzen egyik legsúlyosabb problémájával: mihez kezdjen saját magával... A legfejlettebb társadalmak, mint a mienk, már többet tudnak termelni, mint amennyit el tudnak fogyasztani, és az egyre tökéletesebb automatizálással párhuzamosan a szakadék gyorsan mélyül. Megpróbálunk szembenézni a kihívással úgy, hogy haszontalan dolgokat,

például fegyverzeteket állítunk elő. De ez nem oldja meg véglegesen a problémát. Végül majd kevesebbet kell dolgoznunk. De akkor mihez kezdünk majd saját magunkkal? Az életet nem lehet betöltetlenül hagyni. Az embernek szüksége van az izgalomra, kihívásra, és egy gazdag társadalomban minden könnyen elérhető. Az unalom veszélyes, ugyanis könnyen arra készítheti a társadalmat, hogy az izgalmat, felelőtlen és tudatlan vezetőket követve, politikai kalandban és katasztrófpolitikában keresse. A mi saját társadalmunk az utóbbi időben riasztó jeleit mutatta ennek a hajlandóságnak. Abban a világban, ahol az atombombák másodpercek alatt a világ egyik végétől a másikig repülhetnek, ez egyenlő az öngyilkossággal. Az élő művészetek és a tudomány tanítása során az iskolák végtelen távlatokat nyithatnak, kihívást jelentenek az intellektuális és művészi élet számára, és az egész életet izgalmas kalanddá változtatják. Azt hiszem, hogy tanításunk során nemcsak a részleteknek és az általánosításoknak kell egyensúlyban lenniök, de a tanításunk egészének egyensúlyban kell lennie az általános emberi értékekkel is.

Befejezésül néhány megjegyzést akarok fűzni egyes tárgyakhoz, először a természettudományokhoz. Ezeket a tudományokat két szempontból kell néznünk: először mindennemű oktatásnak, a humanista kultúrának része kell legyen. De azért is tanítanunk kell a természettudományokat, hogy felkészítsünk a különböző munkákra. Ha e két szempont között éles különbséget teszünk, akkor a “két kultúra” fogalma elveszti majd a jelentőségét.

Utolsó megjegyzésemet a történelem tanításáról akarom ejteni, nemcsak azért, mert ez a legfonto-

sabb tárgy, de azért is, mert még orromban érzem a saját izzadságom savanyú szagát, azét az izzadásét, amelyet akkor termeltem, amikor a történelmi adatokat tanultam. A történelemnek két fejezete van: a Nemzet történelme és a Világtörténelem. A Nemzet történelme egyfajta családi ügy, és én nem fogok itt beszélni erről. De mi a Világtörténelem? Ez lényegében az ember története, ahogyan felemelkedett az állati sorból a jelenlegi állapotába. Ez elbűvölő történet, és meghatározott számú alkotó ember e történet hőseinek a nevéhez kapcsolódik, akik új ismereteket teremtettek, új erkölcsi vagy etikai értékeket vagy új szépséget hoztak létre. A történelem e pozitív oldalával szemben ott áll egy negatív, destruktív oldal, ami a királyok, bárók, tábornokok és diktátorok nevéhez fűződik, akik mohóságukkal és hatalomvágyukkal háborúkat csináltak, csatákat vívtak, és lerombolva azt, amit más emberek építettek, majdnem mindig nyomort hoztak létre. Ők a hősei annak a történelemnek, amelyet jelenleg mint világtörténelmet tanítunk. Ez a történelem nemcsak negatív és torz, de hamis is, ugyanis elhagyja a tetveket, a patkányokat, az éhséget és járványokat, amelyeknek pedig – amint arra Zinsser alaposan rámutatott – több köze volt az események alakulásához, mint a generálisoknak és a királyoknak. Annak a világtörténelemnek, amelyet mi tanítunk, őszintébbnek is kellene lennie, és magába kellene foglalnia az elmúlt korok bűzét, szennyét, érzéketlenségét és nyomorát, hogy ezáltal megtanítsa bennünket arra, hogy megbecsüljük a haladást, és mindazt, amink van. Nem kell meghamisítanunk a történelmet; a történelemben megvan az a tendencia, hogy meghamisítsa saját magát,

mert a csatamezőről csak az élő tér vissza, hogy elmondja, mi történt. Ha csak egyszer visszatérhetne a halott is és elbeszelné a gyalázatos véget, amit megért, ma a történelem és a politika nem lenne ugyanaz. Egy igazmondóbb történelem egyszerűbb is lenne.

Amint eltűntek a válaszfalak a különböző természettudományok közül, ugyanúgy a természet és a humán tudományok közötti gátak is fokozatosan elenyészhetnek. A fizikai módszerek segítségével történő kormegállapítás a történelem kutatásának a módszerévé, míg a röntgen-színkép és a mikroanalízis a festészet tanulmányozásának az eszközévé vált. Remélem, hogy a humán lélektan eredményei segítségünkre lehetnek abban is, hogy az ember történelmét egységesebb és tisztább formában újraírjuk.

Az emberi haladás története nem kapcsolódik semmilyen periódushoz, nemzethez, világnézethez vagy bőrszínhez, és így megtaníthatná fiataljainkat egy szélesebb emberi összefogásra. Erre a szolidaritásra rendkívüli szükségünk lesz majd akkor, amikor – hogy összeegyeztethetők legyenek a fennmaradással – újjáépítik a politikai és az emberi kapcsolatokat.

Számtalan fejezete ellenére, oktatásunknak lényegében csak egy célja van: olyan emberek megformálása, akik szemüket a táguló horizontra függesztve szilárdan megállnak a lábukon. Ez a feladat az iskolát minden szinten a legfontosabb közintézménnyé és a tanárt a legfontosabb közéleti alakká teszi. Ahogyan ma tanítunk, olyan lesz a holnap.

(1964)

„A KUTATÁS ALAPVÁZÁT AZ OKFEJTÉS,
A MÉRÉS ÉS A SZÁMOLÁS FONALAIBÓL
SZÓTT ÁLMOK KÉPEZIK”

(Introduction to a Submolecular Biology, 1960)

A TUDOMÁNYOS ALKOTÓKÉSZSÉGRŐL

Ha kívülről tárgyilagosan szemlélem magam, az első dolog, ami feltűnik, hogy látom, amint mindennap kora reggel nagyon türelmetlenül sietek laboratóriumomba. Munkám akkor sem ér véget, amikor délután elhagyom a munkahelyemet. A problémáimról való gondolkodást egész idő alatt folytatom; és agyam bizonyára még akkor is folytatja róluk a gondolkodást, amikor alszom, mert problémáimra a kész válasz legtöbbször abban a pillanatban jut eszembe, amikor felébredek, olykor pedig az éjszaka közepén. Agyamnak úgy kell működnie, mint annak a magyar hashajtónak, amelyet a következő szöveggel reklámoztak: “Amíg ön alszik, a Darmol dolgozik.” Amennyire vissza tudok emlékezni, nagyon ritkán fordult elő, hogy bármelyik problémámnak a megoldására tudatos gondolkodással jöttem volna rá. Ez a tudatos gondolkodás csak mint végső eredményt meghatározó kezdet szerepelt agyamban, amely úgy látszik, sokkal jobban dolgozott akkor, amikor nem zavartam, például amikor aludtam vagy horgásztam. Azt gondolom, hogy e nélkül a koncentráció és odaadás nélkül semmi komolyat sem lehet elérni, történjék az akár a művészetben, akár a tudományban.

Mélyen meg vagyok győződve arról, hogy az értékelésünk alapját képező standardokat a legtöbbször nagyon korai éveinkben lefektetjük, és később ezeken már nem tudunk változtatni. Koordinátáim

szerint, a szellemi alkotómunka látszott annak a legnagyobb célnak, amiért bárki csak küzdhet, az egyetlen dolognak, amiért érdemes küzdeni. Értéktételünknek ez a korai éveinkben történő kialakulása a legfontosabb szempont a nevelés számára, és gyakran tudni szeretném, hogy milyen embereké fejlődnek majd azok a fiatalok, akik a tévé erőszakot és gyilkosságot sugárzó műsorán és a család reklámozáson nőnek fel, gyakran olyan családi hagyományok nélkül, amelyek e hatásokat ellensúlyozhatnák.

Gyakran megkérdezik tőlem, hogy miképp adhatott szülőhazám, a kicsi Magyarország viszonylag olyan sok kiemelkedő művészt és tudóst a világnak. Az ebben közrejátszó tényező bizonyára a szellemi értékek méltánylása volt, ami családom életét is jellemezte, s bizonyos mértékig az egész nemzet hagyománya. Egy kiemelkedő tudós a nép szemében magasabb polcon állt, mint egy kiemelkedő üzletember, tisztviselő vagy politikus.

A kis bibliai Dávid, aki megölte Góliátot, biztosan nagy meglepetést érzett, amikor óriás ellenfelét a földön kinyúlva látta. Az igazi tudós sohasem érezheti ezt a meglepetést. Az ember fejében körvonalazódhat egy akkora probléma, amekkorának Dávid látta Góliátot, de mihelyt a probléma megoldódik, rögtön el is enyészik, elveszti minden érdekességét. Talán ez az, ami mindig tovább és tovább ösztökél bennünket és nem engedi, hogy leüljünk s a múltban elért teljesítményeknek örüljünk. Helyesen mondják, hogy “az, aki babérjain ül, rossz helyen viseli azokat”. Mindez izgalmas, de nem kellemes. Ez az alkotó megszállottság nem megy gyötrelmek nélkül. Úgy látszik, minden szü-

lés fájdalmas.

A hangyákat hatalmas alkotóösztön hajtja, hogy magas hangyabolyokat építsenek, amelyek lényegében értéktelenek. A kérdés nemcsak az, hogy alkossunk-e, de az is, hogy mit alkossunk. Ez a probléma természetétől függ. Felvetni egy jó problémát, kérdezni egy jó kérdést – már a munka felét jelenti. A tudományos alkotóképesség értéke attól a feladattól függ, amelyre ezt az alkotóképességet fordítjuk. Minél nagyobb, alapvetőbb a probléma, annál jobb, de itt is megvannak a szigorú korlátok, és a túlméretezett feladat sem ér sokat. Goethe mondta, hogy “sehol nem nyilvánul meg a lángész világosabban, mint a bölcs önmérsékletben”; Newton, aki a gravitáció alaptörvényeit kidolgozta, mindig távol tartotta magát a gravitációs erő jellegének a problémájától, amit ugyanúgy nem tudunk ma sem, mint nem tudták az ő idejében, és ismeretlen marad még valószínűleg sok ideig, ha nem örökre. Ami engem illet, én csak az alapproblémákat szeretem, és a saját kutatásomat azzal tudnám jellemezni, hogy elmondom: mikor letelepedtem Woods Hole-ban és elkezdtem horgászni, mindig irdatlan nagy horgot használtam. Meg voltam győződve, hogy semmiképpen sem fogok ki semmit, és úgy véltem, hogy sokkal izgalmasabb nem kifogni egy nagy halat, mint nem kifogni egy kicsit. Azóta csökkentettem horgom méreteit, és most már olykor megakasztok egy halat.

(1962)

A TUDÓS FELELŐSSÉGE

“MERT VÉTKESEK KÖZT CINKOS AKI
NÉMA”

(Babits Mihály, Jónás könyve, III, 90.;
Szent-Györgyi Albert, What Next?, 1971)

ELŐSZÓ

Nem lehet kétséges, hogy az emberiség történelmének egyik legkritikusabb szakaszán halad keresztül, egy olyan szakaszon, amelyik – nem túl távoli jövőben – könnyen teljes pusztulásával végződhet. Számptalan tanulmányt írtak már ennek a krízisnek az okairól és az elhárítás módozatairól. Elemezték katonai, politikai, társadalmi, gazdasági, technikai és történelmi szempontokból. Van itt azonban egy tényező, amelyről általában mindenki megfeledkezett: az ember maga – az ember mint biológiai egység és egész. Biológusként ezt a megközelítést kísérem meg ebben a könyvben.

Az emberiség úgy növekszik, mint a kígyó. Időnként levedli régi bőrét és új bőrre tesz szert. Úgy tetszik, ez a folyamat az emberi történelem forrongó és nyugodt periódusaival esik egybe.

Erasmus, a reneszánsz bölcese különböztette meg az emberi történelem forrongó és nyugodt szakaszait. A forrongó időszakok azok, melyekben a hirtelen változások történtek. Mennél gyorsabb volt az átmenet, annál nagyobb volt a zavar. Két kérdésre kell felelnünk tehát: mi teremtette meg azt az éles átmenetet, mely napjainkban zajlik, és hogyan illeszkedhet be az ember a most formálódó új bőrébe? És nyilván itt van a végső kérdés: képes lesz-e ez az ember túlélni azoknak a társainak a mesterkedéseit, akik – úgy látszik – gyakran inkább eszeveszett majomként, mint épeszű emberként cselekszenek.

(1970)

A KÉRDÉS FELVETÉSE

Miért cselekszik esztelenként az ember? Ez az a kérdés, amellyel foglalkozni szeretnék. Történelme folyamán először képes az ember valóban élvezni az életet, nem kell rettegnie a hidegtől, éhségtől és betegségektől. Most először képes kielégíteni összes alapvető igényeit. Másrészt történelme folyamán ugyancsak most váltott először képessé arra, hogy egyetlen csapással elpusztítsa önmagát, vagy a szennyeződés és a túlnépesedés révén elviselhetetlenné tegye önmaga számára ezt a szűkülő kedves földtekét.

Úgy vélhetnők, hogy bármelyik bolond képes bölcsen választani a jólét és a pusztulás két lehetősége közül; ebben az esetben tulajdonképpen a kellemes és a fájdalmas között kell választani. Úgy látszik, mintha az ember az utóbbit választotta volna és a svábbogarak birodalmát kívánná megteremteni. A svábbogarak kevésbé érzékenyek a nagy energiájú sugárzásokra, és bőségre találnak majd abban a világban, melyet mentesítettek az emberi élet fenntartásához szükséges termékektől. A világ legpazarlóbb országában az emberek öt százaléká éheznek. Ötven százalék éheznek a világ más részein – gyermekek nem jutnak elegendő táplálékhoz, hogy egészséges testet és értelmet építsenek maguknak. Közben egyedül az Egyesült Államokban a második világháború óta 1 000 000 000 000 dollárt költöttek “védekezésre”, tömegeket pusztító eszközökre. Természetesen a Szovjetuniónak is hasonlóan kellett cselekednie. Ezek az összegek túl nagyok

ahhoz, hogy akár a leggazdagabb fantázia is elképzelhetné őket. Egy valódi büntörténet tanúi vagyunk. Ma már nem csupán büntörténet ez. Elképesztően ostoba is, mert a paranoikus – nagyzási és üldözési mániától hajszott – költekezéssel nem nyertünk egyebet, mint bizonytalanságot, idegfezsültséget, egy jegyet a pusztuláshoz, olyanok kezébe téve le sorsunkat, akikben nincs okunk bízni.

Ha az emberiség valóban ilyen esztelen, akkor hogyan vészelhette át történelmének előző évmillióit? Erre a kérdésre két lehetséges felelet van. Az egyik, hogy az ember nem éppen ennyire meggondolatlan, inkább a körülményei változtak meg, nem illik be többé a környezetébe, mely ésszerűtlenné teszi tetteit. Más azonban arra a következtetésre juthat, hogy az ember mindig ilyen volt, amilyen ma, hogy mindig is önpusztító volt, csupán technikai lehetőségei hiányoztak ahhoz, hogy kipusztítsa önmagát. Történelme mindig is töméntelen értelmetlen pusztítással és öldökléssel volt tele, és hogy eddig nem semmisítette meg önmagát, ez csak primitív és hatástalan öldöklő eszközeinek köszönhető; a primitív eszközök biztosították azt, hogy bármilyen heves összecsapás után is maradtak túlélők. A modern tudomány megváltoztatta a helyzetet. Ma már együtt mehetünk valamennyien.

Bármelyik is a helyes a két elgondolás közül, ha reménykedni akarunk a túlélésben, a legsürgősebben rá kell találnunk arra, mi tart bennünket ezen a sorsverte vágányon és van-e utunk és esélyünk arra, hogy letérjünk róla.

(1970)

EMBER ÉS TERMÉSZET

A természet hatalmas, az ember kicsi; az emberi élet jellege és színvonala mindig az embernek és természetnek a viszonyától függött, attól, mennyire volt képes megérteni a természetet, és erőit saját hasznára fordítani.

Minden faj fennmaradása attól függ, milyen mértékben képes alkalmazkodni a környezetéhez. Minden más élő fajhoz hasonlóan az ember is ahhoz a világhoz alkalmazkodott, amelyben kialakult. Ez a világ – mondjuk százezer esztendővel ezelőtt – végtelenül egyszerű volt, és egyszerűek voltak a problémái is. A legfőbb kérdés az volt, hogyan lehet napról napra életben maradni, élelmet, védelmet, szexuális partnert találni. Ez megannyi egyszerű szükséglet. Ennek megfelelően az ember olyan érzékszerveket fejlesztett, melyek képessé tették arra, hogy a medve és a farkas, a fa és a kőszikla, környezetének valamennyi lényeges eleme között különbséget tegyen. Életkörülményei annak arányában javultak, amint megtanulta formálni, használni az eszközöket. Felfedezte a tüt, a kereket, az íjat, a tüzet, a fémeket, a cserépetést stb., ezek jelezték a primitivitásból felfelé vezető út állomásait.

Ezek a felfedezések az ember mindennapi tapasztalatainak alapultak. Mindössze az emberi értelem magános csúcsai, az egyiptomi és görög–római világ képviselői kísérelték meg szórványosan érteni is a természetet. Erőfeszítéseiket az “ókor tudománya”-ként összegezhethetjük. Ennek a korszaknak a

tudományára jellemző volt a hit az elmélkedés, az ész fölényében, mely – mint vélték – akármilyen kérdést képes megoldani. Arisztotelész, akinek a tanai századok gondolkodását meghatározták, azt hirdette, hogy a nagy kő gyorsabban esik, mint a kicsi. Ebben az állításban nem az a figyelemre méltó, hogy helytelen, hanem az, hogy Arisztotelész sohasem gondolt feltevésének ellenőrzésére. Ő bizonyára a kísérlet gondolatát, javaslatát is sértésnek tekintette volna. Miért erőltessük a cselekvést, miért forduljunk segítségért a nyers tettekhez, ha az értelem felelni tud kérdéseinkre? Az emberi gondolkodás szabadsága igen korlátozott. Valamennyien egy szűk kalitkában, “korunk szellemében” élünk, melyben mozgási szabadságunk nagyon csekély. Ha különböző korokban az emberek különbözőképpen gondolkodtak, ez elsősorban nem annak köszönhető, hogy a kalitka tágult, hanem annak, hogy a kalitka elmozdult. Korának szelleme tette lehetetlenné Arisztotelész számára, hogy felemeljen két követ és megvizsgálja, melyik zuhan gyorsabban.

A XVI. században hatalmas változásnak kellett bekövetkeznie az emberi gondolkodásban: egy nap egy dacos fiatalember felment a pisai ferde torony tetejére, felvitt két követ, egy kicsit és egy nagyot, és megkérte a barátait: figyeljék meg, a két egyszerre eleresztett kő közül melyik ér először a kövezetre. Ez az ember – Galileo Galilei – nemcsak értelmileg tökéletességében hitetlenkedett, de érzékszerveiben is. Ez készítette arra, hogy távcsövet építsen. Felfedezte a Jupiter holdjait, melyet előtte még ember sohasem látott, bizonyítva ezzel, hogy a világegyetem nem csupán az ember kedvére és

gyönyörűségére van felépítve.

Az emberi értelem eme újjászületése az, amit ma “reneszánsz” néven foglalunk össze. Galileo volt az egyik első látnoka. Követte őt nemsokára Kepler, Leeuwenhoek és sokan mások, akik mértek, megfigyeltek, számoltak; felépítették a klasszikus tudományt, melynek csúcsait Newton, Darwin, Pasteur érte el.

Ez a klasszikus tudomány azzal a világgal foglalkozott, melyet az ember ismert, melybe beleszületett, melyhez alkalmazkodni próbált, melyben élt. Ennek megfelelően ez a tudomány nem hozott minőségileg új elemeket az emberi életbe, pusztán a környezet új összefüggéseit tisztázta. Hatalmas hatása volt az emberi gondolkodásra, rendszerekkel, törvényekkel helyettesítette az isteni szeszélyt, fogalmat adott az embernek saját múltjáról és jelenéről.

Az ókori tudomány nem változtatta meg az emberi életet. A klasszikus tudomány – néhány évszázadnyi latens periódus után – a XIX. században elvezetett az ipari forradalomhoz, mely nagyot lendített az emberiség életszínvonalán. Lendített rajta, de nem hozott minőségileg újat. A tűt már évezredekkel ezelőtt ismerték, a szövőgép csak gyorsabban és jobban tudott szőni. Hasonlóképpen a vasút – a vasparipa – csupán megelőzte a lovat és kényelmesebbé tette az utazást. A halandósági százalék csökkent, a tápláléktermelési lehetőségek növekedtek, új társadalmi osztály, az ipari munkásság született, de egészében a világ képe változatlan maradt.

Századunk fordulóján négy fontos felfedezés jelezte az emberi történelem új szakaszának a kez-

detét. Ismertté váltak az X-sugarak (1895), az elektron (1895), a radioaktivitás (1896) és a kvantum (1900), ezeket a felfedezéseket nemsokára követte a relativitáselmélet (1905). Az új felfedezések közül egyik sem volt – és nem is lehetett – érzékszerveink által érzékelhető. Az ember körül egy olyan világ bontakozott ki, melyről azelőtt sejtelve sem volt, amelyről érzékszervei semmilyen információval nem szolgálhattak számára. Érzékszervei nemcsak hogy nem informálták, de ezek a szervek sajátosan olyan alkotásúak, hogy ezekről ne is informálhassák. Ha ebből a világból fogtak volna feljelzéseket, haszontalanok lettek volna és a faj kipusztulását okozták volna. Ha én egyes kvantumokat érzékelnék a rohanó gépkocsik helyett, elgázolnának; ha elődeim elektronokat láttak volna medvék helyett, biztosan felfalták volna őket a fenevadak. Az emberi történelem immár két felvonásra oszlik, ezt a két szakaszt a századfordulón a modern tudomány megjelenése választja el egymástól. Az első periódusban az ember abban a világban élt, melyben faja született és amelyhez érzékszervei alkalmazkodtak. A másodikban átlépett egy új, kozmikus világba, melyben teljesen idegen. Történelme folyamán eddig sohasem élt át ilyen hirtelen változást. Én még nem vagyok olyan rettenetesen öreg, de még nagyon jól emlékszem, amikor nagybátyám – maga is tudós – elmondta nekem, hogy Párizsban a Francia Tudományos Akadémián bemutatott egy dolgozatot, mely végérvényesen bizonyította, hogy lehetetlenség a levegőnél nehezebb testekkel repülni. Mindenki fellélegzett, mert a repülés gondolata kezdte már nyugtalanítani az embereket. Arra az időre is emlékszem, amikor az

első gépkocsi meglátogatta az apám birtokát, és a munkások követelték, hogy a sofőr nyissa ki a motorházat és mutassa meg a svindlit, az eldugott lovat.

Alig fél évszázados lappangási periódus után a modern tudomány kezdte megváltoztatni az emberi életet, olyan tényezőket vezetett be, melyekről azelőtt álmodni sem lehetett. Az ember birtokában többé már nem földi, hanem kozmikus erők voltak azok az erők, melyek a világegyetemet formálták. Kis földi lángjaink ezer C° fok körüli hőmérsékletét atomreakciók millió fokos hői, a nap heve váltotta fel. A lovak sebességét – mint az emberi élet egyik tényezőjét – a fény és a hang sebességére cseréltük; fegyvereink viszonylagos ártalmatlanságát az atom ereje helyettesítette, mely kikötőket gátolhat, hegyeket mozgathat és közösségeket semmisíthet meg másodpercek alatt.

John Platt (Science, 166, 1115, 1969) a változásokat összefoglalva bemutatta, hogy századunkban a közlési sebesség növekedésének nagyságrendje 10^7 -szeresen (tízmilliószorosán), az adatkezelés sebessége 10^6 -szorosán, energiaforrásaink 10^3 -szorosán, fegyvereink ereje 10^6 -szorosán, a betegségek ellenőrzésének képessége mintegy 10^2 -szeresen, a népesség pedig 10^3 -szorosán növekedett a néhány ezer esztendő előtti szinthez viszonyítva. És ez csak a kezdet, mely határtalan lehetőségeket nyit mindkét irányba: az emberi élet sohasem álmodott bőségének és méltóságának a megteremtéséhez vagy a hirtelen, nyomorúságos vég felé.

Új kozmikus világban élünk, nem ehhez készült az ember. Hogy fennmarad-e, ez most attól függ, milyen gyorsan és milyen helyesen tud alkalmaz-

kodni, át tudja-e építeni eszméit és elgondolásait, társadalmi, gazdasági és politikai szervezetét. Léte attól függ, gyorsabban tud-e alkalmazkodni, mintsem alantans erők elpusztítanák. Pillanatnyi helyzete előnytelen.

Arra kényszerültünk, hogy ősemberi aggyal nézzünk szembe ezzel a helyzettel; olyan aggyal, mely nem sokat változott azóta, amióta kialakult. Idejétmúlt gondolkodással, intézményekkel és módszerekkel fogadjuk a változásokat, olyan politikai vezetőkkel, akik szellemi gyökereikkel egy régi, pretudományos világba kapaszkodnak, és azt hiszik, hogy a problémák megoldásának az egyetlen módja a csalafintaság, a kétszínűség, annak az atomarzenálnak a további növelése, mely már ma is elegendő, hogy háromszorosan is elpusztítson minden élő egyedet. Máris egyetlen szempillantás alatt eltörölhető bármilyen távoli város, ennek ellenére még mindig több és több ilyen bombát helyezünk el a föld alatt, a tenger alatt, kilövésre készen, úgy, mintha ezek is régi típusú bombák volnának, melyeknek a száma dönti el egy ütközet sorsát.

Ami az egész helyzetet olyan borzalmasan cél-talanná teszi, az az, hogy ezeket a bombákat egyáltalán semmire sem lehet használni. Túlásagosan hatalmasak. Senki sem löheti ki őket anélkül, hogy ne követne el öngyilkosságot és ne törölné el vele magát az emberiséget. A világ legerősebb katonai hatalma nem képes megbirkózni egy kis, fejletlen nemzettel, mely nem rendelkezik egyetlen ilyen bombával sem, ennek ellenére most ellenfelének életerejét csapolja meg.

Egy világ, melyben élő valóságában figyelhetem embertársamat, amint a Holdon lépeget, és beszél-

getni hallom ott, miközben házikabátban otthonban pihenek... ez nem a régi világ, melyben az emberi faj született. Ez új világ, amely új eszméket, új módszereket és új vezetőket követel. Hogy nem sikerült még ezt megvalósítanunk, nem fogtuk fel az "új" eszméket, nem fejlesztettük ki az "új" vezetőket, nem alakítottuk ki az "új" módszereket – ez kétségbeejtően nyilvánvaló abból, hogy ma is ugyanúgy cselekszünk, mint elődeink évezredekkel ezelőtt. Századokon át az volt az emberek fő gondja, milyen lesz az élet a halál után. Úgy látszik, ma először arra kell válaszokat keresnünk, milyen lesz az élet a halál előtt.

(1970)

AZ AGY ÉS AZ ÉRTELEM

Bármit cselekszik az ember, először gondolatban cselekszi azt. A gondolkodás alapján meghatározott szerkezet áll – az agy. Semmilyen tett sem lehetséges a cselekvést végző anyagi rendszer nélkül, és ez a rendszer csak azt végezheti el, amire szerkezete, felépítése képessé teszi. Egy tehén sohasem tojhat tojást, bármennyire erőlködne is, sohasem lehet szöveget gépelni egy lemezjátszóval és hanglemezt lejátszani egy írógépen. Az ember szintén csak arra képes, amire agyszerkezete lehetőséget teremt. Ezért, mielőtt az emberi tettekről beszél-nénk, szükséges egy pillantást vetnünk az agyra; milyen ez a szerv és milyen célokra formálta szerkezetét a természet?

A létért való küzdelemben egyes állatok agyarakat, mások szarvakat vagy karmokat növeltek, ismét mások mérgeket termeltek ki. Az embernek agya fejlődött, és sajátos módon ez a képlékeny anyagcsomó sokkal ragyogóbb eszköznek bizonyult az ember uralmának biztosításához, mint az agyarak, szarvak vagy mérgek. Az ember agya nem arra alakult, hogy az igazságot keresse, hanem azért, hogy élelem, biztonság és hasonló dolgok után kutasson vele; hogy felismerje az előnyös helyzeteket, hogy nap mint nap segítse az embert az életben maradásban. Az agy a túlélés, a továbbélés szolgálatában álló szerv. Az emberi indulatok, tettek meghatározói a vágyak vagy a szükségletek, az agy ezeknek az emberi megnyilatkozásoknak az

eszköze.

A primitív társadalmakban valóban ez volt az agy egyetlen szerepe. A szofisztikus társadalmakban azonban az agynak új szerepköre fejlődött ki; az, hogy hangzatos indokokat találjon szükségleteinek és vágyainak igazolására. Ezt a feladatát agyunk már olyan villámgyorsan végzi, hogy azzal áltathatjuk magunkat: tetteinkben valóságos indokok vezérelnek.

Az indokokról beszélve azonban egy dolgot tisztáznunk kell: ezeknek az indokoknak semmi valós értelmük nincs. Szavakból állnak, és a szavakat igen változatos módon lehet összeilleszteni. Mindenki hallott Szókratész kedvenc szórakozásáról: “Állíts valamit, és én meg fogom cáfolni; aztán állítsd az ellenkezőjét, és én azt is meg fogom cáfolni.” Bármilyen igazolható szavakkal és logikával. Nemzetségünk már ősidőktől két csoportra oszlott, a héják és a galambok csoportjára. Az első csoport tagjai a harcot, a második csoport tagjai a békességet kedvelik. Mindkettő egyformán igazolni tudja viselkedését szavakkal és logikával. Ilyenformán ennek az érvelésnek nincs jelentősége. Aminek jelentősége van, az maga a pusztán tény, hogy vannak héják és vannak galambok, a héják mindig héjaként, a galambok viszont galamb módra gondolkodnak és cselekszenek.

Egész idegrendszerünk egyetlen célra fejlődött ki, hogy életünk fenntartását és szükségleteink kielégítését segítse. Minden reflexünk ezt a célt szolgálja, és kifejezetten önzővé tesz bennünket. Ritka kivételektől eltekintve, az emberek valójában egyedül önmaguk iránt érdeklődnek. Mindenki szükség-szerűen saját világának a központja.

Amikor az emberi agy mintegy 100 000 esztendővel ezelőtt elnyerte végső formáját, a problémák és ezek megoldásai végletesen, egyszerűek voltak. Az embernek meg kellett ragadnia minden közvetlenül előnyös helyzetet; a hosszú távú kérdések hiányoztak. A világ azóta megváltozott, de mi még mindig apró közvetlen előnyökért áruljuk távolabbi létérdekeinket. Katonai-ipari komplexumaink, melyek veszélyeztetik az emberiség jövőjét, jórészt annak köszönhetik szilárdságukat, hogy nagyon sok ember mindennapi kenyere függ ezektől.

Ez az érdekeltségi komplexum valamennyiünket hatalmában tart, magamat is beleértve. Amikor megkaptam a Nobel-díjat, a legnagyobb halom pénzt, amelyet életemben valaha is láttam, tennem kellett vele valamit. A legegyszerűbb módja annak, hogy megszabaduljak ettől a forró kásától, az volt, ha befektetem; részvényeket vásárolok vele. Tudtam, hogy közeledik a második világháború, és féltem, hogy ha olyan részvényeim vannak, melyek értéke háború esetén emelkedik, óhajtani fogom az öldöklést. Ilyenformán arra kértem az ügynökömet, olyan részvényeket vásároljon, melyek értéke a háborúban zuhanni fog. Úgy történt. A pénzemet elvesztettem, de megmentettem a lelkiismeretemet.

Az emberi gondolkodás említett jellegzetességének figyelemreméltó következményei vannak a társadalmi szerkezetekben. Filozófiájának megfelelően az ember társadalmi intézményeket teremt társadalmi szükségleteinek a kielégítésére. Egyesek csatlakoznak ezekhez az intézményekhez, személyes érdekeiket az intézményes érdekek hálójába szöve; intézményekébe, melyek erejétől és hatalmától saját jólétük függ. Ebből az következik, hogy

ezek az intézmények rövidesen, inkább a személyes érdekeket, mint a társadalmi szükségleteket szolgálják. Amint az idő telik, a társadalom igényei és szemlélete megváltozik, de az intézmények maradnak, ezek harcolnak érdekeikért mindaddig, amíg – gyakran szenvedések, pusztítás és vérontás árán – el nem sepri őket a forradalom.

A modern tudomány szárba szökkenése jelentősen felgyorsította ezeket a változásokat. Legtöbb társadalmi intézményünk – miközben a társadalom szolgálatában tetszeleg – saját érdekeit szolgálja. Ez egyaránt érvényes hadseregekre, egyházakra és kormányokra; azt mutatja, hogy képmutató világban, hamis látszatok világában élünk, olyan világban, melyet ifjúságunk egészében kezd elutasítani.

(1970)

ÉSZREVÉTELEK A NEVELÉSRŐL

Az előbbieken megkísértem bemutatni, hogy a működést adott szerkezetek irányítják és hogy az emberi tetteket az agy szerkezete határozza meg. Ha mindössze ennyiről lenne szó, akkor semmit sem tehetnénk a dolgok mai folyása ellen, és ez a könyv fölösleges lenne. Az ember azonban azért tarthatja kézben saját jövőjét, mert az agy sok vonatkozásban hasonló egy újonnan szerkesztett gépezethez, a számítógéphez. A számítógép is szerkezet, mint annyi más konstrukció, de hogy mit képes elvégezni, az nem csupán a nyers váztól, de finom elektronikus és mágneses szerkezeteitől is függ, azoktól a szerkezetektől, melyeket programozással megváltoztathatunk.

Amit mi nevelésnek nevezünk, az nem egyéb, mint az agy programozása abban a korai szakaszban, melyben az még formálható. Az emberiség jövője a neveléstől függ, attól a programozó rendszertől, mely tetszés szerint változtatható. Az emberi történelem lényegében ennek a programozásnak a fokozatos változását tükrözi, és hogyha bárki összehasonlítja önmagát egy vad emberevővel, beláthatja, hogy az egyetlen lényegbevágó különbség kettejük között abban az eltérő nevelési programban van, melyen mindketten keresztülmentek. Ebből az következik, hogy a nevelés az emberiség egyik legfontosabb tevékenysége. Csodálatos lehetőségek felé nyit kaput, de ugyanakkor szörnyű veszedelmeknek teszi ki az emberiséget; nevelés

útján bármelyik diktatórikus rendszer saját érdekében változtathatja meg a társadalmat, ártatlan embereket vérengző gyilkosokká változtathat, amint erre századunk folyamán nem egy példa volt már.

A politikai rendszerek mindenkor kihasználták ezeket a lehetőségeket. Mindig minden új politikai rendszernek első feladata volt, hogy megteremtse saját nevelési rendszerét, mely az érdekeit szolgálja és a rendszer megszilárdulását biztosítja. Jómagam feudális országban nőttem fel, ahol a gondolkodást veszedelmes dolognak minősítették. Ilyenformán végtelen magolásokra kényszerítettek, és arra tanítottak, hogy a legnagyobb erény, ha valaki kész meghalni a királyért. (Később megtudtam, hogy a király valójában azt a klikket jelentette, amelyik kirobantotta az első világháborút, meghamisított jelentéseket továbbítva az uralkodónak.)

Elméletileg létezik a lehetőség, hogy nevelés útján gyökeresen megváltoztassuk a történelem menetét, a szűk látókörű nacionalizmust általános emberi szolidaritással váltsuk fel. A gyakorlatban azonban itt áll a hatalmas kérdés: ki képes, ki alkalmas arra, hogy tanítsa az ifjúságot? Léteznek az idősebbek, akik tanítják az ifjakat, de az idősebbek hajlamosak arra, hogy azt a világot közvetítsék tanulóik felé, melyben maguk is felnövekedtek. Ki tanítja akkor a tanítókat? És milyen világba akarunk elérni? Ha válaszolni tudunk ezekre a kérdésekre, már félúton vagyunk a problémák megoldása felé.

Hasonló megközelítésben, az egyik leglényesebb tényező, amely az ember cselekedeteit meghatározza, az az értékrendszer, melyet fiatal kora alakít ki. Ha én hetvenhat évemmel még mindig

türelmetlenül rohanok reggelente a laboratóriumba, ez azért van, mert mint gyermek megtanultam a szüleimtől, hogy az egyetlen dolog, amiért küzdeni érdemes, az új tudás vagy új szépségek megteremtése.

A tantárgy, melynek döntő hatása volt értékrendszerünk kialakulására, az a történelem. Milyen más alapokra lehet a jövőt építeni, mint a múltra? Bár természettudós vagyok, mégis úgy gondolom, hogy a történelem a legfontosabb tantárgy egy gyermek nevelésében. De ennek a valóságos történelemnek kell lennie! A “valóságos történelem” értelmezésem szerint az ember lassú fejlődésének a története, annak a története, hogyan emelkedett ki állattársai közül mai kiváltságos helyzetébe, ahol értékelni tudja a szépséget, a tudást és képes meditálni önmagáról. A felemelkedés üteme két tényező eredője; az egyik előreviszi, a másik visszahúzza az emberiséget. Visszahúzzák a háborúk, a vérengzés és a pusztítás... ezeknek az erőknek voltak a képviselői a királyok, a bárók, diktátorok, tábornokok és hasonlók. Történelmük nemcsak véres történelem, de hamis is, mivel – amint gyakran rámutattak már – a legtöbb háborút nem a dicsőséges királyok és vitéz tábornokok döntötték el, hanem a tetvek és patkányok, melyek fertőzést hordoztak és járványokat terjesztettek. És eldöntötte őket a táplálékhiány, amint ezt legutóbb a biafrai tragédia is példázta.

Azoknak az erőknek a képviselői, amelyek előre hajtották az emberiséget, azok voltak, akik új tudás, új szépségek, hathatósabb erkölcsi és etikai értékek után kutattak. Történelemkönyveimben sehol sem találok neveiket. Bertrand Russell találóan je-

gyezte meg, hogy nemzeti hőseink szobrainak talpzata annál magasabb, mennél több embert öltek meg. Véleményem szerint az emberiség igazi hősei a Galileik, Newtonok, Darwinok, Pasteurök, Shakespeare-ek, Bachok, Lao Tcék és Buddhák... akiknek a neveit ritkán említik azok a történelemkönyvek, melyek tele vannak a csatáknak és a nemzeti határok értelmetlen ide-oda tologatásának a leírásával.

A jó nevelés meg tud oldani egy másik igen nyomasztó problémát: mit tegyen az ember önmagával akkor, amikor már többet tud termelni, mint amennyit elfogyaszt? Ezért van szükségünk egy olyan nevelési rendszerre, mely a valódi erkölcsi, esztétikai és szellemi értékek megértésére alapoz. Elegendő fenségesség, szépség és báj van a világon arra, hogy magunkba szívjuk, nem létezik a valóságban olyan kényszer, mely arra készítetne, hogy embereket ölni menjünk unalmunk elűzésére.

Az ebben a fejezetben ismertetett helyzet már bizonyos mértékben megváltozott. Úgy írtam le ezeket a sorokat, mint az öreg, aki a fiatalokat oktatja. Ne tovább. Az ifjúság kitört, önmagát tanítja és saját világot alkot magának.

(1970)

GYERMEKEK

Uram!

Szétválasztottad a nemeket, hogy az örök keresésben lelkünk legmélyebb húrjai összecsendjenek. Az összecsendülésből gyermekek születnek, kedves, hófehér értelemmel kifeszítő gyermekek.

De előítéleteim, félelmeim és gyűlöletem borítják el ezt a tiszta elmét. Bombavetőim az élet sötét árnyait, szép szándékaink hiábavalóságát példázák. És ha felnő, nemes tettekre készen, szervezett mérsárlásra tanítatom, legszebb éveit erkölcsi iszapba fojtva.

Uram, mentsd meg gyermekeinket.

Mentsd meg értelmüket, hogy romlottságunk ne rontsa meg őket.

Mentsd meg életüket, hogy a fegyverek, melyeket mások ellen kovácsolunk, ne őket pusztíthassák, hogy jobbak lehessenek szüleiknél, hogy építhessék önnön világukat, a szépség, tisztesség, összhang, jóakarát és méltányosság világát.

Melyet a béke és a szeretet kormányoz Mindörökké.

(1970)

ÉLET A HALÁL ELLEN

A tudomány elsődleges célja, hogy igazságra, új igazságra találjon. Ez a törekvése annál eredményesebb, mennél inkább arra irányul, hogy az igaz-ságot magáért az igazságért keresse, függetlenül annak esetleges gyakorlati hasznától és felhasználhatóságától. Általános szabály, hogy mennél alapvetőbb és mennél nehezebben érthető egy új igaz-ság, annál hatalmasabbak és jelentősebbek lesznek gyakorlati lehetőségei. Tulajdonképpen mindenünket, amink van – beleértve magát az életet is –, a tudománynak, a kutatásnak köszönhetjük. Ha egyszerre mindent elvesztenénk, amit a kutatás adott nekünk, a civilizáció összeroppanna és ott állnánk ismét meztelenül, barlangok után kutatva.

Még maga a tiszta igazság is, melynek egyáltalán semmilyen alkalmazási lehetősége nincs, az is magasabb szintre emeli az életet. Gyakorlati szempontból meglehetősen mindegy volt, hogy a Föld kering-e a Nap körül, vagy a Nap kerüli meg a Földet. Ennek ellenére Galilei és Kopernikusz magasabb szintre emelte az emberi létet. Hasonlóképpen vélekedhetnek majd egykor első holdbéli lépéseinkről. A tudomány az élet felé irányul.

Ezzel szemben a hadseregek és a fegyverek a halál szolgálatában állanak. A hadseregek, akár a védekezésre, akár a támadásra használják fel őket, a szervezett mérszárlás eszközei. Minden szerkezetük, ágyúik, bombájuk, napalmjuk, tankjaik, raké-

táik, bombázóik és harci gázuk a halál eszköze. A militarizmus halálközpontú, és a militarizmus által uralt társadalom maga is egy halálközpontú társadalom, amint arra Georg Wald nevezetes képviselői beszédében rámutatott.

Eszközöket használhatunk építésre és pusztításra, az élet felemelésére és tönkretételére egyaránt. Mennél hatalmasabb egy eszköz, annál hathatósabban szolgálhatja az életet, de annál általánosabb öldöklést és pusztítást végezhet.

Az élet felemelésére törekvő tudományos vívmányokat a hadászat az élet elpusztításának az eszközeivé változtatta. Mi biológusok csodálatos ismeretek birtokába jutottunk azon a téren, hogyan működnek az idegek... a katonák felhasználták tudásunkat arra, hogy idegbénító gázokat állítsanak elő. Csodálatos ismeretekkel rendelkezünk a betegségek természetéről, különösen a fertőző betegségek természetéről... a hadászat felhasználta ezt a tudást, hogy tökéletesítse a bakteriológiai hadviselés eszközeit. Csodálatraméltó ismeretekre tettünk szert a növényi életről... a hadászat lombtalanító anyagokat szintetizált ennek alapján. Felszabadítottuk az atomok rejtett energiáit, hogy magasabb szintre emeljük az életet és megszüntessük a robotot... a hadászat atom- és hidrogénbombákat gyártott ezzel a tudással, bombákat, melyek eltörölhetik az emberiséget. Ezek a jelenségek változtatják a hadászatra alapozó társadalmat halálközpontú társadalommá, egy olyan társadalommá, mely elkerülhetetlenül halad a végzete felé. Valamennyien úgy végezhetjük egyszer, mint az a 6300 juh, melyet egy reggel élettelenül találtak az Utah állambeli Shull Valleyben, miután egy harci gázokkal gyakorlatozó kato-

nai repülőgép kissé elszámította a magasságot és a szélsébséget. A tévedés valóban olyan apró volt, hogy a hadsereg illetékesei sem tudták felfedni a hibát és tagadták a felelősséget. De mi történik majd egy nagyobb baleset alkalmával, vagy éppen háború esetén, amikor a szembenálló hadseregek szántsándékkal nyitják ki a halálhozó csapokat, lövik ki méreggel töltött rakétáikat?

Miközben az Egyesült Államok tudományát helyrehozhatatlan károk érik évi százmillió dolláros megtakarítás kedvéért, nyolcvanmilliárd dollárt költenek évenként katonai konszernekre. Éppen mielőtt leírtam volna ezeket a sorokat, szavazott meg a kongresszus húszmilliárd dollár “különköltséget” a hadseregnek. Húszmilliárd – az kétszázszor százmillió. A katonai költségek és a társadalom megsegítése érdekében kiadott költségek viszonyát jól szemléltette nemrégiben a New York Times címlapján két, egymással szemben közölt számoszlop. Az egyik egy apró tudományos felfedezés költségeiről számolt be, egy új, kanyaróellenes védőoltás kidolgozásáról, mely a becslések szerint egyedül az Egyesült Államokban évi 30 000 életet ment meg. A másik számoszlop a heti vietnami statisztikákat adta össze, kimutatva, hogy a Vietnamban megölt amerikai közkatonák száma elérte a 40 000-et. A kanyaróoltás felfedezése körülbelül 100 000 dollárba, a 40 000 közkatonára elpusztítása mintegy 100 milliárd dollárba került.

Amikor felfedeztem az aszkorbinsavat (C-vitamint), büszkeséget éreztem, hogy olyasmivel vittem előre a tudományt, mely semmiképpen sem járulhat hozzá az öldökléshez. Azonban ez a büszkeségem rövid életű volt. Egy nap, amikor meglá-

togattam egy gyárat, tégelyek seregére lettem figyelmes. Elmondták, hogy ezek a tégelyek nyers aszkorbinsav-készítményt tartalmaznak; a német tengeralattjárókon helyezik el őket, ilyenformán a tengeralattjárók képesekké válnak halált osztogató küldetésben hónapokon át a nyílt tengeren tartózkodni anélkül, hogy legénységüket megtörné a skorbut.

Fokozatosan faragjuk le tudományos és kulturális juttatásainkat, hogy tovább bővítsük amúgy is duzzadt hadi költségvetésünket. Egy társadalmat, amely halált osztani készül, nemigen lehet megmenteni. Egy atomháborúban csak azok tarthatják magukat szerencsésnek, akik az első csapásra meghalnak...

Fel kell riadnunk, fel kell számolnunk a hadseregeket és a héjákat, melyek azokat támogatják, fel kell számolnunk a célszerű pusztítószerkezetek megszállottjait, mielőtt egy jobb életet építhetnénk, melyben a modern tudomány nyújtotta csodálatos eszközöket és lehetőségeket kihasználhatjuk.

(1970)

GERONTOKRÁCIA

Konrad Lorenz, az állatok viselkedésmódjának nagynevű kutatója lúdtojásokat költetett ki, egy szék lába mellett, és a pipék anyjuknak ismerték el a széklet életük hátralévő részében. Ha viszont kikelés után néhány órával tették őket a szék alá, nem jelentkezett hasonló reakció. A kísérlet célja annak a bemutatása volt, hogy bizonyos dolgokra csak fiatal korban fogékony az agy; később az agyszerkezetek “befagynak”, nem formálhatóak többé. A kutyáknál ez a befagyás hat hónap körül jelentkezik. Ha azt akarjuk, hogy egy farkaskutya gazdájaként ismerjen el, hat hónapnál fiatalabb korban kell magunkhoz szoktatnunk. Az embernél a befagyás úgy látszik a negyedik évtized környékén jelentkezik, ezután az agy egyre kevésbé képes új eszmék befogadására.

Max Planck, az emberi történelem egyik legnagyobb tudósa, a kvantum atyja írja önéletrajzában, hogy lehetetlen meggyőzni az embereket akármi-lyen új dolog felől. Egyetlen dolog, amit tehetünk, hagyjunk időt számukra, hogy meghaljanak. A fiatal generáció az új igazságokat öleli magához.

Szeretett édesanyám felvilágosult kételkedő volt, aki csak mosolygott, ha a vallásról beszéltek neki; de ha bármelyik fia bajba került, elrohant a templomba, megvesztegetni néhány fillérrel Szent Pétert, hogy járjon közbe érdekében. Kora gyermekkorának benyomásai kitörölhetetlenek maradtak, a későbbiek csupán egy vékony réteget alkottak,

mely könnyedén szertefoszlott.

Magam is tapasztaltam ezt. Negyedik évtizedemben voltam, amikor foglalkozni kezdtem kvantummechanikával, és megkíséreltem megérteni az atomot. Túl késő volt már. Értelmem képes volt felfogni az új eszméket, de ezek sohasem váltak véremmé, és úgy találtam, atomfizikai kérdésekben kerülnöm kell a vitákat az egyetemi hallgatókkal. Nekik egyaránt az agyukban és a vérükben volt az atom.

Annak ellenére, hogy a modern tudomány már a századforduló táján jelentkezett, csupán az ötödik évtizedben, Hirosima után vált vérvévé korunknak. Azok az emberek, akik Hirosima előtt érték el negyedik évtizedüket, sohasem képesek felfogni, mit jelent az atomerő. Tanulhatnak felőle, kívülről tudhatják, milyen sugarú körökben pusztítják el az életet a különböző megatonnás bombák, de az atomerő lényege sohasem válik vérükké. Tudásuk nem válik létük részévé, mindig könyvízü tudás marad. Egészen más a helyzet azokkal a gyermekekkel, akik felnövekedve iskolába menet mindennapos légiriadókat éltek át, tudják, hogy az óvóhelyek egy nap maguk alá temethetik őket, és felszínre jutva azt láthatják, hogy az a világ, melyben eddig éltek, elpusztult.

Meg vagyok győződve, hogy politikai vezetőink nagyon sok adatot tudnak a hidrogénbombáról, de a vérük még a régi világ ütemére lüktet, régimódi eszméssel és felfogással. Egy atom- vagy egy hidrogénbomba számukra csak egy nagyobb, egy jobb bomba maradt.

Jelen világunk gerontokratikus, olyan emberek uralják, akiknek az agya még az atomkorszak előtt

befagyott. Olyan dolgokat cselekszenek, melyek helyesek lehetnek ez előtt a korszak előtt, de értelmetlenek a dolgok új rendszerében.

Figyelmesen követtem tévékészülékem képernyőjén mind a demokraták, mind a republikánusok választási gyűléseit 1968-ban. Három dolog tűnt fel nekem. Elsősorban, hogy nem láttam fiatal embereket. Az emberek ötvenöt százaléka, azaz a világ lakosságának a többsége 30 esztendőn aluli. Dél-Amerikában ötven százalék 21 éven aluli. Ezekben a gyűléseken senkit sem láttam 30 évesnél és majd senkit negyvenesztendősnél fiatalabbat. A többség nyilván nem volt képviselve, és természetesen ki van zárva mindennapi politikai életünkből is. Valóban, 21 évnél fiatalabb embereknek még szavazati joguk sincsen.

Gerontokrácia vagyunk. A gerontokrácia jó rendszer akkor, amikor a változások lassúak és a legfőbb kérdés az értékek megőrzése, viszont igen veszedelmessé válik a gyors változások időszakában, amilyen a mai korszak is, amikor az ember léte attól függ, mennyire képes egy új világot alkotni. Mint diák, unalmas órák alatt gyakran szórakoztam azzal, hogy képzeletben összehoztam a különböző korok vezéregyéniségeit. Úgy találtam akkor, hogy Július Caesar és Napóleon tökéletesen megértenék egymást, és minden katonai és politikai ügyüket nehézség nélkül megvitathatnák. A történelem kétezer esztendeig stagnáló jellegű volt. Ma mindketten teljesen idegenek lennének.

A második dolog, amire figyelmes lettem 1968 nyarán, hogy szó sem volt kormányzási elvekről, vagy korunk nagy kérdéseiről. Csak a hatalom kérdéséről volt szó, ki megy és ki marad. Politikai

pártjaink, melyeket azért hoztak létre, hogy biztossítsák és fenntartsák a kormányzás elveit, nem egyebek, mint személyes ambíciók eszközei. Ilyenformán nem lepett meg, hogy az emberiség életkérdései, mint az antiballisztikus-rakétarendszer (ABM), amely egy új menetet vont a fegyverkezési csigavonalra, kicsinyes lókupectaktikával kerülnek döntés alá, miközben szavazatokat adnak el a pártok az elnöknek kegyekért és előnyökért... szavazatokat ígérve egy tehetséges ember kormányhivatalból való elmozdításáért, szavazatot árulva a déli iskolai szegregáció késleltetéséért. Parva sapientia regitur mundus.

A harmadik dolog, amit megfigyeltem, hogy ezeken a gyűléseken nem voltak asszonyok. Hol voltak az asszonyok? Az asszonyoknak több józan eszük van, mint a férfiaknak és szavazataik is vannak, melyek éppen olyan érvényesek, mint a férfiakéi. Sőt ők azok, akik az ágyútöltelékot termelik. Ezek a felszabadulásra vágyó asszonyok miért nem fognak össze és miért nem tesznek valamit azok ellen a héják ellen, akik fiaikat a halálba küldik? A vietnami háború már eddig is több mint 40 000 fiatal életet követelt, nem számítva a vietnamiakat és egy negyedmillió sebesültet és rokkantat. Mindenkinek van egy édesanyja, és ez a szám ilyenformán még ugyanennyi megtört szülőt, kedvest és rokont jelent, és gyermekeket, akik apa nélkül fognak felnővekedni.

A gerontokrácia, úgy látszik, a múltban keresi a jövődőt.

(1970)

SZEX

A nemiség és az éhség jelenti a legerősebb vágyat az emberben, és ezek váltják ki a legerősebb érzéseket is. Az éhség gyakran vezetett háborúhoz és forradalmakhoz, a nemiség alig. Nincs politikai jelentősége, csak ökológiai szempontból jelentős. Emellett az élet legerősebb hatóereje, nélküle nyilván kialudna az élet.

A szexben a magasztost a közönségestől csupán egy hajszálnyival választja el. A keresztény vallásoknak sohasem sikerült következetes álláspontot kialakítaniuk ezzel kapcsolatban; bűnként ítélték el a házasság előtt és szentséget tulajdonítottak neki a házasságban. Minden, aminek valamilyen köze van a házasságon kívüli nemi élethez, az bűnös; ez az érzés az örökség, melyet a vallás hagyott reánk. Úgy látszik, fiataljaink ma lerázták magukról ezt a természetellenes örökséget, ennek eredményeképpen remélhetőleg már a közeljövőben helyesebben, fogékonyabban, ésszerűbben ítéli meg a világ a nemiséget.

Hetvenhat esztendővel a hátam mögött nem érzem magam illetékesnek, hogy korunk szexproblémáiról beszéljek, vagy a kérdés szakértőjének a mezében tetszelegjek. Amikről beszélhetek, azok a szexuális erkölcsök, amelyek az én fiatalkoromban uralkodtak. Akkoriban a szexről alkotott fogalmaink rettenetesen zavarosak voltak. Nemi kapcsolatokat házasságon kívül fenntartani bűnnek számított, a szüzesség erénynek. Ha mégis túl erős volt a

kísértés [egy férfinak] nem kellett egyebet tennie, mint elmenni a bordélyházba, mely elfogadott társadalmi intézmény volt. Abban a társadalmi osztályban, amelyhez én is tartoztam, nem volt szabad egy “tisztességes” lánnyal másként, mint gardém, azaz egy idősebb hölgy társaságában beszélgetni, még otthon, szüleinek a házában sem. A leányokat annál vonzóbbnak tartották, minél kevesebbet tudtak a szexről.

Mindezek a szokások az erkölcsösség igényével léptek fel, de véget nem érő szenvedéseknek voltak az okozói, kiegyensúlyozatlan idegrendszeret és pszichopata tévelygéseket eredményeztek.

Azután jött a penicillin és a “pirula”, és világszerte fellazult az egész erkölcsi szerkezet. Úgy látszik, régi erkölcsünk alapján a terhességtől és a nemi betegségektől való félelem állott, lévén az erkölcsök a társadalmi létet lehetővé tevő előírások. Egy nemi betegségekkel és törvénytelen gyermekekkel terhelt társadalom nem lehetett volna szilárd. Egyébként a nemi erkölcsök hirtelen változása is mutatja, milyen felszínesek lehetnek erkölcsi meggyőződéseink. És mutatja azt is, hogy a történelmet már rég nem a világ fővárosaiban, hanem a kutatólaboratóriumokban alakítják, ott, ahol a fogamzásgátló tablettákat és az antibiotikumokat felfedezték. A gyötrő szexuális korlátainktól való felszabadulás lényeges fordulópontja az emberiség élettörténetének.

Szememben fiatalságunknak egyik legnagyobb érdeme – hatalmas erkölcsi bátorságának jele – az, hogy az egyik legerősebb emberi érzésnek, a szexuális vonzódásnak képes volt visszaadni a tisztaságát és méltóságát. Ezzel sokkal gazdagabbá és

derűsebbé tették az emberi életet, és engem személy szerint arra készítettek, hogy sajnáljam, miért nem születtem ötven vagy hatvan esztendővel későbbben.

Nagyon tanulságos lenne végighaladni erkölcsi meggyőződéseink teljes skáláján, annak érdekében, hogy megvizsgáljuk, vajon ugyanolyan ingatag alapokon állanak-é, mint a nemi erkölcsök állottak; hogy megvizsgáljuk, nem lehet-e őket jobb, tisztább erkölcsi normákkal helyettesíteni. Minden reménység, mely a világon létezik, ifjúságunk képességeiben és törekvéseiben lakozik! Ha ifjúságunk képes volt egy új, egészségesebb szexuális kódot alkotni, ha képes volt elvetni a nemiséggel kapcsolatos mélyen gyökerező, hagyományos színlelést és szemfogatást az őszinteségért, becsületességért és méltóságért, nincs okunk kételkedni abban, miért ne lehetne új erkölcsi szemlélet kialakítója minden más – számunkra létkérdést jelentő – területen. Az ifjúság megpróbálja helyettesíteni a szűk látókörű nacionalizmust az emberi szolidaritással, helyettesíteni próbálja a háborút a békével. Ha imádkoznám valamiért, azért imádkoznám, hogy ez sikerüljön nekik, hogy sohase adják meg magukat, tartsanak ki mindig a fenyegetések és megtorlások dacára.

(1970)

UTÓIRAT

Jóformán már befejeztem ezt a könyvet, amikor a My Lai-i mészárlás részletei napvilágra kerültek. Kínos volt látnom befeketítve hazám nevét, azét az országét, amely sokáig az emberi eszmények zászlóvivője volt. Mi amerikaiak tudjuk vagy legalább sejtjük, hogy a My Laiban történetekhez hasonló dolgok tovább folynak és a cinkosok felelősségével sokkal súlyosabb gaztettekben és kínzásokban is bűnrészesek vagyunk.

Nyilván az történik majd, hogy a fővádottakat haditörvényszék elé állítják, és szigorú büntetést szabnak rájuk. A hadsereg megpróbálja kitisztítani a becsületén esett foltot, és saját ártatlanságának igazolására megkísérli néhány egyénre, elsősorban Calley hadnagyra hárítani a felelősséget. Calley hadnaggyal kapcsolatban engem mindenekelőtt nem az nyugtalanít, hogy ölt, hanem az, hogy a tanúk szerint nagyon tisztességes legény, jó tanuló és jó katona volt, nyilvánvalóan mindig megtette a kötelességét, soha semmilyen jelét sem mutatta bűnös hajlamoknak. Ez az, amitől elborzadok, mivel ez bizonyítja, milyen szörnyen brutálissá tehet a háború és a katonaélet, hogyan képes tisztességes embereket tömeggyilkosokká változtatni, olyanokká, akik hidegvérűen lőnek agyon asszonyokat és gyermekeket. A vádlók maguk tették Calley hadnagyot gyilkossá. Ha én volnék a bíró, elutasítanám az ügyet, felmenteném Calleyt és társait, de szigorú ítéletet hoznék a társadalomra, azért, mert olyan

intézményeket hoz létre, melyek gyilkosokká változtatnak tisztességes embereket. Mindenekelőtt itt van a hosszadalmas katonai kiképzés, melynek főcélja, hogy megtanítsa az embereket kérdezősködés nélkül engedelmeskedni a parancsoknak. Éppen ez az, amit Calley tett. Jó katona lett belőle. Van egy magyar közmondás: “Fejétől bűdösödik a hal.”

Van itt még egyéb is, ami engem ebben az egész ügyben nagyon meggondolkoztat. Kísérlet történt annak a bebizonyítására, hogy szó sem lehetett messzárlásról, hiszen My Lait már egy korábbi légitámadás eltörölte a föld színéről. Ha ez bizonyítható lett volna, nem lett volna több probléma. Ez az, ami engem zavar. Ha ez a légitámadás-ügy igaz, minden gyermeket és asszonyt éppen úgy megöltek volna. Miért rosszabb a civilek nyílt lelövése a földön, mint egy légitámadás, amely rutinművelet? Csak azért, mert a repülő, aki ledobja a bombákat, nem látja az áldozatokat? Puskával szemtől szembe ölni, látni azt, amit teszünk, elfogadni a felelősséget érte – nem bátrabb és becsületesebb?

A helyzetet az teszi különösen visszatetszővé, hogy mi, az Egyesült Államok voltunk azok, akik alapelveként mondtuk ki egykor: parancs végrehajtása nem menti fel a bűnösöket, mindenkinek saját erkölcsi mércéje szerint kell cselekednie, és felelős saját lelkiismeretével szemben. De ha ez így van, hol vannak a határok? Nekem azt mondja a lelkiismeretem, hogy helytelen dolog tízezer kilométerre utazni hazuról és embereket ölni azért, hogy hatalmon tartsuk egy rendőrállam antidemokratikus és korrupt kormányát. Nyilván, ha mint fiatalembert engem is Vietnamba küldenének, csupán önvédelemből nekem is ölni kellene. De ha nem kel-

lene odamennem, nem volna okom erre az önvédelemre. Ilyenformán, ha valóban hűszesztendős volnék és behívnanak, hallgatnék lelkiismeretemre és bizonyára kettészakítanám a behívócédulámat. Valószínűleg börtönbe küldenének, lehet, hogy öt év kényszermunkára. A bíróság, amely börtönbe küld azért, mert nem akartam ölni, elvileg ugyanaz lenne, amelyik el fogja ítélni Calleyt, amiért engedelmeskedett annak a parancsnak, hogy öljön.

Az egész helyzet példázza, mekkora mocsokba és zűrzavarba kerültünk. A fegyveres erő vagy bármilyen hasonló erő mint politikai eszköz idejétmúlta a huszadik században. Gyökeresen új utakat kell találni a politikai kérdések rendezésére. Ezek megoldása értelmet és jóindulatot, nem pedig nyers erőt követel.

A vietnami háború mérete elérte az első világháború méreteit (nem számítva a civil lakosságot ért károkat), és félúton van a második világháború statisztikája felé. Az öldöklés tovább folytatódik, beszennyezve választott hazám nevét.

Úgy ítélem meg, a hazafiság azt követeli, valamennyien utasítsuk vissza azt, hogy részt vegyünk ebben a háborúban. Ha vannak, akik segítettek az ország becsületének a megmentésében, azok a békeemetelek résztvevői. – Ők tüntettek, hogy megmutassák, ez a háború nem az amerikai nép háborúja, csupán a hadseregé és a kormányé.

Az emberiség keresztúthoz érkezett, két ellenkező irányba mutató jelzőtábla áll előtte. Az egyiket a My Laiban történt események jelképezik. Ez a tábla sötét világ felé mutat, melyet katonai-ipari komplexumok urálnak, rettegés, gyűlölet és pusztítás vezet. Megvalósításai: a terror, a pusztítóeszközök...

atombombák, tengeralattjárók, napalm, srapnelek, lombtalanító szerek, mérges gázok stb.... utat jeleznek az utolsó ítélet felé...

A másik útjelző az ellenkező irányba mutat. Napfényes, békés, tiszta világ felé, melyet a jóindulat, az emberi összefogás, tisztességtudás és méltányosság övez, amelyik megszabadult az éhségtől és a betegségektől, békét biztosít mindenki számára.

Nem vesztegethetjük sokáig az időnket arra, hogy határozzunk, melyik utat választjuk. Hosszas habozás esetén megtörténhetik, nem lesz már lehetőségünk a választásra. Pedig olyan egyszerűnek látszik a választás. Vagy talán mégsem az?

(1970)

KÖVETKEZTETÉS

Az emberek többségének a nevelése már jóval a születése előtt meghatározott. Az enyém is néhány nemzedékkel azelőtt kezdődött, mielőtt megszülettem volna. Akkor, amikor egy szegény, mezítlábas észak-magyarországi paraszt dél felé vette útját, és ott elszegődött egy gyógyszerészhez. Később ez a legény a bécsi egyetem élettan professzora- és dékánjaként az akkori modern orvostudomány központjába került. A fia és a fiának a fia is mind tudósok voltak. Én az ő dédunokája vagyok. Fiatal éveimben kialakult értékrendem szerint a legnagyobb dolog, melyért küzdeni érdemes, a tudás, az ember javát szolgáló új ismeretek. Pályafutásom kezdete óta sok méltánytalanságot és megpróbáltatást kellett elviselnem ennek az eszmének a szolgálatában. Később Hitler megtanított arra, hogy a tudás önmagában, erkölcsi értékek nélkül haszontalan. Ő sem tudott elbátortalanítani, mert csak az volt a kérdés, hogyan lehet megszabadulni tőle [...] Az Egyesült Államokba jöttem, abba az országba, mely akkori elképzeléseimhez a legközelebb állott. Azt reméltem, kutatói tapasztalatomat a rákellenes harc szolgálatába állíthatom, az ellen a betegség ellen harcolhatok, mely egyedül ebben az országban kétpercenként pusztít el egy-egy hosszas szenvedéseken átesett embert. Az ellen a betegség ellen, amely két legkedvesebb hozzátartozómtól fosztott meg.

Ma az öldöklésnek előnye van a gyógyítással

szemben. Emiatt – a tudományos tanács véleménye ellenére – megvonták tőlem a költségvetésből a kutatási segélyt. A kormány a tudományt nélkülözhető társadalmi fényűzősként kezeli, és életemben legelőször reményvesztettnek érzem magam. Fel kellett tennem a kérdést, vajon én jártam volna mindig rossz úton? Leírtam a gondolataimat, hogy – fekete sorokban a fehér papíron – tisztán lássam őket magam előtt. Hogy világosan áttekinthessem és eldönthessem, ki követi a hibás utat.

Végkövetkeztetésem, hogy az én utam a helyes. A sebesség, mellyel az általam választott és kedvelt ország a lejtőn lefelé halad, azt bizonyítja, hogy ez az állam választott helytelenül. Az ifjúságnak ajánlom ezt a könyvet, abban a reményben, hogy ismét helyes útra segíti a nemzetet. Az egész országnak ajánlom, mely jószívvel fogadott, és évek hosszú során át támogatta kutatásaimat.

(1971)

SZENT-GYÖRGYI ALBERT

1893. szeptember 9-én született Budapesten. Édesapja Szent-Györgyi Miklós, édesanyja Lenhossék Jozefina, a híres anatómus Lenhossék dinasztia tagja, Lenhossék József anatómus professor leánya. A fiatal Szent-Györgyi Albert a budapesti egyetem orvosi karára iratkozik, ahol nagybátyja, Lenhossék Mihály mellett már diákkorában nemzetközi elismerést kivívó szövettani eredményeket ér el.

Az első világháború alatt az osztrák-magyar hadseregben szolgál, majd megsebesülése után – 1918-tól kezdetét veszi hosszú tudományos vándorútja Európa és Észak-Amerika kutatóintézetekben. 1918-ban a pozsonyi egyetemen, 1919-ben Prágában és Berlinben dolgozik. 1920-ban németországi egyetemeken kutat, majd hat esztendő Hollandiában tölt. Előbb a leideni egyetemen tanársegéd, később négy esztendeig Groningenben magántanár. A következetesen újat kereső, kitartó munka eredményei fokozatosan növekvő nemzetközi elismeréssé érnek. 1926-ban F. G. Hopkins professzor meghívására ösztöndíjas kutatóként Cambridge-be kerül. Ebben az időben kezdi meg a biológiai oxidációra vonatkozó vizsgálatait. 1928-ban sikerül izolálnia az aszkorbinsavat, ekkor körvonalazódott először a C-vitamin és az aszkorbinsav azonosságának a gondolata. Az aszkorbinsav tanulmányozása végett egy esztendő az Egyesült Államok jobb anyagi lehetőségeket

biztosító laboratóriumaiban tölt (Mayo klinika, Rochester). “Kezdetől fogva gyanítottam, hogy az aszkorbinsav a C-vitaminnal azonos, de barangoló életem nem felelt meg vitamin-kísérletek végzésének... Két évvel később arra ítélték, hogy professzor legyek, és Szegedre küldtek a Biokémiai Tanszék élére.” Ez az “ítélet” 1931-ben hangzott el. Ugyan-abban az esztendőben – immár Szegeden – sikerült teljes bizonyossággal azonosítani a C-vitamint az aszkorbinsavval, majd rövidesen sor került a C-vitamin mennyiségi előállítására, az ipari szintézisek kidolgozására is.

A Szegeden töltött 15 esztendő folyamán a vitaminkutatásokkal párhuzamosan Szent-Györgyi Albert jelentősen hozzájárult a biológiai oxidáció elméletéhez. Hans Adolf Krebs német származású angol biokémikussal együtt felderítette a szöveti oxidáció menetének fő állomásait és kulcsvegyületeit. (Szent-Györgyi–Krebs-féle körfolyamat). Ezekben az években sikerült lényegében tisztázni az aktomiozin és az ATP szerepét az izomösszehúzódnak biokémiájában, a szervezet energetikai rendszerében.

1936-ban a Harvard egyetem meghívott előadója, 1937-ben a C-vitaminnal és a szöveti oxidációval kapcsolatos kutatásaiért neki ítélik a világ legrangosabb tudományos díját, a fiziológiai és orvostudományi Nobel-díjat. 1938-ban a liége-i egyetem hívja meg tanárai közé; számos főiskola és akadémia választja tagjává, nemzetközi tudományos díjak jelzik a világ növekvő elismerését és csodálatát.

A második világháború alatt meg nem alkuvó lelkiismerete, humanista meggyőződése élesen

szembeállítja a náciizmussal. A háború végeztével, 1945–1947 között a budapesti egyetem Biokémiai Intézetének a vezetője, a Magyar Tudományos Akadémia elnöke.

1947 óta az Egyesült Államok keleti partvidékén, Woods Hole-ban, a Tengerbiológiai Laboratórium Izomkutató Intézetében dolgozik. Itt alkotta meg az élettudomány új korszakát jelző munkáit, a bioenergetika és a szubmolekuláris biológia kérdéskörében, itt születtek korunk egyik fenyegető rémének, a ráknak a megértéséhez és leküzdéséhez közelebb vivő eredmények.

Szent-Györgyi professzor az alap kutatások fel-tétlen híve, és éppen ezen az úton ért el az emberiség számára beláthatatlan fontosságú eredményeket. Kutatói hitvallása szerint “a tudomány kitaposott útjai gyakran zsákutcába vezetnek, és az alapkérdések felderítésének egyetlen helyes módszere, ha ezeket a problémákat az alapismeretek szintjén támadjuk meg”. Ebben a szellemben építette fel kísérleteit, fogalmazta szakközleményeit, és ezt a felfogást tükrözik a jelen kötetben közreadott, az emberiség sorsát fürkésző írások is. Nem egy állítást vitatni lehet, de a vita során, az érvek és ellen-érvek keresztüztüében – a szerző szándékának megfelelően – közelebb kerül hozzánk az előítéletek jármából kiszabadított igazság.

Az első világháború zaklatott korából a tudomány útjára induló tudós ma, fél évszázad egyéni és évszázadok társadalmi tapasztalatát összegezve, az élet titkainak feltárására áldozott élet bölcsességével szűri le kutatásainak tanulságait. Aggódo szemekkel figyelni választott hazájában, az Egyesült Államokban az emberi biologikumnak társadalmi

áttételeken hatalmassá lombosodó ellentmondásait,
figyelmeztet és bírál legnagyobb földi értékünk, az
élet érdekében... “mert vétkesek közt cinkos, aki
néma”.

Sz. T. E. A.

JEGYZETEK

Az őrült majom és a Hogyan tovább? című kötetekből átvett írások, valamint néhány kisebb idézet kivételével a jelen kiadás a budapesti *Gondolat kiadónál* 1970-ben megjelent kötet szövegeit és könyvészeti adatait vette a válogatáshoz alapul (Szent-Györgyi Albert, Egy biológus gondolatai; válogatta és a bevezetőt írta Straub F. Brúnó, fordította Tóth Miklós, a fordítást ellenőrizte Csányi Vilmos).

A VÁLOGATÁS JEGYZÉKE

Tudományos pályámról, *Introduction to a Submolecular Biology*, Academic Press, New York–London, 1960, 1.

Az élet lényegéről, *Válasz*, 1946. december (részlet).

Szövetlégzés (Előszó), *Studies on Biological Oxidation and Some of its Catalysts*, Acta Litterarium Ac. Scientiarum Universitatis Hung. Franciscose Josephinae, Sectio Medicorum, Eggenberger, Budapest, 1937, Barth, Leipzig, 1937, 3–4.

A biológiai oxidáció alapjai, uo. 7–9.

A C-vitaminről, uo.

Egészség, betegség, vitaminok, uo.

Az izom kémiai szerkezete, *Orvosok Lapja*, 1947,

11. sz. (A budapesti Orvosegyesület 1947. évi Balassa-émlékelőadása.)

Miért szubmolekuláris biológia? *Introduction to a Submolecular Biology*, 9–15.

Az élet energia-körfolyamata, uo. 17–26.

A gyógyszerek hatásának mechanizmusáról, uo. 107–114.

Az élő állapot, uo. 127–135.

Az élet jellege, *Nature of Life: A study on Muscle*, Academic Press, New York, 1948, 90–91.

Amikor én medikus voltam, Előszó Selye János **In vivo**, *A szupramolekuláris biológia védelmében* című kötetéhez, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1970, 9–10.

Az oktatás és az egyre bővülő ismeretek, *Science*, 146, 1964, 1278–1279.

A tudományos alkotókészségről, *Perspectives in Biology and Medicine*, 5., 1962, 173–178.

Előszó, *The Crazy Ape*, Philosophical Library Inc., New York, 1970.

A kérdés felvetése, uo. 11–21.

Ember és természet, uo. 13–18.

Az agy és az értelem, uo. 19–21.

Észrevételek a nevelésről, uo. 23–26.

Gyermekek, uo. 93.

Élet a halál ellen, uo. 47–49.

Gerontokrácia, uo. 53–56.

Szex, uo. 57–59.

Utóirat, uo. 81–83.

Következtetés, *What Next?* Philosophical Library Inc., New York, 1971, 67–68.

AZ IDÉZETT ÖNÁLLÓ KÖTETEK CÍME:

Nature of Life: A Study on Muscle, ©, Academic Press, New York, 1948.

Bioenergetics, ©, Academic Press, New York, 1957.

Introduction to a Submolecular Biology, ©, Academic Press, New York–London, 1960.

Perspectives in Biology and Medicine, 5, 1962, ©, A. Szent-Györgyi and University of Chicago Press, 1962.

Science, Ethics, Politics, ©, Vantage Press, New York–Washington–Hollywood, 1963.

The Crazy Ape, Written by a Biologist for the Young, ©, Philosophical Library, New York, 1970.

What Next? ©, Philosophical Library, New York, 1971.

TARTALOM

AJÁNLÁS.....	4
TUDOMÁNYOS PÁLYÁMRÓL	6
AZ ÉLET LÉNYEGÉRŐL	8
A BIOLÓGIAI OXIDÁCIÓRÓL	16
SZÖVETLÉGZÉS.....	18
A BIOLÓGIAI OXIDÁCIÓ ALAPJAI	20
A C-VITAMINRÓL	24
A P-VITAMINRÓL	29
EGÉSZSÉG, BETEGSÉG ÉS A VITAMINOK	37
AZ IZOMRÓL.....	45
AZ IZOM KÉMIAI SZERKEZETE	47
A SZUBMOLEKULÁRIS BIOLÓGIÁRÓL.....	68
MIÉRT SZUBMOLEKULÁRIS BIOLÓGIA?...70	
A KÉRDÉS FELVETÉSE.....	70
AZ ÉLET ENERGIA-KÖRFOLYAMATA	78
A GYÓGYSZEREK HATÁSÁNAK MECHANIZMUSÁRÓL	89
AZ ÉLŐ ÁLLAPOT	97
AZ ÉLET JELLEGE	107
MIKOR ÉN MEDIKUS VOLTAM... ..	110
AZ OKTATÁSRÓL ÉS AZ ALKOTÁSRÓL	113
AZ OKTATÁS ÉS AZ EGYRE BŐVÜLŐ ISMERETEK	115
A Tudományos Alkotókészségről	124
A Tudós Felelőssége	127
ELŐSZÓ.....	129
A KÉRDÉS FELVETÉSE.....	130
EMBER ÉS TERMÉSZET	132
AZ AGY ÉS AZ ÉRTELEM	139
ÉSZREVÉTELEK A NEVELÉSRŐL.....	143
GYERMEKEK	147
ÉLET A HALÁL ELLEN	148
GERONTOKRÁCIA	152
SZEX	156
UTÓIRAT.....	159

KÖVETKEZTETÉS	163
SZENT-GYÖRGYI ALBERT	165
JEGYZETEK	169

MEGJELENT A MAGYAR NÉPKÖZTÁRSASÁG ÉS ROMÁNIA SZOCIALISTA KÖZTÁRSASÁG KÖZÖS KÖNYVKIADÁSI MEGÁLLAPODÁSA KERETÉBEN

A KÖNYV SZERKESZTŐJE: MOLNÁR GUSZTÁV

MŰSZAKI SZERKESZTŐ: BÁLINT LAJOS

A MEGJELENÉS ÉVE: 1973.

ALAK: 61x86/24

PÉLDÁNYSZÁM: 21.750 + 180 FŰZVE.

PAPÍR: 80 G-OS FAMENTES

KIADÓI ÍVEK SZÁMA: 5,90

NYOMDAI ÍVEK SZÁMA: 7,33

TIZEDES OSZTÁLYOZÁS NAGY KÖNYVTÁRAK SZÁMÁRA: S2/73/ - 4 = 94 511,

KIS KÖNYVTÁRAK SZÁMÁRA: 82/7S/

TIP ÁRUL EXECUTAT SUB COMANDA NH. 626/197 ,
LA ÎNTRERINDEREA POLIGRAFICĂ CLUJ STR.
BRASSAI NR. 5-7, CLUJ REPUBLICA SOCIALISTĂ
ROMÂNIA