

The background of the cover is a microscopic image of plant cells, showing a network of cell walls forming a honeycomb-like structure. The cells are dark, and the walls are lighter, creating a complex, interconnected pattern.

Isaac Asimov

A biológia
rövid
története

GONDOLAT

Isaac Asimov

**A biológia
rövid története**

Gondolat • 1972

A mű eredeti címe:
A Short History of Biology

Fordította
Dr. Tóth Miklós

Szakmailag ellenőrizte
Dr. Szalay Marzó Lászlóné

A fordítást ellenőrizte
Dr. Csányi Vilmos

© 1964 Isaac Asimov

I. fejezet

Az ókori biológia

A tudomány kezdete

A biológia az élő szervezet tanulmányozása. Amint az emberi elme odáig fejlődött, hogy meg tudta saját magát különböztetni a mozdulatlan és érzéketlen földtől, amelyen áll, elkezdődött a biológia. Hosszú ideig azonban még nem volt tudomány. Az emberek csak arra szorítkoztak, hogy megpróbálják magukat és más betegeket gyógyítani, a fájdalmat enyhíteni, az egészséget helyreállítani, a halált távol tartani. Kezdetben ez mágikus szertartásokkal történt: az ember igyekezett elnyerni az istenek vagy démonok kegyeit, hogy rávegye őket a betegség lefolyásának kedvező befolyásolására.

Amikor táplálkozás céljára vagy a papok áldozatként állatot vágtak le, megfigyelhették az állati szervezet élő gépezetét. Ilyenkor figyelmüket a szervek egyes sajátosságaira összpontosították; nem az volt a céljuk, hogy tanulmányozzák működésüket, hanem felvilágosítást igyekeztek kapni arról, mit lehet belőlük kiolvasni a jövőről. Az első anatómusok a jósok, akik az állatok belső szerveinek alakjából és külsejéből megjövendölik a királyok és népek sorsát.

Kétségtelen, hogy ezekben az időkben, még a babona korlátlan uralma ellenére is, sok hasznos ismeretet gyűjtöttek össze. Azoknak az embereknek, akik a régi Egyiptomban oly ügyesen balzsamozták a múmiákat, gyakorlati ismereteik voltak az ember anatómiájáról. Hammurabi törvénykönyve, amely Babilónia történetében i.e. talán 1920-ra nyúlik vissza, részletesen szabályozza az orvosi foglalkozást, és az akkori orvosok, akiknek a tudása sok generáció gyakorlati megfigyelésén alapult, nyilván hasznosak voltak, mert tudtak segíteni a betegeken.

Mindenesetre a haladás a tudományban mindaddig rendkívül lassú volt, amíg az emberek azt hitték, hogy a világmindenség szeszélyes démonok uralma alatt áll, és úgy érezték, a természet alá van rendelve a természetfölöttinek. Nem azt tartották a legfontosabbnak, hogy a látható világot tanulmányozzák, hanem sugallat vagy kinyilatkoztatás útján próbálták megtudni, hogy mit kívánnak tőlük a világot kormányozó láthatatlan hatalmak.

Bizonyára akadtak akkor is emberek, akik elvetették ezt a felfogást, és elmélyültek annak a világnak a tanulmányozásában, amelyet érzékszerveik tártak fel előttük. Ezek az emberek

azonban elvesztek és elmerültek a nézeteikkel ellenségesen szemben álló kultúra árjában, nevüket nem jegyezték fel, hatásuk nem érződött.

Az ógörögök voltak azok, akik e téren változást hoztak. E nép nyugtalan, tudásvágyó, bőbeszédű, értelmes és olykor tiszteletlen is volt. A görögök nagy többsége, amint más népek is abban és a korábbi századokban, istenekkel és félistenekkel népesítették be világukat. Bár isteneik sokkal vonzóbbak, mint egyéb népek istenségei, viselkedésükben ezek is hasonlítottak a többiekhez. A betegséget - szerintük - Apolló nyilai okozták, akit apróságokkal is mérhetetlen haragra lehetett lobbantani, de ugyanakkor áldozattal és hízélgéssel le is lehetett csillapítani.

Voltak azonban olyan görögök is, akik nem osztották ezt a felfogást. I. e. 600 körül Ióniában (az égei tengerpart, a mai Törökország) több filozófus más felfogást vall. A hagyomány szerint Thalész volt az első ezek közül (i. e. 640-546).

Az ióniai filozófusok nem fogadták el a természetfölöttit, hanem úgy vélték, hogy a világmindenség dolgai határozott és megmásíthatatlan törvényeknek engedelmeskednek. Azt vallották, hogy létezik okozati összefüggés, vagyis, minden jelenségnek van oka, és ugyanaz az ok szükségszerűen idézi elő ugyanazt a jelenséget, így nem kell tartani valamely szeszélyes akarat megváltozásának veszélyétől. Feltételezték továbbá, hogy a világmindenséget kormányzó „természeti törvény” olyan, hogy azt az emberi elme képes felfogni, továbbá alapelvekből vagy megfigyelésekből levezetni.

E szemlélet szerint a világmindenség érdemes arra, hogy tanulmányozzák. Hívei úgy vélték, hogy az ember képes megérteni a világmindenséget, és biztosra vették, hogy az egyszer megszerzett ismeret örök érvényű marad. Ha valaki például meg tudná állapítani azokat a törvényeket, amelyek a Nap mozgását szabályozzák, senkinek sem kellene attól tartania, hogy ez az ismeret hirtelen azért vesztené el érvényét, mert Phaetón úgy dönt: megragadja a napszekér gyeplőit, és azt az égbolton tetszés szerinti új pályára vezeti.

Ezekről a régi ióniai filozófusokról keveset tudunk, mert munkáik elvesztek. Nevük és tanításaik lényege azonban fennmaradt. A „racionalizmus” filozófiája e tanokkal vette kezdetét, és azóta sem szűnt meg. Viharos volt ifjúsága, és a római birodalom bukása után lángja majdnem kihuny, de teljesen sohasem halt meg.

Iónia

A racionalizmus akkor vonul be a biológiába, amikor az állati test belső szerkezetét önmagáért kezdik tanulmányozni, és nem tekintik olyan eszköznek, amely isteni üzenetet tolmácsol. A hagyomány szerint az első ember, aki csupán azért boncolt állatokat, hogy a látottakat leírja, Alkmaion volt (i.e. 520 körül élt). Alkmaion i.e. kb. 500-ban leírta a szemidegeket, és tanulmányozta a tojásban növekvő csibe felépítését, így az anatómiában (az élő szervezet felépítésével foglalkozó tudomány) és az embriológiában (a születés előtti szervezettel foglalkozó tudomány) őt tekinthetjük az első kutatónak. Alkmaion azt a szűk csatornát is leírta, amely a középfület köti össze a torokkal. A későbbi anatómusok erről megfeledkeztek, és csak kétezer évvel később fedezték fel újra.



Hippokratész

A legfontosabb név, amely a racionális biológia kezdetéhez kapcsolódik, Hippokratészé (i.e. 460-377?). Magáról az emberről, azonkívül, hogy az ióniai partoktól nem messze, Kosz szigetén született és élt, ténylegesen semmit sem tudunk. Kosz szigetén volt Aszklepiosznak, a gyógyítás görög istenének a temploma. A templom majdnem ugyanaz volt, mint ma az orvosi egyetem. Akit itt pappá fogadtak, annak ez annyit jelentett, mint ma az orvosi diploma megszerzése.

Hippokratész a biológiának azt a nagy szolgálatot tette, hogy Aszklépiosz szerepét pusztán tiszteletbelire csökkentette. A hippokratészi szemlélet szerint egy isten sem befolyásolja a gyógyulást. A test egészséges, ha szervei jól és harmonikusan működnek, ha viszont nem így van, akkor beteg. Az orvosnak az volt a feladata, hogy mindent alaposan megvizsgálva megállapítsa, hol van a baj a szervezet működésében, és megtegye a szükséges intézkedéseket a baj megszüntetésére. Ezek azonban nem abból állnak, hogy imádkozzunk és áldozatot mutassunk be a démon kiűzése vagy az istenek kegyeinek elnyerése érdekében, hanem főképpen abból, hogy a beteg pihenjen, gondoskodjunk tisztán tartásáról, legyen friss levegője és egyszerű, egészséges tápláléka. Minden túlzás tilos, nehogy a szervezet működését egyik vagy másik irányban túlfeszítsük, tehát mindenben a mérsékletet kell szem előtt tartani.

Röviden: a hippokratészi felfogás szerint az orvos szerepe az, hogy hagyja a természetet: végezze el saját maga a gyógyítást. A testnek vannak önmagát javító eszközei, ezeknek biztosítani kell a működési lehetőséget. A gyógyítás tudományának csekély ismeretei mellett ez valóban kitűnő szemlélet volt.

Hippokratész olyan orvosi hagyományt teremtett, amely halála után századokon át megmaradt. A hagyományhoz hű orvosok írásaikra az ő tisztelt nevét tették, és így a könyveikből lehetetlen megállapítani azt, hogy mi az, ami valóban Hippokratésztől származik. A „Hippokratészi Eskü” pl., amelyet az orvosjelölt a diploma kézhezvételekor még ma is letesz, minden valószínűség szerint nem tőle származik, hanem feltehetően hatszáz évvel halála után fogalmazták meg. Az egyik legrégebb hippokratészi munkát, amely az epilepszia betegséget tárgyalja, valószínűleg maga Hippokratész írta. Ha ez így van, akkor ez a racionalizmus kezdetének nagyszerű példája a biológiában.

Az epilepszia az agyműködés rendellenessége (még ma sem értjük teljesen), amikor az agy elveszti normális uralmát a test felett. Enyhébb esetben a beteg az érzéki ingereket tévesen értelmezi, aminek következtében hallucinációi vannak. Szembetűnőbb formája az izmok feletti uralom elvesztése; az epilepsziás beteg összeesik, kiabál, görcsösen rángatózik, olykor kárt tesz önmagában.

Az epilepsziás roham nem tart soká, de ijesztő látvány. Aki nézi és nem érti az idegrendszer bonyolultságát, könnyen azt hiszi, hogyha valaki nem saját akarata szerint, sőt oly módon mozog, hogy még árt is magának, mindez azért van, mert a beteg teste valamilyen természetfölötti hatalom uralma alá került. Az ilyen betegről azt mondták, „megszállott”, a betegséget pedig szentnek tekintették, mert természetfölötti lényeknek tulajdonították.

A szent betegségről írott könyv, amelyet i.e. kb. 400-ban valószínűleg maga Hippokratész írt, határozottan szembeszáll ezzel a nézettel. Hippokratész ismét kifejti, hogy felesleges a betegségeket az isteneknek tulajdonítani, és semmi ok sincs arra, hogy az epilepsziával kivételt tegyenek. Az epilepsziának, mint minden más betegségnek, van valamilyen természetes oka és ésszerű kezelése. Ha nem ismerjük az okot és a kezelés bizonytalan, ez még nem indok arra, hogy általános érvényű ítéletünket megváltoztassuk.

Ennél a nézetnél jobbat még a modern tudomány sem tud adni. Ha valaki a biológiai tudomány kezdetének megjelölésére egy dátumot, egy embert és egy könyvet keres, senki sem mondhat jobb időpontot, mint i.e. 400; a keresett ember Hippokratész; a könyv címe pedig a *Szent*

Betegségekről.

Athén

A görög biológia és általában az ókori tudomány csúcspontját bizonyos értelemben az északgörög származású Arisztotelészben (i.e. 384-322) érte el, aki Nagy Sándor tanítója volt. Élete delén aratta sikereit, amikor megalapította Athénban a híres líceumot, ahol tanított. Valamennyi görög filozófus közül Arisztotelész volt a legsokoldalúbb. Majdnem minden tárgyról írt, a fizikától az irodalomig, a politikától a biológiáig.

Érdeklődését elsősorban a biológia, különösen a tengeri állatok tanulmányozása kötötte le. Noha később rájöttek arra, hogy Arisztotelész tudományos munkái közül a biológiai könyvek voltak a legjobbak, annak idején mégis ezek hívták fel magukra legkevésbé a figyelmet.

Arisztotelész gondosan és pontosan jegyezte fel az állatok küllemét és szokásait (ez a tárgya a természetrajznak). Művében kb. ötszázféléit vagy -fajtát sorol fel, megállapítva a különbségeket közöttük. A felsorolás önmagában semmit sem mond, de Arisztotelész ennél tovább megy. Felismeri, hogy a különböző állatok kategorizálhatók, és a csoportosítás nem egyszerű és könnyű. Pl. könnyű a szárazföldi állatokat felosztani négy lábúakra (állatok), repülő, tollas teremtményekre (madarak) és a többieket különfélékre (férgek). A tengeri lények a halak közé sorolhatók. Miután azonban ez az osztályozás megtörtént, nem mindig könnyű megmondani egy-egy állatról, hogy melyik csoportba tartozik.

A delfint pl. Arisztotelész gondosan megfigyelte, és így nyilvánvalóvá vált előtte, hogy bár külső megjelenésében és szokásaiban halszerű állat, sok fontos szempontból egyáltalán nem olyan, mint a hal. A delfinnek tüdeje van és lélegzik. Tartósan a víz alá merítve megfulladna, nem úgy, mint a halak. A delfin meleg vérű állat, nem pedig hideg vérű, mint a halak általában. S ami még fontosabb, kicsinyét élve hozza világra, és a kis delfint megszületése előtt a méhlepény táplálja. Mindezekben a delfin a szárazföldi szőrös, meleg vérű állatokhoz hasonlít. Arisztotelész úgy vélte, ezek a hasonlatosságok elégségesek ahhoz, hogy a cetféléket (bálnát, delfint és ámbrás cetet) a tengeri halak helyett a szárazföldi állatokkal sorolja egy csoportba. Ebben Arisztotelész kétezer évvel kora előtt járt, mert az ó- és középkorban a cetféléket továbbra is halaknak tekintették. Abban is egészen modern volt Arisztotelész, hogy a pikkelyes halakat két csoportba osztotta: csontos és porcos vázúakra (mint például a cápák). Ez ismét összhangban van a mai ismereteinkkel.

Az állatok osztályozása során Arisztotelész világos elméje felismerte a dolgok növekvő bonyolultságának sorrendjét. Úgy látta, hogy a természet lépcsőzetes állomásokon keresztül, az ember felé halad, aki a teremtés csúcspontján áll (mivel az ember természetéhez tartozik a gondolkodás). Így a világmindenség négy fő részre osztható: a Nap, a tenger és a levegő élettelen világa, e fölött a növények világa, még feljebb az állatok világa, és a csúcson az embereké. Az élettelen világ csak létezik, a növények világa nemcsak létezik, hanem szaporodik is, az állatok világa nemcsak létezik és szaporodik, hanem mozog is, végül az ember nemcsak létezik, szaporodik és mozog, hanem gondolkodik is.



Arisztotelész

Továbbá: minden egyes világon belül további felosztás lehetséges. A növények egyszerűbb és bonyolultabb növényekre oszthatók. Az állatokat nem vörös vérűekre és vörös vérűekre lehet osztani. A vörös vér nélküli állatok a bonyolultság növekvő sorrendjében a következők: szivacsok, puhatestűek, rovarok, rákok, polipok. Arisztotelész véleménye szerint a magasabb rendű, vörös vérrrel rendelkezők közé tartoznak a halak, a hüllők, a madarak és az emlősök.

Arisztotelész elismeri, hogy ezekben az „életfokokban” nincsenek éles határok, és egyes fajtákról lehetetlenség pontosan megmondani, hogy melyik csoportba tartoznak, így vannak egyszerű növényfélések, amelyek alig mutatják az élet jeleit. Egyes igen egyszerű állatfélék (pl. a szivacsok) a növényekhez hasonlítanak és így tovább.

Arisztotelésznél olyan elképzelésnek a nyomát sem találjuk, hogy az élet egyik formája lassan átalakulhat más formájává, hogy az a teremtmény, amely az életfokokban magasan van, valamelyik alacsonyabb fokozattól származhatott. Ez a felfogás a modern fejlődélmélet kulcsa, de Arisztotelész nem vallotta a fejlődés gondolatát. Az életfokok megállapítása azonban mulhatatlanul elindít egy gondolatsort, amelynek a fejlődés fogalmához kell vezetnie.

Arisztotelész a zoológia (állattan) megalapítója, de amint azt fennmaradt írásaiból megállapíthatjuk, a növényvilágra nem fektet súlyt. Halála után azonban Theophraszosz (i.e. 373-288), aki Arisztotelész iskolájának a vezetését átvette, pótolta a mesternek ezt a mulasztását. Theophraszosz alapította meg a botanikát (növénytant), és munkájában mintegy ötszáz növényfajt írt le.

Alexandria

Nagy Sándor kora és a perzsa birodalom meghódítása után a görög kultúra gyorsan terjedt a Földközi-tenger világában. Egyiptom a Ptolemaioszok uralma alá került (Nagy Sándor egyik tábornokának leszármazottai), és a görögök az újonnan alapított fővárosba, Alexandriába áramlottak. Az első Ptolemaiosz megalapította a Múzeumot, amely az ókorban lényegében egy mai egyetemnek felelt meg. Az alexandriai tudósok híresek a matematika, a csillagászat, a földrajz és a fizika területén végzett kutatásaikról. Kevésbé jelentős Alexandriában a biológia, de mégis volt két kiváló művelője: Hérophilosz (i.e. kb. 300-ban élt) és tanítványa, Eraszisztratosz (i.e. kb. 250-ben élt).

Hérophilosz volt az első, aki kellő figyelmet szentelt az agynak, amelyet az értelem székhelyének tekintett. (Alkmaion és Hippokratész is így vélte, de Arisztotelész más véleményen volt. Úgy gondolta, az agy a vér hűtésére szolgáló szerv.) Hérophilosz megkülönböztette egymástól az érzőidegeket (amelyek az ingert fogadják) és mozgatóidegeket (amelyek az izmot mozgatják). Különbséget tett artéria és véna között, megjegyezve, hogy az előbbi lüktet, az utóbbi pedig nem. Leírta a májat és a lépét, a szem renehártyáját és a vékonybél első részét (amelyet ma „duodenumnak” nevezünk). Ugyancsak leírta a petefészket és a kapcsolódó női szerveket, valamint a férfi prosztatáját. Eraszisztratosz azzal járult hozzá az agy megismeréséhez, hogy nagyagyra és kisagyra osztotta. Különösen kiemelte az agy barázdált külsejét (az agytekervényeket), és megállapította, hogy ez az embereknél kifejezettebb, mint az állatoknál. Az agytekervényeket tehát kapcsolatba hozta az értelemmel.

Ilyen ígéretes kezdet után kár volt, hogy az alexandriai biológiai iskola megszűnt, de mégis ez történt. Valóban, i.e. kb. 200-ban valamennyi görög tudomány hanyatlani kezd. Négy évszázadon keresztül virágzott a görög tudomány, de a folytonos egymás közti háborúskodás felemészte a görögök energiáját. Először macedón, majd római uralom alá kerültek. Érdeklődésük egyre

inkább a retorika, az etika, az erkölcsi filozófia tanulmányozása felé fordult. A természetfilozófiától - a természet racionális tanulmányozásától -, amely az ióniaiakkal kezdődött, elfordultak.

A biológia ezt különösképpen megsínylette, mert az életet természetesen szentebbnek tartották, mint az élettelen dolgokat, ezért kevésbé volt alkalmas arra, hogy racionális tanulmány tárgya legyen. Az emberi test boncolását általában bűnnek tartották, és vagy egyáltalán nem került rá sor, vagy ha eleinte mégis boncoltak, csakhamar abbahagyták, először a közvélemény ítélete, majd a törvény tilalma miatt. Adott esetekben a boncolás ellenzésének az oka az a vallásos hit volt (pl. az egyiptomiaknál), hogy a túlvilág valódi öröméhez a teljes fizikai testre szükség van. Mások, mint a zsidók, később pedig a keresztények, a boncolásban szentségtörést láttak, mert az emberi testet Isten a saját képére és hasonlatosságára teremtette, és ezért szent.

Róma

Azokban az évszázadokban, amelyekben Róma uralkodott a földközi-tengeri országokban, a biológia fejlődésében szünet állt be. A tudósok megelégedtek azzal, hogy összegyűjtsék és megőrizték az elmúlt idők felfedezéseit, és hogy népszerűsítsék azokat római tanítványaik előtt. Így Aulus Cornelius Celsus (i.sz. 30-ban élt) egy tudományos áttekintést nyújtó könyvében gyűjtötte össze a görög ismereteket. Ennek a gyógyításról szóló része fennmaradt, és az európaiak még a modern kor elején is olvasták. A római hódítások nyomán megnagyobbodott terület lehetővé tette a tudósoknak, hogy olyan helyekről gyűjtsenek növényeket és állatokat, amelyek a régi görögök előtt ismeretlenek voltak. Egy görög orvos, Dioszkoridész Pedaniosz (i.sz. I. század), aki a római hadseregben szolgált, kiadta Theophrasztosz művét, és ebben hatszáz növényfajt írt le. Külön figyelmet szentelt gyógyító tulajdonságaiknak, és így tekinthetjük a farmakológia (gyógyszertan) megalapítójának.

A természetrajzban is az enciklopédikus tárgyalásmód kerekedett felül. A természetrajzban a legismertebb római név Gaius Plinius Secundus (i. sz. 23-79). Harminchét kötetes enciklopédiát írt, amelyben mindazt összefoglalta, amit a régi szerzők természetrajzi munkáiban csak találhatott. Adatait legtöbb esetben mások könyveiből merítette, és nem mindig tudott különbséget tenni a valóság és valótlanosság között, így, jóllehet könyvei tekintélyes mennyiségű tény tartalmaznak, amelyeket a legtöbb esetben Arisztotelésztől vett át, van bennük egy sereg kitalálás vagy babona, innen-onnan összeszedett mese.

Pliniusszal egyébként kezd letűnni a racionális korszak. A különböző növény- és állatfajokat tárgyalva, igen nagy gondot fordít az egyes fajoknak az emberhez való viszonyára. Nézete szerint semmi sincs önmagáért, hanem vagy azért, hogy az embernek tápláléka vagy gyógyszere legyen, vagy pedig mint veszedelem arra intsen, hogy izmainkat és jellemünket erősítsük, illetve (ha más ok nincsen) erkölcsi tanulsággal szolgáljon. Ez a szemlélet rokonszenves volt a korai keresztényeknek, összhangban állt gondolatvilágukkal, ezért Plinius kötetei a legújabb időkig fennmaradtak.



Galénosz

Az ókorban az utolsó valódi biológus Galénosz (Galenus) (i.sz. kb. 130-200) volt, egy görög orvos, aki Kisázsiában született, de Rómában folytatott gyakorlatot. Kezdő éveiben a gladiátorok sebészeként dolgozott, és ez valószínűleg alkalmat adott neki az emberi szervezet megfigyelésére is. Bár ebben a korban semmi kivetnivalót nem találtak a kegyetlen és véres gladiatori játékokban, amelyek a nép szórakozását szolgálták, a holttest tudományos célú boncolását továbbra is ellenezték. Galénosz anatómiai kutatását főleg kutyák, juhok és más állatok boncolására alapozta. Ha módja volt rá, majmokat is boncolt, mivel felismerte, hogy ezek

hasonlítanak az emberhez.

Galénosz sokat írt, és különböző emberi szervek működéséről részletes elméleteket dolgozott ki. Mivel nem volt módja magát az emberi testet vizsgálni, és az ehhez szükséges eszközei is hiányoztak, ezért elméletei nem hasonlítanak a ma elfogadott elmélethez. Nem volt keresztény, de erősen hitt az egy isten létezésében. Mint Plinius, ő is úgy vélte, minden valami célból létezik, és így a testben mindenütt az isteni akarat megnyilvánulásának jeleit látta. Ez összhangban volt az erősödő kereszténység szemléletével, innen származik Galénosz népszerűsége az elmúlt századokban.

II. fejezet

A középkor biológiája

A „sötét kor”

A római birodalom utolsó napjaiban a kereszténység lett az uralkodó vallás. Amikor a birodalom nyugati részét előzönlötték a germán törzsek, ezek szintén felvették a keresztény vallást.

Nem a kereszténység ölte meg a görög tudományt, amely már akkor majdnem teljesen megszűnt, amikor még a kereszténység kis ismeretlen szekta volt, már jóval időszámításunk kezdete előtt a súlyos hanyatlás jeleit mutatta. Mindenesetre a kereszténység uralma sok századon keresztül akadályozta a tudomány feléledését. A keresztény szemlélet a ióniai filozófusokénak éppen az ellenkezője volt. A keresztény gondolat számára nem az érzéki világ volt a fontos, hanem a túlvilág, az üdvözülés, amely csak a kinyilatkoztatás, a hit és az egyház útmutatásai révén érhető el.

Az örök érvényű és változatlan természeti törvényekbe vetett hitet az a hit váltotta fel, hogy a világ állandó változásoknak van kitéve, mert az Isten, szentjei érdekében, állandóan beavatkozik a világ törvényeibe, csodákat tesz. Egyesek úgy vélték, hogy a világi dolgok tanulmányozása nem egyéb, mint az ördög találmánya, amely azt a célt szolgálja, hogy a keresztények figyelmét elvonja a lélek dolgainak tanulmányozásától. Számukra a tudomány az ördög műve lett.

Természetesen ez nem volt általános nézet, és a tudomány lángja az úgynevezett „sötét kor” árnyékában is pislákkolt. Egy-egy magányos tudós azon fáradozott, hogy életben tartsa a világi ismereteket. Így például az angol Bedé (673-735), amit csak tudott, megmentett a múltból, mivel azonban ez főként Pliniustól származó töredékekből állt, nem volt különösebb értéke.

Ez a láng talán végleg kialudt volna az arabok nélkül. Az arabok, miután fölvtették az iszlámot, a Mohamed által a VII. században alapított új vallást, kitörték száraz félszigetükről, s elárasztották Délnyugat-Ázsiát és Észak-Afrikát. Mohamed után egy századdal, 730-ban az iszlám hívői (a muzulmánok) Keleten már Konstantinápoly, Nyugaton Franciaország előtt álltak.

A muzulmánok katonai és kulturális szempontból a keresztény Európára félelmetes veszélynek látszottak, jelenlétük azonban a szellemi élet szempontjából hasznosnak bizonyult. Az arabok,

akárcsak a rómaiak, nem voltak különösen nagy kezdeményezők a tudományokban, de felfedezték és lefordították arabra Arisztotelész és Galénosz műveit, megőrizték, tanulmányozták őket, és kommentárokat írtak hozzájuk. A legfontosabb muzulmán biológus Ibn Szina üzbég orvos volt, akit neve latinos változata alapján Avicenna (980-1037) néven ismerünk. Avicenna számos könyvet írt Hippokratész orvosi elméletei és a Celsus könyveiben összegyűjtött anyag alapján.

Ez idő tájt azonban a történelmi hullám megfordult, legalábbis Nyugat-Európában. A keresztény seregek visszahódították Sziciliát, amely több évszázadon át mohamedán uralom alatt állt, és visszaszerezték Spanyolországot. A XI. század vége felé a kereszties hadjáratokban a nyugat-európai seregek megkezdtek a Közel-Kelet meghódítását.

Az európaiak érintkezése a mohamedánokkal segített annak felismerésében, hogy az ellenség kultúrája, életmódja bizonyos tekintetben fejlettebb és finomabb, mint a sajátjuk otthon. Az európai tudósok kezdtek arabul tanulni, hogy a virágzó arab tudomány könyveit lefordíthassák. A cremonai Gerard (1114-1187), aki az újból visszahódított Spanyolországban dolgozott, ahol az arab tudósok eredményeivel is megismerkedhetett, Hippokratész és Galénosz, valamint Arisztotelész néhány munkáját lefordította latinra.

Albertus Magnus (1206-1280) német tudós egyike volt azoknak, akik rajongtak az újra felfedezett Arisztotelészért. Tanítása és munkái úgyszólván teljesen arisztotelésziek voltak, és jelentős szerepet játszottak abban, hogy a görög tudomány eredményeit újból megismerje az emberiség.

Albertus egyik tanítványa volt Aquinói Tamás (kb. 1225-1274), itáliai filozófus, aki azon fáradozott, hogy Arisztotelész filozófiáját összhangba hozza a keresztény hittételekkel, és ez nagyjából sikerült is neki. Aquinói annyiban volt racionalista, hogy érezte: az elmét éppúgy isten teremtette, mint minden mást a világmindenségben, és helyes okoskodás mellett az ember nem juthat olyan eredményre, amely ellenkezik a keresztény tanítással; az ész tehát nem gonosz, és nem ártalmas.

A racionalizmus megújulásához tehát megtörténtek az előkészületek.

A reneszánsz

A középkor végén Itáliában újjáéledt a boncolás gyakorlata. Híre még mindig rossz volt, de a bolognai híres jogi egyetemen gyakran előfordult, hogy a halál okát csak a halott megvizsgálásával tudták eldönteni, s így az orvostképzés során végzett boncolás is könnyebben igazolható volt (Bologna és Salerno is nevezetes volt abban az időben orvosi egyeteméről).

A boncolás feléledése nem hozott azonnal új eredményeket a biológiában. Eleinte a fő cél Galénosz és Avicenna munkáinak illusztrálása volt; a tanár maga képzett tudós, aki ismerte a könyveket, de úgy vélte, hogy a boncolás lealacsonyító munka, és ezért annak végzését valamelyik alantasára bízta. A tanár előadott, de nem vizsgálta meg, vajon megállapításai fedik-e a valóságot, beosztotta ugyanakkor, aki maga nem volt tudós, ügyelt arra, hogy meg ne bántsa az

előadót. Ily módon tovább élt számos tudományos tévedés. Olyan sajátosságokat, amelyeket Galénosz az állatoknál talált, és ennek alapján feltételezte, hogy az embernél is megvannak, az emberekben is újra és újra megtalálták, holott a valóságban nem voltak meg bennük.

E sajnálatos helyzet alól egyedül Mondino de Luzzi (1275-1326) olasz anatómus volt kivétel. A bolognai egyetemen maga végezte a boncolásokat, és ezek alapján 1316-ban egy kizárólag az anatómiáról szóló könyvet írt. Ezért úgy vált ismertté, mint az anatómia feltámasztója. Ez azonban nem helytálló. Mondinónak nem volt meg a bátorsága ahhoz, hogy teljesen felszámolja a múlt tévedéseit. Egyes leírásai nyilvánvalóan inkább a régi könyvek tanításain alapultak, mint azon, amit saját szemével látott. Egyébként halála után visszaállították a régi gyakorlatot, és továbbra is a beosztott boncolt.

Itáliában azonban a biológia tanulmányozásának egy új serkentője támadt. A tudományok (részben a régi írások újrafelfedezése, részben pedig magában az európai kultúrában végbemenő természetes erjedés révén) újjászülettek. Ezt a korszakot reneszánsznak nevezzük.

A reneszánszban a művészetnek egy új naturalizmusa lépett a színre. A művészek megtanulták, hogyan alkalmazzák a perspektíva törvényeit, hogy a festmények tükrözzék a valóság három dimenzióját. Minden igyekezetük arra irányult, hogy minél jobban utánozzák a természetet. Ahhoz, hogy az ember ábrázolása megfeleljen a valóságnak, annak, aki teljes tudatossággal akart eljárni, nemcsak a bőr külsejét, hanem a bőr mögött levő izomzatok vonalait, sőt a csontok elhelyezkedését is tanulmányoznia kellett. A művészek így, akarva, nem akarva, műkedvelő anatómusokká váltak.

A leghíresebb művész-anatómus az olasz Leonardo da Vinci (1452-1519), aki mind embert, mind állatot egyaránt boncolt. A közönséges anatómussal szemben azzal a nagy előnnyel rendelkezett, hogy elsőrendű rajzot tudott készíteni arról, amit látott. Tanulmányozta (és illusztrálta) a csontok és az ízületek elhelyezkedésének módját, ő volt az első, aki utalt arra, hogy a külső különbségek ellenére, milyen hasonlóság van az emberek és a lovak lábszárcsontjainak elhelyezkedésében is.

Leonardo tanulmányozta és illusztrálta a szem és a szív működését, rajzokat készített a növények életéről is. Mivel egy olyan gép szerkesztésének gondolatával is foglalkozott, amely az ember számára lehetővé tenné a repülést, nagy figyelemmel tanulmányozta a madarakat, és rajzokat készített róluk, amint repülnek. Mindezeket titkos jegyzetei között őrizte. Kortársai nem tudtak erről a munkájáról, amelyet csak az újabb korban fedeztek fel. Ezért a tudomány fejlődésére e munkája nem volt hatással. Az ismereteknek ezt az önző gyűjtését helytelenítenünk kell Leonardónál.

Ahogy az anatómia lassan újjáéledt, úgy éledt újjá a természetrajz is. A XV. században a „felfedezések kora” virradt Európára. Az európai hajók végigjárták az afrikai partokat, elérték Indiát és a távoli szigeteket, továbbá felfedezték Amerikát. Amint az ókorban, a macedón és a római hódítások után, most is új, addig nem ismert növény- és állatfajták ébresztették fel a tudósok kíváncsiságát.

Prospero Alpini (1553-1617) olasz botanikus, mint orvos szolgált a kairói velencei konzulnál Egyiptomban. Itt alkalma nyílt a datolyapálmák tanulmányozására, és megállapította, hogy ezek mint hím- és nőivarú fák léteznek. Ezt kétezer évvel korábban már Theophrasztosz is

észrevette, de a megállapítást elfelejtették, és általánosan elfogadott nézet volt, hogy a növényeknek nincsen nemük. Alpini volt továbbá az első európai, aki leírta a kávécserejét. A reneszánsz kori természetrajz legnagyobb fejlődését Conrad von Gesner (1516-1565) svájci természetkutató révén érte el. Egyetemes érdeklődésében, hiszékeny természetéhez és abban a meggyőződésében, hogy a régi könyvek kivonatainak tömeges gyűjtése vezet el az egyetemes megismeréshez, hasonlított Pliniusához. Valóban, olykor a germán Pliniusnak is nevezték.

Az átmenet

Az 1500-as évek első évtizedeiben Európa ismét eljutott a görög biológia (és általában a görög tudomány) határaihoz. A továbbhaladás feltétele azonban annak a felismerése volt, hogy a görög könyvek csak a kezdetet jelentik. Mihelyt tartalmukat magukévá tették, félre kell őket tenni, nem pedig őrizni és tisztelni mindaddig, amíg végül is az értelem börtönfalaivá válnak. Mondino munkája mutatja, milyen nehéz volt a régiektől elszakadni és túljutni rajtuk.

Talán egy félig hóbortos tudósra volt szükség ahhoz, hogy az áttörést végrehajtsa. Theophrastus Bombastus von Hohenheim (1493-1541) svájci orvosról van szó. Atyja tanította a gyógyításra, de ő maga, mindent befogadó szellemi képességei ellenére, inkább a vándoréletet kedvelte. Utazásai közben igen sok orvossággal ismerkedett meg, amelyet otthon ülő kortársai nem ismertek, és így csodálatosan képzett orvosnak tűnt.

Alkímiával is foglalkozott, amit az európaiak az araboktól, ezek viszont az alexandriai görögöktől vettek át. A szokásos alkímista (ha nem volt kifejezetten csaló) ugyanaz volt, mint a modern vegyész, de az alkímia fő céljait soha nem érte el, legalábbis a maga sajátos módszereivel nem.

Az alkímisták először arra törekedtek, hogy megtalálják valamely fém, például az ólom arannyá változtatásának a módját. Keresték továbbá az úgynevezett „bölcsök kövét”, amelynek segítségével a közönséges fémek arannyá változtathatók, és használata révén az ember halhatatlanná lesz.

Hohenheim nem látott fantáziát az aranycsinálásban, úgy vélte, hogy az alkímia igazi rendeltetése az orvos segítése a gyógykezelésben. Azt állította, hogy megtalálta a „bölcsök kövét”, és örökké fog élni, de még ötvenéves sem volt, amikor baleset áldozata lett. Mivel vonzódott az alkímiához, ez arra vitte, hogy gyógykezelésének alapját az ásványokban lássa - az ásványok voltak az alkímia alapanyagai -, és lenézze a növényi orvosszereket, amelyeket az ókoriak annyira kedveltek. Dühösen támadta a régieket. Celsus művét éppen akkor fordították le, és ez volt az európai orvosok bibliája, de Hohenheim magát Paracelsusnak (jobb, mint Celsus) nevezte. Az utókor azután ezen a büszke néven ismerte.

Paracelsus 1527-ig Baselban volt orvos, és hogy nézeteinek minél nagyobb hírt verjen, a város főterén elégette Galénosz és Avicenna könyveit. Ennek az lett a következménye, hogy a régi nézetekhez ragaszkodó orvostársai Basel elhagyására kényszerítették, de felfogását nem változtatta meg. Paracelsus nem rombolta le a görög tudományt, még a görög biológiát sem, de támadása magára vonta a tudósok figyelmét. Elmélete nem volt sokkal jobb, mint a görög

elmélet, amely ellen oly hevesen hadakozott, de akkoriban olyan idők jártak, hogy a „képrombolás” önmagában is szükséges és értékes volt. A régiekkel szembeni hangos tiszteletlensége hozzájárult az ortodox gondolkodás pilléreinek megrendítéséhez, és bár a görög tudomány az európai gondolkodásban még egy ideig tartotta magát, uralma észrevehetően gyengülni kezdett.

III. fejezet

A modern biológia születése

Az új anatómia

Az az év, amelyet a „tudományos forradalom” kezdetének lehet tekinteni, 1543. Ebben az évben jelent meg Nikolaus Kopernikusz lengyel csillagásznak a naprendszerről szóló könyve, amelyben az volt az új, hogy a Napot helyezte a középpontba, amely körül a Föld a többi bolygóval együtt kering. Ez jelezte a világmindenségről alkotott régi görög szemléletnek (amelyben a Föld volt a középpont) a végét, bár egy század kemény küzdelme volt még hátra ahhoz, hogy az új szemlélet diadalmaskodjék.

Ugyanebben az évben egy másik könyv is megjelent, amely a biológiai tudomány számára éppolyan forradalmi volt, mint amilyenek Kopernikusz könyve bizonyult a fizikai tudományokban. Ez a második könyv a *De Corporis Humani Fabrica*ról (Az emberi test szerkezetéről) szólt, és szerzője egy belga anatómus, akit Andreas Vesaliusnak (1514-1564) hívtak.

Vesalius Hollandiában a galénoszi hagyományok szellemében nevelkedett, s a régi mester iránt mindvégig a legnagyobb tisztelettel viseltetett. Tanulmányainak befejezése után azonban egyszer Itáliába utazott, és ott liberálisabb szellemi környezetbe került. Mondino de Luzzi példáját követve, ő maga kezdett el boncolni, és nem hagyta magát befolyásolni a régi görög nézetektől, ha ezek nem egyeztek meg azzal, amit saját szemével látott.

A megfigyeléseinek eredményeképpen megjelent könyve az emberi test első pontos anatómiája volt, amelyet valaha is írtak. Könyve két szempontból volt nagy előnyben az addigiakkal szemben. Először: a könyvnyomtatás korában jelent meg, tehát sok ezer példányban terjedhetett el Európában. Másodszor: képekkel illusztrálva jelent meg. A képek feltűnően szépek voltak, közülük sokat Jan Steenzoon van Calcar, Tiziano tanítványa készített. Az emberi testet természetes helyzetben mutatta, és az izmok ábrázolása különösen jól sikerült.

Vesalius élete a könyv megjelenése után szerencsétlenül alakult. Nézeteit egyesek eretneknek tartották, s nyilvános boncolásai, amelyekről könyve beszámolt, törvénybe ütköztek. Arra kényszerítették, hogy a Szentföldre zárandokoljon, ahonnan hazatérőben hajótörés áldozata lett.



Vesalius

Vesalius forradalma a biológiában közvetlenül nagyobb hatású volt, mint Kopernikusz forradalma a csillagászatban. Amit Vesalius könyve állított, nem volt olyasmiről, ami (felületesen) hihetetlennek tűnt volna, mint a hatalmas Föld mozgása a világűrben. Ellenkezőleg, a szervek alakját és elhelyezkedését vonzó formában tárlta (ha sokszor ellent is mondott a régi

tekintélyeknek), és bárki maga is utánanézhette, ha vette magának a fáradságot.

A görög anatómia elavult, és egy új olasz anatómia indult virágzásnak. Gabriello Fallopio (1523-1562) - vagy Gabriel Fallopius (Ebben a korban a tudósok nyelve a latin, és a tudósok tényleges nevük latin változatát használták.) - Vesalius egyik tanítványa és munkájának folytatója volt. Tanulmányozta a szaporodás módját, és leírta a petefészkekből a méhbe vivő vezetékét, amelyet ma is Fallopius-kürtnek hívnak.

Egy másik olasz anatómus, Bartolommeo Eustachio - vagy Eustachius - (kb. 1513-1574) Vesalius ellenfele és Galénosz híve volt, de ő is tanulmányozta az emberi testet, és azt írta le, amit látott. Újra felfedezte Alkmaion csövét, amely a fülből a torokba vezet, s ezt ma is Eustach-kürtnek nevezik.

A felrészítő új szemlélet az anatómiából a biológia más ágaira is áttért; Hippokratész még bízott az orvosi kézben, ámde a későbbi századokban durva gyógymódok honosodtak meg. A helyzet az újkor elején odáig súlyosbodott, hogy a sebészetet nem tekintették az orvos feladatának, hanem a borbélyra bízta, aki ily módon nemcsak haját, hanem húst is vágott. A lőtt sebeket forró olajjal fertőtlenítették, és a vérzést úgy állították el, hogy a sebre tüzes vasat nyomtak.

Ambroise Paré (1510-1590) francia sebész változtatott a régi kegyetlen gyógymódon. Pályáját borbélyinasként kezdte, majd a hadsereghez szegődött borbély-sebésznek. A lőtt sebek kezelésére kellemes kenőcsöt használt, a vérzést pedig az erek lekötésével állította el. A korábbi kínszenvedés végtelen kis hányadával sokkal gyakrabban ért el gyógyulást, mint elődei. Ezért gyakran nevezik őt a modern sebészet atyjának.

Ugyancsak Paré volt az, aki különféle művétagokat talált fel, javított a szülészet módszerein, és Vesalius művéből francia nyelvű kivonatot készített, hogy a latinul nem tudó borbély-sebészek megismerkedjenek az emberi test felépítésével, még mielőtt találmányra belevágnának a testbe.

Úgy, ahogy jóval korábban az anatómusok lejttek az előadói emelvényről, hogy maguk végezzék a boncolást, az orvosok is levetették akadémiai fensőbbiségüket, és leereszkedtek, hogy operáljanak.

A vérkeringés

A test szerveinek alakjáról és elhelyezkedéséről, ami az anatómia tárgya, sokkal bonyolultabb azok rendes működésének tanulmányozása, ami a fiziológia tárgya. A görögök a fiziológiában nem sokra jutottak, és legtöbb következtetésük helytelen volt. Különösen helytelen felfogásuk volt a szív működéséről.

A szív nyilvánvalóan szivattyú, amely a vért mozgatja. De honnan jön a vér, és hová megy? Az első görög orvosok tévedése mindenekelőtt az volt, hogy azt hitték, csak a vénák vérerek. Az artériák a holttestben rendszerint üresek, ezért azt gondolták, ezek „légerek”. (Maga az artéria szó görög szóból származik, és azt jelenti: „légvezeték”.)

Hérophilosz azonban kimutatta, hogy mind az artériák, mind a vénák erek szállítanak vért. Mind a két vérérhálózat egyesül a szívben, és a dolog szépen rendben lett volna, ha a szívvel ellentétes végeknél a véna és az artéria között valamilyen kapcsolatot találnak. Sajnos, a leggondosabb anatómiai vizsgálat is azt mutatta, hogy mind a vénák, mind az artériák elágaznak, vékonyabb és vékonyabb erekbe torkoltnak, amíg az erek oly vékonyak nem lesznek, hogy eltűnnek. Semmiféle összeköttetést nem lehetett közöttük találni.

Galénosz ezért úgy vélte, hogy a vér az egyik érrendszerből a másikba a szíven keresztül jobbról balra áramlik. Ez úgy lehetséges, hogy a szívet jobb és bal részre osztó vastag izomfalon apró lyukak vannak. Ezeket a lyukakat sohasem találták meg, de az orvosok és az anatómusok tizenhét századon keresztül hittek létezésükben. (Csak azért, mert Galénosz mondta.)

Az újkor olasz anatómusai gyanakodni kezdtek, hogy a dolog nem lehet így, de nyíltan nem mertek ellentmondani. Hieronymus Fabricius - vagy Fabricius - (1537-1619) felfedezte azt, hogy a nagyobb vénákban billentyűk vannak. Pontosán leírta és kimutatta, mi a szerepük. Úgy helyezkednek el, hogy a vér akadálytalanul keresztülfolyik rajtuk a szív felé. De a vér nem tud a szívből visszafelé folyni anélkül, hogy a billentyűk ezt ne akadályoznák.

Ebből egyszerűen arra lehetne következtetni, hogy a vér az erekben csak egy irányban áramlik: a szív felé. Ez azonban ellenkezett Galénosz elképzelésével, az előre-hátra haladással, és így Fabricius csak odáig ment, hogy feltételezte, a billentyűk késleltetik (inkább, mintsem megakadályozzák) a visszafelé folyást.

Fabriciusnak azonban volt egy angol tanítványa, William Harvey (1578-1657), akit keményebb fából faragtak. Angliába való visszatérése után tanulmányozta a szívet, és észrevette (amit már előtte is több anatómus észrevett), hogy ott is vannak egyirányú billentyűk. A vér a vénákból beléphet a szívbe, de a billentyűk megakadályozzák, hogy visszamenjen a vénákba. Viszont: a vér elhagyhatja a szívet az artériákon át, de nem térhet vissza az ott levő egyirányú billentyűk miatt. Amikor Harvey lekötött egy artériát, az a szív felé eső részen duzzadt meg a vértől, ha pedig lekötött egy vénát, akkor a szívvel ellentétes oldalon jelentkezett a duzzadás. Mindez azt mutatta, hogy a vér nem ide-oda, hanem örökösén egy irányban áramlik: a vénából a szívbe, a szívből az artériába. Sohasem visszafelé.

Harvey kiszámította továbbá, hogy a szív egy óra alatt annyi vért szivattyúzik, mint amennyi az ember súlyának a háromszorosa. Lehetetlennek látszott, hogy a vér ilyen gyorsan képződik, majd ismét elbomlik. Nem maradt más hátra, mint annak a feltevése, hogy a vér az artériából az összekötő ereken keresztül, amelynek oly vékonyak, hogy nem láthatók, a vénákba megy. (Az ilyen láthatatlan erek feltételezése nem volt rosszabb, mint Galénosz láthatatlan lyukai a szívizomban.) Ha valóban léteznek ilyen összekötő erek, akkor könnyű belátni, hogy a szív mindig ugyanazt a vért pumpálja körbe-körbe: vénák-szív-artériák, vénák-szív-artériák... így semmi csodálatos nincs abban, hogy a szív egy óra alatt az ember testsúlyának háromszorosát pumpálja ki magából.



Harvey

Harvey 1628-ban egy kis, csupán 70 oldalas könyvben tette közzé eredményét és bizonyítékait. Hollandiában nyomták (sok íráshibával) *De Motu Cordis et Sanguinis* (A szív és a vér mozgásáról) címmel. Kis terjedelme ellenére forradalmi könyv volt, amely jól illett a korhoz.

Ezek voltak azok az évtizedek, amelyekben Galileo Galilei (1564-1642) olasz tudós

népszerűsítette a tudományban a kísérleti módszert, amivel teljesen felszámolta Arisztotelész fizikai rendszerét. Harvey munkája volt az első a biológiában, amely az új módszert alkalmazta. Ezzel Galénosz fiziológiai rendszerét a múltnak adta át, és megteremtette a modern fiziológiát. (Harvey-nek a szíven áthaladó vérmennyiségre vonatkozó számítása a matematika első fontos alkalmazása volt a biológiában.)

A régi orvosiskola hevesen támadta Harvey-t, de a tények ellen semmit sem tehettek. Harvey öregkorára a biológusok általában elismerték a vérkeringést, bár az artériákat és a vénákat összekötő ereket még nem fedezték fel. Ezzel Európa határozottan túlhaladta a görög biológiát.

Az életről alkotott egyik alapfelfogás szerint az élő anyag lényegében egészen más, mint az élettelen anyag, tehát az élettelen tárgyak tanulmányozásától nem remélhetjük azt, hogy az élet természetét megismerjük. Röviden: a természeti törvények két faja létezik, az egyik az élő, a másik az élettelen dolgokra érvényes. Ez volt a „vitalisták” felfogása.

Másrésről az élet úgy is felfogható, hogy ugyan rendkívül sajátos, de alapvetően nem különbözik az élettelen mindenség egyszerűbb szervezettségű rendszerétől. Ha elég időt adunk és elég fáradságot fordítunk az élettelen világ tanulmányozására, akkor elég ismeretet szerünk ahhoz, hogy megértsük magát az élő szervezetet is, amely - e felfogás szerint - hihetetlenül bonyolult gépezet. Ez volt a „mechanikus” felfogás.

Harvey felfedezése természetesen kedvezett a mechanikus felfogásnak. A szívet szivattyúnak lehetett tekinteni, és a benne folyó vér úgy viselkedett, mint bármilyen más élettelen folyadék. Ha ez így van, hol kell megállni? Vajon az élő szervezet többi részét nem lehet-e egy bonyolult és összefüggő géprendszernek tekinteni? A kor legkiemelkedőbb bölcselejt, a francia René Descartes-ot (1596-1650) vonzotta az a gondolat, hogy a testet gépekhez hasonló szerkezetnek tekintse.

Az emberre alkalmazva azonban az ilyen nézet veszedelmesen ellenkezett az akkori közfelfogással. Descartes gondosan kiemelte, hogy az emberi géptest nem foglalja magában az értelmet és a lelket, hanem csak az állathoz hasonló fizikai struktúrát. Megelégedett azzal, hogy csak az értelem és a lélek vonatkozásában maradt vitalista. Descartes annak a sejtésének adott kifejezést, hogy a test és az értelem-lélek között a kapcsolatot az agyból kinyúló kis szövetdarab, a tobozmirigy biztosítja. Félrevezette az a téves hiedelem, hogy csak az embernek van tobozmirigye. Hamarosan kiderült, hogy ez nem igaz. Sőt, egyes alsóbbrendű csúszómászóknál a tobozmirigy fejlettebb, mint az embernél.

Descartes elmélete, bár részleteiben helytelen, mégis nagy hatású volt, és akadtak fiziológusok, akik megkísérelték részletesen kidolgozni a mechanikus szemléletet. Így Giovanni Alfonso Borelli (1608-1679) olasz fiziológus halála után egy évvel megjelent könyvében az izom működését úgy tárgyalta, hogy az izom-csont együttvéve emelő-rendszert alkot. Ez szerencsésnek bizonyult, mert a fából készült emelőkre érvényes törvények pontosan illettek a csontból és izomból álló emelőkre is. Borelli más szervekre is, így a tüdőre és a gyomorra is, hasonló elveket próbált alkalmazni, de kevesebb sikerrel.

A biokémia kezdete

Élő szervezeten az első vegyi kísérleteket a flamand Joannes Baptista van Helmont (1579-1644) végezte, aki alkimista és Harvey kortársa volt. Van Helmont egy meghatározott mennyiségű földben fűzfát nevelt, és öt év után, amely idő alatt a fa csak vizet kapott, kimutatta, hogy a fa 164 fonttal gyarapodott, ugyanakkor a föld súlya csak két unciával lett kevesebb. Ebből azt a következtetést vonta le, hogy a fa a többletanyagot nem a földből vette (ez igaz), hanem a vízből (ez nem igaz, legalábbis részben nem). Van Helmont, balszerencséjére, nem vette számításba a levegőt, ami azért is meglepő, mert ő volt az első, aki a légnemű anyagokat tanulmányozta. Ő találta ki a „gáz” szót, és ő fedezett fel egy gázt, amelyet „spiritus sylvestrisnek” „erdei léleknek” nevezett el, és amelyről később kiderült, hogy nem más, mint a széndioxid, amely valóban a növényeket felépítő anyag fő forrása.

Az élő szervezetek vegyi folyamatának a tanulmányozása (amit ma biokémiának nevezünk) van Helmonttal kezdődött, de mások kezében vált jelentőssé. Lelkes híve volt Franz de la Boë (1614-1672), akit latin nevén Franciscus Sylviusnak ismertek. A gondolatot odáig fejlesztette, hogy a testet vegykonyhának tekintette. Úgy vélte, hogy az emésztés vegyi folyamat, amely hasonló azokhoz a vegyi változásokhoz, amelyek erjedés közben mennek végbe. Erről kiderült, hogy igaz.

Azt is feltételezte, hogy a testi egészség a vegyi alkatrészek megfelelő egyensúlyától függ. Ebben is van némi igazság, de Sylvius idejében az ismeretek még olyan kezdetlegesek voltak, hogy éppen csak az első lépéseket tudták megtenni.

A mikroszkóp

Harvey vérkeringésről szóló elméletének az volt a gyöngéje, hogy nem tudta kimutatni az artériák és a vénák találkozását. Csak feltételezte a köztük levő összeköttetést, de ez túl kicsi ahhoz, hogy szabad szemmel látni lehessen. Halálakor ez még mindig nyitott kérdés volt, és talán örökké az is marad, ha az érzékelés továbbra is csak az emberi látószervre korlátozódik. Szerencséjére, nem így történt.

Már az ókoriak is tudták, hogy a görbe tükrök és a vízzel töltött üveggömbök nagyítanak. A XVII. század első évtizedében az emberek lencsékkel kezdtek kísérletezni, azzal a céllal, hogy amennyire csak lehetséges, fokozzák ezt a nagyítást. Egy más célra szerkesztett lencsés műszer, a távcső nagy sikere ösztönözte őket, amelyet a csillagászatban először Galilei használt 1609-ben.

Lassanként nagyítókészülékek vagy mikroszkópok (görög szóból származó név, jelentése: az aprót nézni) kerültek használatba. Először történt, hogy a biológiai tudomány egy készülék révén kiszélesedett és kitárult, mivel az emberi látószerv természetes határán túl tudott érzékelni. A természetkutatók a kis élőlényeket oly részletességgel tudták leírni, ami különben lehetetlen lett volna; az anatómusok pedig olyan szerveket is megtalálhattak, amelyek szabad szemmel nem voltak láthatók.

Jan Swammerdam (1637-1680) holland természettudós annak szentelte idejét, hogy

mikroszkóppal vizsgálta a rovarokat, és anatómiájuk apró részleteiről szép rajzokat készített. Felfedezte azt is, hogy a vér nem homogén vörös folyadék, amint az a szemnek tűnik, hanem számos apró testet (vörös vértestek) tartalmaz, amelyektől színét nyeri. Nehemiah Grew (1641-1712) angol botanikus mikroszkóppal a növényeket tanulmányozta, különösen a szaporodási szerveket. Leírta az ezekben termő virágpór szemcséit. Regnier de Graaf (1641-1673) holland anatómus hasonló megfigyeléseket végzett állatokon. A herék és a petefészek finom szerkezetét tanulmányozta. Leírta a petefészek róla elnevezett „tüszőit”.

Mindezeknél sokkal jelentősebb volt Marcello Malpighi (1628-1694) olasz fiziológus felfedezése. Ő is növényeket és rovarokat vizsgált, de kezdetben a békák tüdejét tanulmányozta. Itt teljes véredényhálózatot talált, amely túl kicsi ahhoz, hogy megláthassuk, melyik véredény melyikkel van összeköttetésben. Amikor aztán nyomon követte ezeket a kis ereket a nagyobb erekből kiinduló elágazásokig, kiderült, hogy ezek az egyik irányban haladva artériák, a másik irányba haladva pedig vénák.

Az artériákat és a vénákat tehát szabad szemmel nem látható érhálózat köti össze, úgy, ahogyan Harvey gyanította. Ezeket a mikroszkopikus ereket hajszálereknek nevezte el (kapilláris latinul annyit jelent, hajszálhoz hasonló, bár ténylegesen sokkal vékonyabbak, mint a hajszál). Ez a felfedezés, amelyet először 1660-ban, Harvey halála után három évvel közöltek, teljessé tette a vérkeringés elméletét.

Ámde még Malpighi sem volt a mikroszkóp igazi feltalálója, hanem egy holland kereskedő, Antony van Leeuwenhoek (1632-1723), akinek a mikroszkóp csak kedvtelés volt, de olyan kedvtelés, amely egész életét betöltötte.

Azok a kutatók, akik először dolgoztak mikroszkóppal, így Malpighi is, olyan lencserendszert használtak, amely nagyobb nagyítást adott, mint egyetlenegy lencse. A használt lencsék azonban még tökéletlenek, felületük egyenetlen, és belsejükben repedések voltak. Erősebb nagyításnál a kép homályossá vált.

Van Leeuwenhoek ezzel szemben olyan lencsét használt, amelyek eléggé kicsinyek voltak ahhoz, hogy repedésmentes kis üvegdarabokból elkészíthesse őket. Ezeket aprólékos gondnal addig csiszolta, míg végül kétszázszoros nagyítást nem kapott. A lencsék egyes esetekben nem voltak nagyobbak, mint egy gombostűfej, de van Leeuwenhoek céljának tökéletesen megfeleleltek.

Lencséivel mindent megvizsgált. A vörös vérsejteket és a hajszálereket nagyobb részletességgel és pontossággal írta le, mint amilyenre felfedezőik, Swammerdam és Malpighi képesek voltak. Van Leeuwenhoek az ebihal farokvégződésében a valóságban látta a vér mozgását a hajszálereken keresztül, látta tehát Harvey elméletét működés közben. Egyik asszisztense volt az első, aki meglátta az ondófolyadékban a kis, ebihalhoz hasonló testeket, a spermiumokat.

Mindennél meglepőbb volt azonban az, amikor csatornavizet tett lencséje alá, és felfedezte a szabad szemmel láthatatlan kis lényeket, amelyek az élet minden megnyilvánulását mutatták. Ezeket az „állatkákat” (ahogyan elnevezte őket) ma véglényeknek (protozoa) nevezik. A protozoa görög szó, és annyit jelent: „első állatok”. Ily módon az ember csodálkozó szeme előtt a biológiának egy hatalmas új területe tárult fel, és ezzel megszületett a mikrobiológia (a szabad szemmel nem látható élő szervezetekkel foglalkozó tudomány).



Leeuwenhoek

Van Leeuwenhoek 1683-ban futólag megpillantott a véglényeknél sokkal kisebb teremtményeket is. Leírása érthetően nagyon általános, de majdnem biztosra vehető, hogy ő volt az első, aki a történelem folyamán megállapította azt, amit később baktériumnak neveztek el.

A korszak egyetlen egyéb felfedezése, amely a jövőbeni jelentőség szempontjából vetekszik van

Leeuwenhoek munkájával, Robert Hooke (1635-1703) angol tudós nevéhez fűződik. A mikroszkóp elragadtatással töltötte el, és sikerrel használta. *Mikrographia* címmel 1665-ben könyvet adott ki, amelyben a mikroszkópos megfigyelésekről valaha is készült rajzok legszebbjei találhatóak. Legfontosabb megfigyelése egy kis parafaszelethez kapcsolódik. Ez - jegyezte meg Hooke - kis derékszögű szobák finom mintáiból tevődik össze. Ezeket a szobácskákat „sejtnék” nevezte el. E felfedezésnek később jelentős következményei lettek.

A mikroszkópia fejlődése a XVIII. század folyamán - főképpen azért, mert elérte lehetőségei határait - megállt. Van Leeuwenhoek első észlelése után közel száz évvel, 1773-ban egy dán mikrobiológus, Otto Friedrich Müller (1730-1784) tudott csak baktériumokat olyan jól megfigyelni, hogy le tudta írni a különböző típusok alakjait és formáit.

Az első mikroszkópoknak egyik hibája az volt, hogy lencséjük a fehér fényt felbontotta. A képet színes gyűrű vette körül (kromatikus eltérés), ami a finom részleteket elhomályosította. Színi hibától mentes „akromatikus mikroszkópot” 1820 körül készítettek. Így a XIX. század folyamán a mikroszkóp alkalmassá vált arra, hogy a biológia számára új és csodálatos területeket nyisson meg.

IV. fejezet

Az élet osztályozása

Az ősnemzés

A mikroszkóp segítségével tett felfedezések a XVII. század közepén azt a látszatot keltették, hogy elmosódnak a különbségek az élő és az élettelen anyag között. Ez ismét felvetett egy kérdést, amely - úgy látszott - már megoldódott. Ez a kérdés az életnek vagy legalábbis az élet egyszerű formáinak az eredete.

Az embereknél és a nagyobb állatoknál még egyszerű volt megállapítani, hogy anyjuk testéből vagy az anyjuk által rakott tojásból származnak, viszont ez a kisebb állatok esetében korántsem volt ilyen világos. Egészen a modern időkig elfogadott nézet volt, hogy az olyan teremtmények, mint a rovarok és a férgek, romló húsból és más rothadó anyagokból keletkeznek. Az élet keletkezését az életteltől ősnemzésnek nevezték.

Az ősnemzés nyilvánvaló példáját látták abban, hogy a romlott húsból kukacok keletkeznek. Világosnak látszott, hogy ezek a féregszerű szervezetek a holt húsból származnak, és ezt a tényt majdnem minden biológus elfogadta. Harvey a kevés kivétel közé tartozott. A vérkeringésről írt könyvében úgy okoskodott, hogy az ilyen kis élő dolgok olyan kis magokból vagy tojásokból származnak, amelyek azért nem láthatók, mert nagyon kicsik.

Egy olasz orvos, Francesco Redi (1626-1697), aki olvasta Harvey könyvét, elhatározta, a kérdést kísérlettel tisztázza. Nyolc üvegbe különféle húsokat helyezett. Négyet lezárt, négyet a levegő számára nyitva hagyott. A legyek csak a nyitott edényekben levő húshoz juthattak, és csak ezekben keltek ki nyüvek. A lezárt edényben a hús elromlott, egészen elrothadt, de kukacok nem keletkeztek. Redi megismételte a kísérletet oly módon, hogy ólomzár helyett tüllel zárta le az üvegeket. A levegő szabadon érthette a húst, de a legyeket távol tartotta. A kukacok megint csak nem jelentkeztek.

Úgy látszott, a kukacok nem a húsból, hanem a legyek petéiből fejlődtek ki. A biológiai gondolkodás most már elvethette volna az ősnemzés gondolatát. Redi kísérletének eredményét azonban gyengítette az, hogy van Leeuwenhoek felfedezte a véglényeket. Hiszen a legyek és a kukacok elég bonyolult szervezetek, ha egyszerűek is az emberhez viszonyítva. A véglény

viszont nem nagyobb a légy tojásánál, ha nem éppen akkora, és végtelenül egyszerű dolog. Ezek biztosan keletkezhetnek ősnemzésből. Ezt az érvelést az a tény is alátámasztotta, hogy ha tápláló kivonatokat, amelyekben véglények nem voltak, állni hagytak, a kis teremtmények csakhamar nagy számban megjelentek. Az ősnemzés kérdése a XVIII. és XIX. században a vitalisták egyik legnyomósabb érve volt a mechanistákkal szemben.

A vitalizmus bölcséletét világosan kifejtette Georg Ernst Stahl (1660-1734) német orvos. Stahl flogiszonelmélete révén vált híressé, amely szerint a flogiszon egy olyan szubsztancia, amely egyéb szubsztanciákban, mint például a fában, el tud égni vagy a vasban rozsdásodni. Amikor a fa elég vagy a vas rozsdásodik, akkor - mondja Stahl - flogiszon szabadul fel a levegőbe. Tekintettel arra, hogy a rozsdásodó fém súlya gyarapszik, egyes kémikusok azt állították, hogy a flogiszon-nak negatív súlya van. Amikor tehát eltávozik, a fém súlya gyarapszik. Ez az elmélet a kémikusok előtt tetszetős volt, és végig a XVIII. század folyamán a legtöbbjük el is fogadta.

Stahl terjedelmes munkáiban a fiziológiáról is igen jelentős véleményt találunk, különösen az orvostudományról szóló könyvében, amelyet 1707-ben adott ki. Ebben egyszerűen kijelentette: az élő szervezetekre nem érvényesek a fizikai törvények, hanem azok teljesen más típusú törvényeknek vannak alávetve. Véleménye szerint az élettelen világ kémiai és fizikai sajátosságainak tanulmányozása útján nem sokat tudhatunk meg a biológiáról. Ellenkező véleményen volt Hermann Boerhaave (1668-1738) holland orvos, korának leghíresebb orvostudora, akit olykor a holland Hippokratésznek is neveztek. Az ő orvostudományi könyve, amely részletesen tárgyalja az emberi testet, azt igyekszik kimutatni, hogy annak minden működése a fizikai és a kémiai törvényeknek felel meg. Ez a mechanikus szemlélet.

A mechanikus felfogásúak számára, akik szerint az élő és az élettelen világot ugyanazok a törvények szabályozzák, a mikroorganizmusoknak külön jelentőségük van. Valósággal úgy tűnik, mintha ezek hidat képeznének az élő és élettelen között. Ha ki lehetne mutatni, hogy az ilyen mikroorganizmusok ténylegesen a holt anyagból keletkeznek, akkor a híd készen állna, és könnyű volna rajta keresztül menni.

A másik oldalról viszont, ha a vitalistáknak van igazuk, a legegyszerűbb élet esetében is áthidalhatatlan szakadék van az élő és az élettelen anyag között. A vitalista szemszögéből az ősnemzés nem lehetséges.

A XVIII. században - különben az ősnemzés miatt - a vitalista és a mechanikus nézet nem kerülhetett élesen szembe egymással, és ebben közrejátszott a vallásos meggyőződés is. Úgy érezték, hogy a Biblia egyes helyeken az ősnemzésről beszél, s ezért sok vitalista (ők voltak a vallási dolgokban a konzervatívabbak) szükségesnek tartotta fenntartani azt a hitet, hogy a nem élőlől élet támadhat.

Egy angol természettudós, John Turbeville Needham (1713-1781), aki egyúttal katolikus pap is volt, birkahúsleves forráspontig melegített, és azt ledugaszolt kémcsőben tartotta. Néhány nap után a leves nyüzsgött a mikroorganizmusoktól. Mivel Needham feltette, hogy a kezdeti melegítés sterilizálta a húsleveset, azt a következtetést vonta le, hogy a mikroorganizmusok a holt anyagból keletkeztek, és így az ősnemzés, legalábbis a mikroorganizmusok esetében, bizonyított.

Lazzaro Spallanzani (1729-1799) olasz biológus egyike volt azoknak, akik kételkedéssel fogadták

a kísérlet eredményét. Úgy érezte, a forralás nem tartott elég hosszú ideig, és ezért nem sterilizálta a húslevest. Ő is készített 1768-ban tápoldatot, amelyet felforralt, de a forralást fél-háromnegyed óra hosszat folytatta, és csak azután zárta be az oldatot egy lombikba. A mikroorganizmusok ezúttal nem jelentkeztek.

Az eredmény döntő volt, de az ősnemzés hívei találtak rá magyarázatot. Azt állították, hogy a levegőben valami észre nem vehető, ismeretlen „életprincípium” van, amely az élettelen anyagot képessé teszi az életre. Spallanzani főzése - úgymond - ezt az életprincípiumot rombolta szét. A kérdés közel egy századon át még kétséges maradt.

A fajok rendszerezése

Az érvelés az ősnemzés mellett egy szempontból befolyásolja az élet osztályozásának problémáját. Vajon az élő a nem élőtlől mindörökre különállónak kell-e tekinteni, vagy pedig feltehető, hogy a kettő között átmenetek léteznek. A XVII. és a XVIII. században kezdték el osztályozni az élet területén található különböző formákat, és ezzel egy még sokkal komolyabb vita kezdődött, mint amilyen az ősnemzés körül volt. Ez a vita csúcspontját a XIX. században érte el.

Kezdjük azzal, hogy az élet létező formái különböző fajokra oszthatók. A faj olyan szó, amelyet igen nehéz pontosan meghatározni. Körülbelül azt mondhatnánk: a faj az élő világnak egy olyan csoportja, amelynek tagjai egymás közt szabadon párosodnak, és ennek eredményeképpen magukhoz hasonló utódokat hoznak létre, amelyek éppen úgy képesek párosodni, hogy egy újabb nemzedéket hozzanak létre és így tovább. Az emberi lényeket tehát, akármilyen különbségek legyenek is közöttük, egyetlen fajhoz tartozónak tekinthetjük, mivel - amennyire tudjuk - az egyes emberfajták férfi és női egyedei, minden közöttük levő különbség ellenére, egymás közt szabadon párosodhatnak. Ezzel szemben az indiai elefánt és az afrikai elefánt, bármennyire is azonos fajú állatnak látszanak, különböző fajúak, mivel az egyik csoport hímje nem tud a másik csoport nőtényével utódot nemzeni.

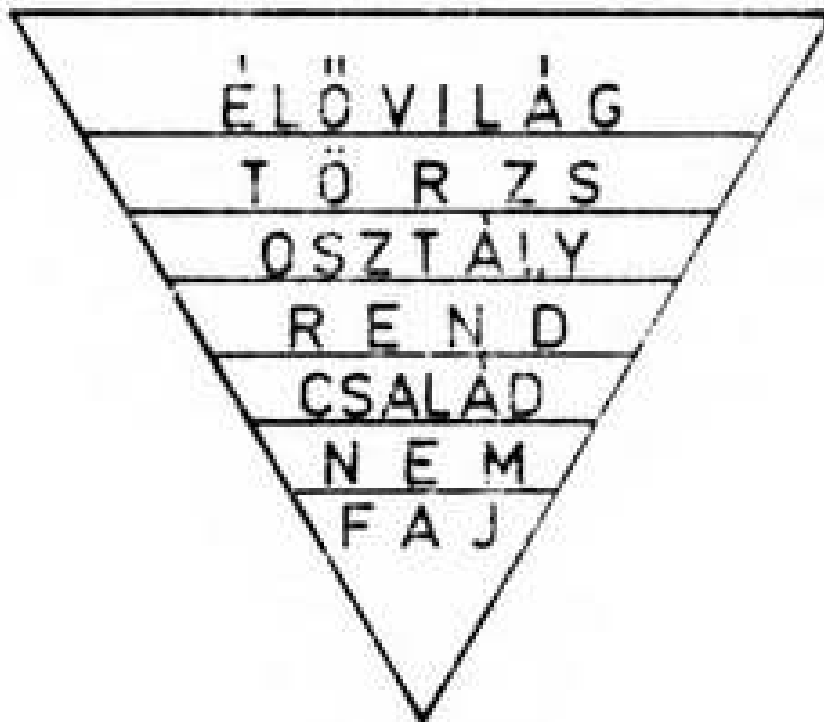
Arisztotelész 500 állatfajt sorolt fel, Theophrasztosz ugyanannyi növényfajt. Az azóta eltelt kétezer év alatt végzett megfigyelések azonban még több fajt tártak fel, az ismert világ megnövekedése pedig az új növény- és állatfajok valóságos áradatát hozta, közöttük olyanokat, amelyeket az ókor természettudósai sohasem láttak. 1700 körül már tízezrekre ment a leírt növény- és állatfajok száma.

Még ha kevés számú fajt kell is besorolni, akkor is nagyon csábító, hogy csak a hasonlóakat vegyük egy csoportba. Az elefántot, amelyből kétféle faj van, mindenki természetszerűleg ugyanabba a csoportba sorolná. A fajok tízezreinek csoportosítására nem könnyű dolog olyan osztályozási módszert találni, amely ki tudná elégíteni a biológusokat. Az első kísérletet a fajok osztályozására John Ray (1628-1705) angol természettudós tette.

Ray a növényekről 1686 és 1704 között háromkötetes enciklopédiát tett közzé, amelyben 18 600 fajt írt le. Az állatokról készített könyve nem ilyen nagy terjedelmű, de ebben is logikus rendszer szerint próbálta csoportokba sorolni a különböző fajú állatokat. A csoportokat általában a lábujjak

és a fogazat alapján határozta meg.

Az emlős állatokat például két nagy csoportba sorolta: az egyikbe az ujjas, a másikba a patás állatok tartoznak. A patás állatokat egypatájú (ló), kétpatájú (marha stb.) és hárompatájú (rinocérosz) állatok csoportjára osztotta. A kétpatájú emlősöket ismét három csoportra bontotta: az egyik csoportban voltak az állandó szarvval rendelkező kérődzők (kecske stb.), a másodikban a szarvaikat évenként elhányó kérődzők (őz), végül a harmadik csoportot a nem kérődző állatok (disznó) alkották.



A diagram lefelé haladva az élővilágnak azokat a fajig terjedő fő osztályait mutatja, amelyekbe az élőket a taxonomisták sorolják

Ray osztályozó rendszerét nem fogadták el, de ez a rendszer azért igen figyelemre méltó volt, mert a csoportokat további alcsoportokra bontotta. Karl von Linné (1707-1778) svéd természettudós, akit latin nevén Carolus Linnaeusnak ismernek, Ray osztályozását fejlesztette tovább. Az ő idejében az ismert élő szervezetek fajainak száma legalább 70 ezerre rúgott. Linné 1732-ben keresztül-kasul utazta Észak-Skandináviát, 4600 mérföld utat téve meg (pedig ez a vidék igazán nem nevezhető buja növényvilág termőhelyének), és rövid idő alatt több száz növényfajt fedezett fel.

Linné már az egyetemen tanulmányozta a növények szaporodási szerveit, és megfigyelte azokat a különbségeket, amelyek ezen növényfajok között észlelhetők. Elhatározta, megkísérel kialakítani egy olyan osztályozó rendszert, amely e különbségeken alapul. Ahogy múlt az idő, úgy bővült célkitűzése is. Végül 1735-ben megjelent a *Systema Naturae*. Ez a fajok osztályozásának azt a

rendszerét tartalmazta, amely a ma is használtnak az őse. Ily módon Linnét tekinthetjük a taxonómia, az élő fajok osztályozásával foglalkozó tudomány megalapítójának.

Linné a hasonló fajúakat következetesen „nemekbe” sorolta. A hasonló neműek rendet, a hasonló rendek rendi osztályt alkotnak. Az összes ismert állatfajra hat osztályt állapított meg: emlősök, madarak, hüllők, halak, rovarok és férgek. A valóságban az alapvető osztályozás nem volt olyan jó, mint kétezer évvel előtte Arisztotelészé, de ezt a hátrányt kiegyenlítette a csoportok és alcsoportok szerinti rendszerezés. A hiányosságok később könnyen korrigálni lehetett.

Linné minden fajnak kettős nevet adott, az első azt a nemet jelölte, amelyhez tartozott, utána következett a faj neve. A kettős névrend e formáját azóta is használják, és a biológusok számára az élet formáiról egy nemzetközi nyelv alakult ki, amely megszámlálhatatlanul sok tévedést küszöbölt ki. Linné még az emberi fajnak is adott hivatalos nevet, amelyet azóta sem változtattak meg: Homo sapiens.

Az evolúcióelmélet kezdetei

Linné osztályozása szó szerint úgy festett, mint az „élet fája”, amelynek tövét széles, átfogó csoportok jelzik, és amely fokozatosan ágazik el szűkebb egységekre. Ha ezt rajzban szemléljük, elkerülhetetlen, hogy fel ne vetődjék a gondolat: vajon ez az elrendeződés csak a véletlen műve-e? Két rokon faj vajon nem fejlődhetett-e ki egy közös ősből, és két szorosan rokon ősből vajon nem fejlődhetett-e ki egy még régebbi és primitívebb ősből. Röviden: a Linné által rajzolt építmény nem ugyanúgy nőtt-e fel a korszakok során, ahogy a fa nő? E lehetőség körül tört ki a legnagyobb vita a biológia történetében.

Linné számára, aki vallásos ember lévén, ragaszkodott a Biblia betűihez, ez a lehetőség nem létezett. Szerinte minden fajt külön teremtettek, és az isteni gondviselés mindegyiket fenntartotta, egy faj sem halhatott ki. Ezt a hitet tükrözte Linné osztályozásának rendszere, amikor a külső megjelenést vette alapul, és nem próbálta meg figyelembe venni a fajok közötti lehetséges kapcsolatokat. (Olyan ez, mintha valaki a szamarat, az üreginyulat és a denevért egy közös csoportba sorolná azért, mert mindháromnak hosszú a füle.) Az biztos, ha a fajok között nincsen rokonság, akkor nem lényeges, hogyan csoportosítunk. Minden osztályozás egyformán mesterséges, és a lehetséges osztályozások közül azt választhatjuk, amelyik a legjobban tetszik.

Linné azonban nem akadályozhatta meg azt, hogy mások ne vessék fel az evolúció gondolatát (a szó a XIX. század közepéig nem vált népszerűvé), amely szerint az egyik faj a másiktól származhat, és a fajok között természetes rokonság van, amelyet a használt osztályozó rendszernek vissza kell tükröznie. Később maga Linné is hajlott e gondolat felé, azt állítva, hogy kereszteződés útján új fajok keletkezhetnek.

Az uralkodó ortodox gondolkodás ellen még a francia George Louis Leclerc Buffon gróf (1707-1788) sem tudott sokat tenni, de „merészelt” kérdéseket feltenni. (Buffon volt az, aki együttműködött Needhammel az említett ősnemzési kísérletben.)

Buffon 44 kötetes természetrajzi enciklopédiát írt, amely az ő idejében éppen olyan népszerű és

szerteágazó volt, mint valaha Pliniusé, de sokkal pontosabb. Ebben a munkájában kimutatta, hogy egyes állatoknak olyan testrészei is vannak, amelyek semmire sem használhatók, mint például a két elcsökevényesedett pata a disznó két kifejlett patája felett. Vajon ezek nem jelenthetnek-e olyan patákat, amelyek az idők során zsugorodtak össze? Vajon nem mehet-e végbe hasonló folyamat az egész szervezettel kapcsolatban? Nem lehet-e a majom degenerált ember, vagy a szamár degenerált ló?

Egy angol orvos, Erasmus Darwin (1731-1802) terjedelmes növény- és állattani munkát írt, amelyben Linné rendszerét fogadta el. Ő szintén elismerte annak a lehetőségét, hogy a fajok a környezet hatására megváltoznak. (Ezt a nézetét ma már a feledés homálya borítaná, ha Erasmus Darwin nem lett volna annak a Charles Robert Darwinnak a nagyapja, akivel az evolúció elmélete elérte tetőfokát.)

Buffon halála után egy évvel kitört a francia forradalom, amely gyökeréig megrázta egész Európát. A változás korszaka következett el, amelyben régi értékeket romboltak le, hogy soha többé föl ne támadjanak. Az egyes nemzetek sorjában megtagadják a királyt és az egyházat, mint végső tekintélyeket, s ezzel lehetővé vált olyan tudományos elméletek felállítása is, amelyek korábban veszélyes eretnekségnek számítottak volna. Buffonnak az élővilágra vonatkozó nézetei szükségtelemmé tették a fejlődésemeléttel való részletes foglalkozást. Néhány évtizeddel később azonban, egy másik francia természettudós, Jean-Baptiste Antoine de Lamarck (1744-1829) már kívánatosnak tartotta az evolúció gondolatának részletes megvizsgálását.

Lamarck az első négy Linné-féle osztályt (emlősök, madarak, hüllők, halak) mint gerinceseket egy csoportba vonta össze, mert ezek olyan állatok, amelyeknek van belső gerincoszlopuk vagy hátgerincük. A másik két osztályt (rovarok és férgek) Lamarck gerincteleneknek nevezte el. (Bár ez a két osztályba sorolás csakhamar idejét múlta, a laikusok körében továbbra is népszerű maradt.) Lamarck felismerte, hogy a rovarok és a férgek osztálya igen heterogén csoportokat ölel fel. Ezekkel foglalkozva, nagyobb rendet teremtett köztük, osztályozásukat arra, sőt magasabb szintre emelve, mint Arisztotelészé volt. Felismerte például, hogy a nyolclábú pók nem sorolható egy osztályba a hatlábú rovarokkal, és a rákok nem tehetők egy kalapba a tengeri csillaggal.

Lamarck 1815 és 1822 között hatalmas hétkötetes munkát írt a *Gerinctelenek természetrajza* címmel, és ezzel megalapította a gerinctelenek állattanát. Ez a munkája vezette el Lamarckot a fejlődés lehetőségének a gondolatához, amiről először 1801-ben tett említést, de részletesen csak az 1809-ben kiadott *Állattani bölcsélet* című könyvében írt. Lamarck azt állította, hogy azok a szervek, amelyeket az élet során sokat használnak, hatékonyságukban növekednek, ha pedig nem használják őket, akkor degenerálódnak. Ez a növekedés és degenerálódás tovább folytatódhat az utódokban. (Erre gyakran úgy hivatkoznak, mint a szerzett tulajdonságok átörökítése.)

Az akkor nemrég felfedezett zsiráfot használta fel példaként annak a bemutatására, hogy mire is gondol. Az ősantilop szereti a faleveleket legelni, ezért addig nyújtózkodik, ameddig tud, hogy lehetőleg minden levelet elérjen. Az erőlködés közben a nyak mellett a nyelv és a láb szintén nyúlik. Ennek azután az lesz az eredménye, hogy mindezek a testrészek meghosszabbodnak. Ez a meghosszabbodás - mondja Lamarck - átmegegy a következő nemzedékre. Az új nemzedék hosszabb testrészekkel kezd, és azokat nyújtja tovább, így az antilop lassanként átváltozik zsiráffá.



Lamarck

Lamarck elmélete nem maradt meg, mert nem volt bizonyítható, hogy a megszerzett tulajdonságok átörökíthetők. A valóságban inkább arra lehetett bizonyítékokat összegyűjteni, hogy a szerzett tulajdonságok nem átörökíthetők. De még ha a szerzett tulajdonságokat át is lehetne örökíteni, az ilyesmi például a nyak nyújtásával kapcsolatban még csak elképzelhető lenne. De mi van a zsiráf foltos bőrével, amely védő álcázásra szolgál? Hogyan fejlődhetett ez ki az antilop folt nélküli bőréből? Feltehető-e, hogy az őszsiráf igyekezett foltossá válni?

Lamarck szegényen és elhagyottan halt meg, fejlődésmélettét pedig elvetették. A gátat azonban mégis ez törte át. A fejlődés gondolata vereséget szenvedhetett, de maga az a pusztán tény, hogy megjelenhetett a csatatéren, igen fontos volt. Később új lehetőség nyílt a harc folytatására.

A geológiai háttér

Minden fejlődésméletnek az volt a nagy nehézsége, hogy a faj változása nyilvánvalóan csak lassan megy végbe. Az emberiség emlékezetében egyetlen olyan eset sem élt, amikor egy faj átalakult volna egy másikká. Ha ilyen folyamatok vannak, akkor azok rendkívül lassúak, talán száz vagy ezer év alatt mennek végbe. A középkorban és a modern idők kezdetén az európai tudósok szó szerint fogadták el a Biblia szavait, és a Földet körülbelül hatezer évesnek tekintették. Ez a nézet nem adott elég időt az evolúció folyamatára.

Változás e téren 1785-ben következett be. James Hutton (1726-1797) skót orvosnak a geológia volt a kedvenc szórakozása, írt egy könyvet a *Föld elmélete* címmel. Ebben újra átvizsgálta a Föld felületének azt a lassú átalakulását, amelyet a víz, a szél és az időjárás okoz. Hutton azt állította, hogy ezek a hatások mindig ugyanúgy és ugyanolyan mértékben jelentkeznek. (Az egyformaság elve.) Kimutatta továbbá, hogyha olyan gigantikus átalakulásokat veszünk, mint amilyen egy hegy keletkezése vagy egy folyó medrének a kialakulása stb., akkor ezekhez igen hosszú időre van szükség. A Földnek tehát több millió évesnek kell lennie.

A Föld korának ezt az új értelmezését kezdetben ellenségesen fogadták, de el kellett ismerni, hogy segít azoknak a kövületeknek a megértésében, amelyek a biológusokat foglalkoztatni kezdték. A kövület (fosszília) a latin ásni szóból származik, és eredetileg mindazt jelentette, amit a földből ástak ki. A kiásott anyagok közül a legnagyobb érdeklődést azok a kőtárgyak váltották ki, amelyek látszólag olyan felépítésűek voltak, mint amilyenek az élő szervezetek.

Teljesen valószínűtlennek tűnt, hogy ezek a kövek véletlenül utánozzák az élet különböző formáit. A legtöbb tudós úgy érezte, hogy ezek a kövek valamikor éltek s valamiképpen megkövültek. Sokan azt állították, hogy ezek a kövületek az özönvíz alatt elpusztított teremtmények maradványai. Ha azonban a Föld olyan öreg, mint amilyenek Hutton állítja, akkor ezek rendkívül régi maradványok lehetnek, amelyek a földben igen lassan megkövesedtek.

A kövületek új szemlélete William Smith (1769-1839) munkásságával kezdődött, aki angol földmérő volt, és később geológus lett. A csatornák nyomvonalát mérte ki (csatornahálózatot akkor mindenfelé építettek), és így alkalma volt megfigyelni az ásatásokat. Észrevette, hogy a különböző típusú és formájú kövületek párhuzamos földrétegekben helyezkednek el. Észrevette azt is, hogy minden egyes rétegnek megvan a maga jellegzetes kövülete, amelyet más rétegben nem lehet megtalálni. Közömbös, hogy egy réteg hogyan hajlik és gyűrődik, sőt, ha szem elől vész és csak mérföldekkel távolabb bukkan ismét elő, jellegzetes kövületeit akkor is megőrzi. Adott esetekben Smith képes volt különböző rétegeket azonosítani, kizárólag a bennük levő kövületek alapján.

Ha Hutton nézete helyes, akkor azt is ésszerű feltételezni, hogy a rétegek abban a sorrendben fekszenek egymáson, amilyen sorrendben lassan kialakultak, és minél mélyebben fekszik

valamely réteg, annál idősebb is. Ha a kőületek egykori élőlények maradványai, akkor azt a sorrendet, amely szerint ezek éltek, meg lehet határozni ama rétegek sorrendje alapján, amelyekben maradványaikat megtalálták.

Egy francia biológus, Georges Leopold Cuvier (1769-1832) figyelmét a kőületek különösen felkeltették. Cuvier tanulmányozni kezdte a különböző állatok anatómiáját, gondosan összehasonlítva őket, és módszeresen megjegyezve az összes hasonlóságokat és különbségeket. Ezzel megalapította az összehasonlító anatómiát. Ezek a tanulmányok lehetővé tették Cuvier számára, hogy megtanulja a test valamely részének szükségszerű összefüggését a test más részeivel. Ezt annyira vitte, hogy bizonyos csontokból következtetni tudott más csontok formájára és az izmok fajtáira, amelyek hozzájuk tapadtak és így tovább. Az állati test néhány, kis számú részéből is képes volt rekonstruálni ésszerű megközelítéssel az egész állatot.

Természetes, hogy egy összehasonlító anatómus érdeklődik a fajok osztályozása iránt. Cuvier kiszélesítette Linné rendszerét azzal, hogy osztályait még nagyobb csoportokba fogta össze. Az egyiket „gerinceseknek” nevezte el, úgy, mint ahogyan azt korábban Lamarck tette. A többieket azonban nem vette egybe mint gerincteleneket. Ehelyett ezeket három csoportba sorolta: Articulata-ízelték (kemény, ízeit kültakaróval rendelkező állatok, pl. rovarok, rákok); Mollusca-puhatestűek (kemény héjjal rendelkező, de nem szelvényezett állatok, pl. kagylók, csigák); végül: Radiata (sugaras szimmetriájú állatok és egyéb csoportok).

Ezeket a legnagyobb csoportokat törzseknek (phyla, amelynek egyes száma: phylum, görög szó, és törzset jelent) nevezte el. Cuvier-től kezdve a törzsek száma megsokszorozódott, ma már vagy három tucat törzs van mind a növényekből, mind az állatokból. Különösen a gerincesek törzse bővült, mert magába foglal bizonyos gerincoszlop nélküli egyszerű állatokat, amelyeket ma gerinchúrosoknak hívnak.

Mivel Cuvier az összehasonlító anatómiával foglalkozott, osztályozását azokra a jellemző vonásokra alapozta, amelyek inkább a felépítés és a működés kapcsolatából származnak, mint a külső hasonlóságokból, amelyek Linnét vezették. Cuvier osztályozó módszerét elsőnek az állatokra alkalmazta, de 1810-ben Augustin Pyramus de Candolle (1778-1841) svájci botanikus a növényekre is kiterjesztette.

Cuvier nem tehetett mást a kőületekkel kapcsolatban, mint azt, hogy ezeknél is alkalmazta osztályozó rendszerét. Gyakorlott szeme előtt, amely képes volt a részletekből az egész szervezetet felépíteni, a kőületek nemcsak hasonlítottak az élőlényekhez, hanem ama jellemző vonásaik is feltárultak, amelyek alapján a saját maga által felállított törzsekbe besorolhatók voltak. Sőt, a törzs megfelelő alcsoportját is meg tudta határozni. Cuvier ily módon biológiai tudását rég elmúlt időkre alkalmazta, és ezzel megalapította a paleontológiát, amely az élet ősi formáival foglalkozik.

A kőületek, ahogyan azt Cuvier látta, a fajok fejlődéséről tanúskodtak. Minél mélyebbről került elő és minél régibb volt egy-egy kőület, annál inkább különbözött a ma meglevő élő formáktól. Olykor egymás után sorba lehetett őket rendezni, amelyről így leolvasható volt a fokozatos változás.



Cuvier

Cuvier azonban vallásos ember volt, aki nem tudta elfogadni a fejlődő változások lehetőségét. Ehelyett egy más elméletet állított fel, amely szerint a Földet - amely igen régi - időnként

katakliizma rázta meg, amelyben minden élet elpusztult. Minden katakliizma után az élet új formái jelentek meg, olyan formák, amelyek különböztek a korábban élöktől. Az élet modern formáit (beleértve az embert is) a legutolsó katakliizma után teremtették. Ebben az elméletben nem volt szükség a törzsféjlődés gondolatára ahhoz, hogy megmagyarázza a kövületeket. A Biblia teremtéstörténetét nem kellett elvetni, mivel az csak az utolsó katakliizma utáni eseményekre vonatkozott.

Cuvier úgy látta, négy katakliizmára van szükség ahhoz, hogy megmagyarázza a kövületek ismert eloszlását. Amint azonban egyre több kövületet fedeztek fel, a dolog egyre bonyolultabbá vált. Cuvier néhány követője olykor már 27 katakliizmát volt kénytelen feltételezni.

A katakliizmák ilyen sorozata azonban nem állt összhangban a Hutton-féle egyformaság elvével. Charles Lyell (1797-1875) skót geológus 1830-ban háromkötetes könyv publikálását kezdte el, amelyben Hutton nézetét népszerűsítette, és amellet tört lándzsát, hogy a Föld csak fokozatos és nem katakliizma szerű változáson ment keresztül. A kövületek további tanulmányozása alátámasztotta Lyell nézetét. A földrétegekből kiásott kövületek sehol sem bizonyították azt, hogy minden élet elpusztult volna. Minden olyan periódust, amelyben egy földi katakliizmát tételeztek fel, bizonyos életformák túléltek. Egyes ma élő lények ténylegesen több millió év óta változatlanul léteznek.

A katakliizmaelmélet egy ideig még tovább élt Cuvier hívei között, különösen Franciaországban, de Lyell könyvének megjelenése után nyilvánvaló lett, hogy az elmélet napjai meg vannak számlálva. A katakliizma tana volt az utolsó tudományos álláspont a törzsféjlődés elméletével szemben, és mihelyt ez összeomlott, az evolúció gondolatának valamilyen módon fel kellett merülnie. A XIX. század közepén a viszonyok már megérték erre, és már színre lépett az az ember, aki e gondolatot felvetette.

V. fejezet

Vegyületek és sejtek

A gázok és az élet

Mialatt a fajokat sikeresen osztályozták, az élet tudománya egy új, rendkívüli sikert ígérő irányban haladt. A vegytan tudománya forradalmasodott, és a vegyészek módszerüket épp úgy alkalmazták az élő szervezetek vizsgálatára, mint az élettelen világra. Hogy ez indokolt volt, azt világosan bizonyította az a kísérlet, amelyet az emésztéssel kapcsolatban végeztek.

Az emésztés az állati test olyan működése, amely viszonylag hozzáférhető a kutatás számára. Nem magában a test szöveteiben megy végbe, hanem a tápcsatornában, amely a szájon keresztül könnyen megközelíthető. A XVIII. században a tudomány fontos kérdése volt, vajon az emésztés fizikai folyamat-e, amelynek során a gyomor őrlési tevékenységet végez, amint azt Borelli állította, vagy pedig vegyi folyamat, amelyben a gyomornedvek erjesztési tevékenységet fejtenek ki, amint azt Franciscus Sylvius vélte.

Egy francia fizikus, René Antoine Ferchault de Réaumur (1683-1757) megtalálta annak a módját, hogy kísérlettel tisztázza a kérdést. 1752-ben kis, mindkét végén nyitott fémhengerbe (a végeket gézzel zárta el) húst helyezett, és ezt sikerült egy sólyommal lenyeletnie. A fémhenger megvédte a húst minden őrlő hatástól, a géz viszont megengedte a gyomornedv bejutását a hengerbe anélkül, hogy a hús ki tudott volna esni belőle. A sólymok általában kiöklendezik az emészthetetlen anyagot, és amikor Réaumur sólyma kiöklendezte a hengert, a húst benne részben feloldva találta.

Réaumur a kísérletet oly módon ellenőrizte, hogy spongyát nyeletett le és öklendeztetett ki a sólyommal. A gyomornedvet, amelyet a spongya magába szívott, kinyomta, és összekeverte a hússal. A hús lassan feloldódott, és ezzel a kérdés eldőlt. Az emésztés vegyi folyamat, és a vegyészetnek az életfolyamatokban játszott szerepét a kísérlet meggyőzően bizonyította.

A gázok tanulmányozása, amelyet van Helmont kezdett el, a XVIII. században különösen gyorsan haladt előre, és a kutatás egyik fontos területe lett. Elkerülhetetlen volt, hogy fel ne fedezze az élet és a különböző gázok közötti kapcsolatot. E kutatók egyike Stephen Hales (1677-1761) angol botanikus és vegyész volt. Hales 1727-ben kiadott egy könyvet, amelyben leírta a

növények növekedési sebességével és a növényi nedvek nyomásával kapcsolatban végzett kísérleteit. Ezért őt tekinthetjük a növényi fiziológia megalapítójának. Különböző gázokkal kísérletezett, és elsőnek ismerte fel, hogy ezek egyikének, a széndioxidnak valamilyen köze van a növények táplálkozásához. Ebben a vonatkozásban helyesbítette (vagy inkább bővítette) van Helmontnak azt a nézetét, hogy egyedül a víz az, amelyből a növényi szövetek képződnek.

A következő lépést fél évszázaddal később egy angol vegyész, Joseph Priestley (1733-1804) tette meg. 1744-ben felfedezte az oxigént. Azt találta, hogy az oxigént kellemes belélegezni, és az oxigént tartalmazó edénybe helyezett egér feltűnően élénk. Felfedezte azt is, hogy a levegő oxigéntartalmát a növények emelik. Egy holland orvos, Jan Ingenhousz (1730 -1799) kimutatta, hogy az a folyamat, amelynek során a növények széndioxidot fogyasztanak, és oxigént termelnek, csak világosságban jelentkezik.

Annak a kornak a legnagyobb vegyésze a francia Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794). Hogy milyen nagy a jelentősége a vegyészetben a pontos mérésnek, azt elsőnek Lavoisier hangsúlyozta. Ennek alapján dolgozta ki az égés elméletét, amelyet általánosan elfogadtak. Eszerint az elmélet szerint az égés az égő anyag vegyi egyesülése a levegő oxigénjével. Kimutatta egyúttal azt is, hogy a levegő az oxigén mellett nitrogént is tartalmaz, egy olyan gázt, amely nem táplálja az égést.

Lavoisier „új vegyészete” alkalmazható az életre is, mivel ami érvényes a gyertyára, valamilyen módon érvényes az egérre is. Ha ugyanis egy lezárt üvegburába égő gyertyát helyezünk, elfogy benne az oxigén, és széndioxid keletkezik. Az utóbbi a gyertyában levő szénnek az oxigénnel való egyesülése révén jön létre. Ha az üvegbura levegőjéből az összes vagy majdnem az összes oxigén elhasználódott, a gyertya kialszik, nem ég tovább.

Hasonló a helyzet az állatokkal is. Az egér az üvegbura alatt fogyasztja az oxigént, és széndioxidot termel. Az utóbbi oly módon keletkezik, hogy az egér szöveteiben levő szén egyesül az oxigénnel. Amint a levegő oxigéntartalma csökken, az egér fulladozni kezd, és elpusztul. Az általános felfogás szerint a növények széndioxidot fogyasztanak, és oxigént termelnek, az állatok viszont oxigént fogyasztanak, és széndioxidot termelnek. A növények és az állatok együtt tartják fenn a vegyi egyensúlyt, hogy a légkör oxigéntartalma (21%) és széndioxid-tartalma (0,03%) állandó maradjon.

Mivel a gyertya és az állat egyaránt termel széndioxidot és fogyaszt oxigént, ésszerű volt Lavoisier-nak az a feltevése, hogy a lélegzés az égés egyik formája, s hogy egy bizonyos mennyiségű oxigén fogyasztása megfelelő mennyiségű hő termelését eredményezi, akár gyertyát égetünk el benne, akár az egér lélegzi be. Idevágó kísérletei (tekintettel az akkori mérési technikára) szükségszerűen pontatlanok voltak, és csak megközelítő eredményt adtak, de alátámasztották állításait.

Hatalmas érv volt ez a mechanikus szemlélet mellett, mivel azt mutatta, hogy az élő és az élettelen anyagban egy és ugyanaz a vegyi folyamat megy végbe. Eszerint sokkal észszerűbb feltételezni - amint azt a mechanisták állították -, hogy ugyanaz a törvényszerűség érvényes mind a két világra.



Lavoisier

Amint a fizika a XIX. század első felében tovább fejlődött, Lavoisier álláspontja megerősödött. Ezekben az évtizedekben számos tudós foglalkozott a hővel, mert a gőzgépek növekvő jelentősége felkeltette érdeklődésüket. A hő a gőzgép segítségével ugyanúgy tud munkát végezni, mint más fizikai jelenségek: a szabadon eső test, a folyó, a víz, a mozgó levegő, a fény, a villamosság, a mágnesség stb. Egy angol orvos, Thomas Young (1773-1829) 1807-ben az

„energia” elnevezést alkalmazta minden olyan fogalom megjelölésére, amelynek révén munka termelődik. A szó görög eredetű, s azt jelenti: „benn levő munka”.

A XIX. század elején a fizikusok azt vizsgálták, hogyan alakul át az energia egyik formája a másikba, és egyre nagyobb pontossággal mérték az ilyen átalakulásokat. Az 1540-es években legalább hárman vetették fel „az energia megmaradásának” a gondolatát: az angol James Prescott Joule (1818-1889), és két német, Julius Robert von Mayer (1814-1878) és Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821-1894). Eszerint az energia valamely formája szabadon átalakulhat más formába, de az energia mennyisége az átalakulás folyamán nem csökkenhet és nem növekedhet.

Természetesnek tűnt, hogy egy ilyen általános érvényű törvénynek, amely rengeteg hajszálpontos mérésen alapult, egyaránt alkalmazhatónak kell lennie mind az élő, mind az élettelen folyamatokra. Maga az a tény, hogy az állat elpusztulna, ha a táplálékból nem kapna folyamatosan energiát, világossá teszi, hogy az életfolyamat sem tud a semmiből energiát teremteni. A növények nem ugyanolyan módon esznek és lélegeznek, mint az állatok, viszont ők sem tudnak megélni anélkül, hogy időközönként meg ne fürödjenek a fény energiájában.

Mayer éppen azt állította, hogy a földi energia különböző formái a Nap fényének és hőjének kisugárzásából származnak, és ugyanígy, ez a forrása annak az energiának is, amely az élő szervezetben található. A Nap közvetlen energiaforrás a növények számára, és közvetve, a növényeken keresztül az állat számára is (természetesen beleértve az embert is).

Az a vélemény, hogy az energia megmaradásának törvénye egyaránt érvényes az élő és az élettelen világra, egyre terjedt (a XIX. század második felében azután be is bizonyították). A tudomány fejlődése ebből a szempontból is a mechanisztikus szemléletnek adott igazat

A szerves vegyületek

A vitalista álláspont azonban továbbra is tartotta magát. Ha el is kellett ismernie, hogy az energia megmaradásának az elve az élőre és az élettelenre egyaránt érvényes, vagy hogy a gyertya és az élő állat egyaránt oxigént fogyaszt, és széndioxidot termel, ez mind nem jelentett mást, mintha azt mondanánk, hogy az ember és a hegy egyaránt anyagból van. A nagy kérdés ezen belül még mindig megmarad.

Nem lehetséges-e például az, hogy bár az élő szervezet anyagból áll, ez az anyag mégsem teljesen ugyanolyan, mint az élettelen világ anyaga? Látszólag e kérdésre magától értetődően igennel kellene válaszolni.

A földben, a tengerben és a levegőben található anyagok stabilak és változatlanok. A víz, ha forralják, gőzzé változik, de ha lehűtik, ismét cseppfolyós víz lesz. A vas és a só megolvasztható, de lehűlés után ismét visszanyeri eredeti alakját. Az élő szervezetből származó anyagok, mint például a cukor, papír, étolaj, mintha csak örökölték volna forrásuk, az élő szervezetek érzékenységét és törékenységét. Ha ezeket az anyagokat hevítjük, füstölögnek, elszenesednek vagy lángra lobbannak, de a bekövetkezett változás nem fordítható vissza. Az égő papír füstjéből

és hamujából, hiába hűtjük le, nem lesz ismét papír. Valóban, feltételezhető, hogy itt két különféle anyaggal van dolgunk.

Jöns Jacob Berzelius (1779-1848) svéd vegyész azt javasolta 1807-ben, hogy az élő szervezetek által termelt anyagokat nevezzék szerves anyagoknak, s minden más anyagot szervetlennek. Azt találta ugyanis, hogy míg a szerves anyagot könnyű szervetlenné átalakítani, addig ennek fordítottja élőlény közreműködése nélkül lehetetlen. Ahhoz, hogy a szervetlen anyagot szerves anyaggá alakíthassuk át, az élő sejtben működő „életerőre” (*vis vitalis*) van szükség.

Ez a nézet nem tartotta magát sokáig. Friedrich Wöhler (1800-1882) német vegyész 1828-ban a cianidokat és a rokon vegyületeket vizsgálta. Ezeket akkoriban szervetlennek tekintették. Ammónium-cianátot hevített, és meglepetésére olyan kristályokat kapott, amelyek az elemzésnél ureának bizonyultak. Az urea - vagy karbamid - az emlősök vizeletének legfontosabb szilárd alkotóeleme, és így valóban szerves vegyületnek számított.

Wöhler felfedezése arra ösztönözte a többi vegyészt, hogy szervetlen anyagokból szerves anyagokat próbáljanak előállítani, és az eredmény nemsokára már meg is mutatkozott. Pierre Eugene Marcelin Berthelot (1827-1907) francia vegyész munkájának eredménye semmi kétséget nem hagyott az iránt, hogy a feltételezett válaszfal a szerves és szervetlen anyagok között nem létezik. Az 1850-es években Berthelot számos jól ismert szerves vegyületet - metilalkoholt, etilalkoholt, metánt, benzolt, acetilént - szintetizált olyan vegyületekből, amelyek nyilvánvalóan szervetlenek voltak. A kémiai analízis technikájának megfelelő fejlődésével a XIX. század első évtizedeiben a vegyészek kimutatták, hogy a szerves anyagok főleg szénből, hidrogénből, oxigénből és nitrogénből állnak.

A XIX. század második felében tömegesen állítottak elő szerves vegyületeket, s ezért a szerves kémiát már nem lehetett többé az élőkből nyert vegyületek tanának nevezni. Mindenesetre továbbra is célszerűnek mutatkozott a vegyészet szerves és szervetlen részre való felosztása, annak alapján hogy a szénatomokat tartalmazó vagy szénatomokat nem tartalmazó vegyületekkel foglalkozik. Az életnek azonban e kettéosztáshoz már semmi köze sem volt.

Egy nagy terület még mindig megmaradt, ahová a vitalisták visszavonulhattak. Azok a szerves vegyületek, amelyeket a XIX. század vegyészei állítottak elő, viszonylag egyszerűek voltak. Sok olyan anyag volt azonban még az élő szövetben, amely annyira bonyolult, hogy a XIX. század vegyészei nem reménykedhettek előállításukban.

Ezek az igen bonyolult vegyületek három főcsoportba sorolhatók, amint azt William Prout (1785-1850) angol orvos 1827-ben elsőnek megállapította. Ezt a három főcsoportot ma így hívjuk: szénhidrátok, lipidek és fehérjék (proteinek). A szénhidrátok, amelyek közé a cukor, a keményítő, a cellulóz stb. tartozik, szénből, hidrogénből és oxigénből állnak, ugyanúgy, mint a lipidek, amelyek a zsírokat és az olajokat foglalják magukban. A szénhidrátok viszonylag gazdagok oxigénben, a lipidek viszont szegények. Továbbá: a szénhidrátok könnyen oldódnak a vízben, vagy sav hatására könnyen oldhatóvá válnak. Ezzel szemben a lipidek vízben nem oldódnak.

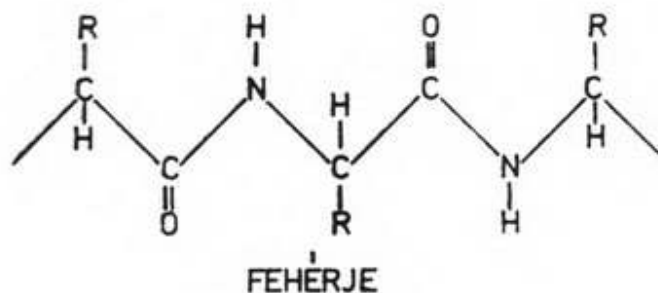
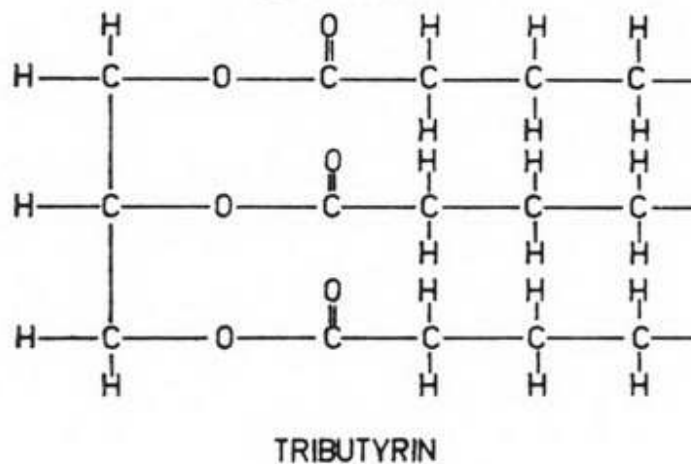
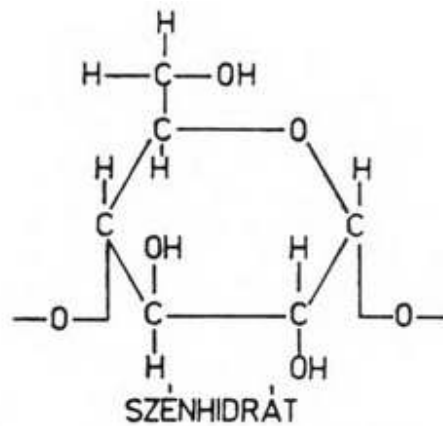


Wöhler

A szerves anyagok

A három csoport közül a legbonyolultabb, legbomlékonyabb a fehérje, amely - úgy látszik - az élet legjellemzőbb vegyülete. A fehérjében a szénen, hidrogéneken és oxigéneken kívül még nitrogén

és esetenként kén is található. Vízben rendszerint oldódik, de enyhe melegítésre kicsapódik, és oldhatatlanná válik. A fehérjéket kezdetben albuminoknak nevezték, mivel a tojásfehérjének fő alkotórésze, a tojásfehérjét pedig latinul albumennek hívják. Egy holland vegyész, Gerard Johann Mulder (1802-1880), felismerve az albumin anyagok jelentőségét, a protein kifejezést alkalmazta, amely görög szóból származik, s azt jelenti, hogy elsőrendű fontosságú.



A szerves anyagok három típusának képlete, amelyeknek fontos szerep jut az élőlények felépítésében: szénhidrát, lipid (zsír) és fehérje. A szénhidrátok hat szénatomból felépülő egységek láncolatából állnak, ezek közül csak egyet ábráztunk. A feltüntetett zsír a legközönségesebbek egyike (palmitin), amely a bal oldali glicerinmolekulából és az ehhez kapcsolódó hosszú zsírsavláncokból áll; ezek hosszát csak részben tüntettük

fel. A fehérje alapképlet egy polipeptidlánc részletét ábrázolja, amely a fehérjemolekula gerince. Az R betű az aminosavak oldalláncát jelképezi (részleteket lásd a 6. ábrán). (A Scientific American ábrája után)

A vitalisták az egész XIX. században nem általában a szerves anyagokban, hanem a fehérjemolekulákban reménykedtek.

A szerves kémia ismeretanyagának a bővülése szintén hozzájárult a törzsfajlás gondolatához. Az élőlények minden faja a szerves anyagok azonos csoportjaiból áll: szénhidrátokból, zsírokból és fehérjékből. Bár a pálmafa és a szarvasmarha igen sokban különbözik egymástól, mégis az a zsiradék, amelyet a kókuszdióból és a tejből nyerünk, alig mutat különbséget.

A XIX. század vegyészei azt is kiderítették, hogy a szénhidrátok, zsírok és fehérjék bonyolult szerkezete emésztés közben viszonylag egyszerű „építőkövekre” bomlik. Az építőkövek minden fajnál azonosak, és csak kombinációikban mutatkozik különbség. Az élőlény ezért táplálkozhat tőle teljesen különböző, más élő szervezetekkel (az ember pl. rákot eszik, a szarvasmarha pedig füvet), mert a táplálék bonyolult szerkezetű anyaga lebomlik azokra az „építőkövekre”, amelyek közösek a táplálékot elfogyasztó lény és tápláléka között: ezek az építőkövek felszívódnak, és beépülnek a táplálékot elfogyasztó élőlény bonyolult anyagszerkezetébe.

Vegy szempontról tehát az élet valójában csak egyféleként látszik, bár külső megjelenésében végtelen sokaságnak tűnik. Ha ez így van, akkor az egyik faj átalakulása egy másik fajjára csak részletkérdésnek tűnik, amelyhez nincs szükség alapvető változásra. Ez a szemlélet a fejlődés gondolatának ésszerűségét támasztotta alá, bár magát a gondolatot nem vetette fel.

A szövetek és az embriók

A biológusnak nem volt szüksége arra, hogy az élet alapvető egységének felfedezésével kapcsolatban a vegyész - számára valahogy idegen - munkájától és világától függjön. Az egyre tökéletesedő mikroszkóp végül ezt szemmel láthatóvá tette.

Kezdetben a mikroszkóp túl sokat tett láthatóvá a szem, helyesebben a képzelet számára. Néhány mikroszkopizálót eleinte megbűvölt a végtelen kicsiny megpillantásának lehetősége, olyan részleteket vélt látni, amelyek meghaladták e szerény eszközök teljesítőképességét. Így például az ondóban levő spermiumok vizsgálata közben mikroszkopikus emberi alakok („homunculus”) képét vélték kirajzolódni.

Azt képzelték, hogy a kicsinységnek nincs határa. Ha egy tojásban vagy a spermiumban már van egy kis lény, akkor ez a kis lény belsejében egy még kisebbet tartalmazhat, amely majd hajdan utóda lesz és így tovább, a végtelenségig. Egyesek még azt is számították, hogy Éva őspanyánkban hány homunculus és azokban ismét hány aprócska homunculus létezhetett, és felvetették azt a kérdést, vajon nem érkezik-e az emberi faj egyszer a szaporodása végéhez, amikor a „beágyazott” nemzedékek sora kimerül. Ez volt a „preformáció” tana. Ez világosan fejlődésellenes szemlélet volt, mivel ha egy faj minden lehetséges tagja a faj első tagjában már létezik, akkor nincs semmi ok annak feltételezésére, hogy a sorozatban a faj megváltozhatna.

Kasper Friedrich Wolff (1733-1794) német fiziológus volt az, aki a „preformáció” tanát

alapjában először támadta meg. Még csak 26 éves volt, amikor 1759-ben kiadott könyvében leírta megfigyeléseit a növények kifejlődéséről. Észrevette, hogy a növényi tenyészőcsúcs differenciálatlan, egységes alapszövetekből áll. A tenyészőcsúcs növekedésével azonban a szövetek fokozatosan egyénülnek, és az egyik részből virág, a másikkól levél fejlődik, holott eredetileg ezek a szövetrészek teljesen azonosnak tünnek. Később kiterjesztette megfigyeléseit az állatokra, mégpedig a csirkeembrióra. Kimutatta, hogy ugyanaz a szövet fokozatos specializálódáson keresztül válik a különböző hasi szervek jellegzetes szövetévé. Ez volt az „epigenezis” tana. Ezt a kifejezést először Harvey használta az állatok születéséről írt, 1651-ben megjelent könyvében.

E szerint a felfogás szerint minden teremtmény - akármennyire is különböznek külsejükben - az élő anyagnak ugyanabból az egyszerű magjából fejlődik ki, eredetük tehát azonos. Az élőlények nem egy kicsi, de már specializált szervből vagy szervezetből fejlődtek ki.

Ha helyesen vizsgáljuk őket, a teljesen kifejlődött szervezetek sem különböznek egymástól annyira, mint amennyire az első pillanatra látszik. Egy francia orvos, Marie Francois Xavier Bichat (1771-1802) rövid életének utolsó éveiben mikroszkóp nélkül is ki tudta mutatni, hogy a szervek különböző formájú alkatrészekből állnak. Ezeket az alkatrészeket „szöveteknek” nevezte, és ezzel megalapította a hisztológiát, a szövettant. Kiderült, hogy a szövetfajták száma nem nagy (az állatoknál a legfontosabb szövetek a következők: hám-, kötő-, izom- és idegszövet), és a különböző fajok különböző szervei ebből a néhány szövetfajtából épülnek fel. Az egyes szövetek fajok szerint nem térnek el annyira egymástól, mint maga az egész szervezet.

Még ennél is tovább mehetünk. Amint azt már korábban említettük, Hooke a XVII. század közepén megfigyelte, hogy a parafadugó kis négyzetes „cellákra” oszlik, amelyeket sejteknek nevezett el. A sejtek üresek voltak, de a parafadugó holt szövetekből áll. Későbbi kutatók élő vagy nemrég élt szöveteket mikroszkóppal vizsgálva, megállapították, hogy ezek is kis, jól elhatárolt egységekből épülnek fel.

Az élő szövetben ezek az egységek nem üresek, hanem kocsonyás folyadék tölti ki őket. Ennek az elnevezése Jan Evangelista Purkinje (1787-1869) cseh fiziológustól származik, aki 1839-ben a tojásban levő embrionális anyagot protoplazma néven említi (görög szó, jelentése: „elsőnek lett”). Hugo van Mohi (1805-1872) német botanikus a következő évben elfogadta ezt az elnevezést, de általában a sejten belül levő anyagokra értelmezte. Bár az élő szövetet alkotó egységek nem voltak üresek, Hooke elnevezését, a sejtet, tovább is használták.

A sejtet mindenütt megtalálták, ezért a biológusok egy része úgy okoskodott, hogy a sejt minden élő szövetben általánosan létező valami. Ez a nézet kristályosodott ki 1838-ban Matthias Jakob Schleiden (1804-1881) német botanikusnak abban az állításában, hogy minden növény sejtekből épül fel; az élet egysége a sejt, ez a kis élő valami, amelyből az egész szervezet összetevődik.

A következő évben Theodor Schwann (1810-1882) német fiziológus kibővítette és elmélyítette ezt az elméletet. Kimutatta, hogy minden állat, éppen úgy, mint minden növény, sejtekből áll, minden sejtet válaszfal vesz körül, és Bichat-szöveitei különböző alakú sejtekből épülnek fel. Schleident és Schwannt a sejtelmélet megteremtőjének nevezik, bár ehhez sokan mások is hozzájárultak. Ezzel veszi kezdetét a citológia tudománya, a sejttan.



Schwann

Az a feltevés, hogy a sejt az élet egysége, akkor válik különösen fontossá, ha kimutatják, hogy a sejt képes önálló életre is, tehát ahhoz, hogy éljen, nem szükséges milliárd és milliárd sejtnak a tömörülése. Kari Theodor Ernst von Siebold (1804-1885) német zoológus mutatta azután ki, hogy vannak olyan sejtek, amelyek tényleg képesek az önálló életre. Siebold 1845-ben az összehasonlító anatómiáról írt könyvében részletesen foglalkozott a protozoákkal, ezekkel a kis

állatkákkal, amelyeket van Leeuwenhoek fedezett fel. Siebold nyilvánvalóvá tette, hogy a protozoákat olyan lényeknek kell tekinteni, amelyek egyetlen sejtből állnak. Minden egyes protozoát sejttel vesz körül, és azon belül megvan az élet minden lényeges sajátossága. Táplálékot vesz fel, azt megemészti és beépíti, az elhasznált anyagot pedig eltávolítja. Érzékeli a környezetet, és megfelelően reagál rá. Növekszik, és osztódással szaporodik. Az bizonyos, a protozoa általában nagyobb és bonyolultabb szerkezetű, mint azok a sejtek, amelyekből egy soksejtű szervezet, amilyen az ember is, felépül.

A soksejtű szervezetekben is ki lehet mutatni egyes sejtek jelentőségét. Karl Ernst Baer (1792-1876) orosz biológus 1827-ben felfedezte az emlős állatok petéjét, és utána azt kezdte tanulmányozni, hogy a pete milyen módon fejlődik független élőlényé.

A kérdésről a következő tíz évben nagy, kétkötetes könyvet publikált, amellyel megalapította az embriológiát, az embrió vagy a pete fejlődését tanulmányozó tudományt. Felélesztette Wolff epigeneziselméletét (amelyet a szerző életében teljesen figyelmen kívül hagytak), és részletesebben, jobban megalapozva kimutatta, hogy a fejlődésnek indult petesejt több sejtrétegből álló struktúrát alakít ki. Ezek kezdetben differenciálatlanok, de később specializált szervek fejlődnek ki belőlük. (Ezeket a sejtrétegeket „csíralemezeknek” nevezte el; a csíra általános megjelölés volt minden kis dologra, amely tartalmazta az élet magját.)

Az ilyen csírarétegek számát végül is háromban rögzítették, és Robert Remak (1815-1865) német orvos 1845-ben olyan nevet adott nekik, amelyet ma is használnak. Ezek a következők: „ektoderma” (görög szó, külső bőrt jelent), „mezoderma” (középső bőr) és „entoderma” (belső bőr).

Rudolf Albert von Kölliker (1817-1905) svájci fiziológus az 1840-es években kimutatta, hogy a pete és a spermium egyedi sejtek. (Később Kari Gegenbaur [1826-1903] német zoológus bebizonyította, hogy a viszonylag hatalmas madártojás is egyetlen sejt.) A spermium és a pete egyesüléséből keletkezik a „megtermékenyített pete”, amely - mint Kölliker kimutatta - még mindig egyetlen sejt. (Ez az egyesülés vagy „megtermékenyítés” indítja meg az embrió fejlődését. Bár a biológusok már a XIX. század közepén feltételezték ezt a folyamatot, és az előző évtizedekben végzett megfigyelések alátámasztották ezt a feltevést, magát a megtermékenyülés jelenségét először részletesen Herman Fol svájci zoológus írta le 1879-ben, aki megfigyelte a tengeri sünn petesejtjének és spermiumának egyesülését.)

Kölliker 1861-ben az embriológiáról egy kézikönyvet írt, amelyben a sejtelmélet alapján újraértelmezte Baer munkáját. Eszerint minden soksejtű szervezet egyetlen sejtből, a megtermékenyített petéből keletkezik. A megtermékenyített pete osztódik, majd újraosztódik, s az így keletkező sejtek kezdetben nem nagyon térnek el egymástól. Lassanként azonban a sejtek különböző irányban specializálódnak, mindaddig, amíg végül a felnőtt forma valamennyi bonyolult szerkezete létre nem jön. Ez nem volt más, mint a sejtekre alkalmazott epigenezis.

Az élet egységének a gondolata nagyon megerősödött. Nehezen lehet különbséget tenni az ember, a zsiráf és a makrahal megtermékenyített petéje között, és amint az embrió fejlődik, a különbségek csak fokozatosan alakulnak ki. Az embrió apró, első látásra alig megkülönböztethető alkatrészeiből egyaránt fejlődhet ki az egyik esetben szárny, egy másik esetben kéz, egy harmadikban mancs és uszony egy negyedik esetben. Baer határozottan úgy

látta, hogy az állatok közötti rokonságot helyesebb levezetni az embriók, mint a kifejlődött szervezetek összehasonlításából, így aztán ő az összehasonlító embriológia megalapítója is.

A fajok változása a sejt fejlődési folyamata szempontjából nézve csak részletkérdésnek tűnt, és lehetséges, hogy valamilyen evolúciós folyamat részeként jöjjön létre. Baer kimutatta, hogy pl. a korai gerinces embriónak időlegesen egyszerű gerinchúrja van. Ez egy kemény pálca, amely a hát mentén fut végig, és vannak olyan egyszerű, halhoz hasonlító teremtmények, amelyeknek egész életükön át ilyen gerinchúrja van. Ezeket a lényeket először Alexandr Kovalevszkij (1840-1901) orosz zoológus tanulmányozta az 1860-as években.

A gerinceseknél a gerinchúrt csakhamar ízületekkel kapcsolt csigolyákból álló gerincoszlop váltja fel. Mindenesetre a gerinchúrnak még ez az átmeneti megjelenése is a gerincesek és a Kovalevszkij által leírt állatok rokonságára utalhat. Ez az oka annak, hogy a gerinceseket és ezt a néhány gerinchúrost egy törzsbe sorolták, a gerincesek közé. Azonfelül csábító az a feltevés, hogy a gerinchúr, amely olyan rövid időre jelenik meg a gerincesek embriójában (még az ember embriójában is), arra mutat, hogy az összes gerinces valamilyen kezdetleges, gerinchúros élőlénytől származik.

A legkülönbözőbb területeken, az összehasonlító anatómia, az őslénytán, a biokémia, a sejttan, a szövettan és a fejlődéstan területén, egyre határozottabban kibontakozott a fejlődés gondolata, majd, amint a XIX. század közepe közeledett, az evolúciós szemlélet parancsoló szükségletté vált: a felszínre kerülő tények alapján a fejlődésre kielégítő magyarázatot kellett találni.

VI. fejezet

Az evolúció

A természetes kiválasztódás

Charles Robert Darwin (1809-1892) angol természettudós, Erasmus Darwin unokája volt az, aki a fejlődés elméletét megfogalmazta, és szilárdan megalapozta.

Ifjúkorában az orvostudomány vonzotta, később arra gondolt, hogy pap lesz, de egyik pálya sem elégítette ki érdeklődését. A természetrajz volt a kedvenc időtöltése, és az egyetemi évek alatt ez a hobbyja, mint életpálya, kezdte komolyan érdekelni. A „Beagle” nevű angol hadihajó 1831-ben föld körüli tudományos kutatóútra készült, és a kutatócsoport természetrajzos tagjának Darwint hívták meg, aki az ajánlatot elfogadta.

Az utazás öt évig tartott, és bár Darwin sokat szenvedett a tengeribetegségtől, mégis ez az utazás tette őt zseniális természettudóssá. Azonfelül a „Beagle” útja Darwin révén vált a biológia történetében a legjelentősebb felfedező expedícióvá.

Darwin utazása előtt elolvasta Lyell geológiai munkájának első kötetét, így világos képe volt arról, hogy milyen régi a Föld, és milyen hosszú korszakokon keresztül fejlődhetett az élet. Útközben azonban, amint a hajó végighaladt Dél-Amerika partjai mentén, önkéntelenül is fel kellett figyelnie arra, miként váltja fel egyik faj a másikat; annak is szükségszerűen fel kellett tűnnie, hogy az egymást felváltó fajok lényegében nem sokban térnek el egymástól.

A Galápagos-szigeteken talált állatvilágra vonatkozó megfigyelései voltak a legjelentősebbek. Itt, kb. 650 mérföldre Ecuador partjától, öt hétig tartózkodtak. Darwin különösen a madarak egyik csoportját tanulmányozta, amelyeket a mai napig „Darwin pintyeinek” neveznek. Ezek a pintyek sok szempontból igen hasonlítottak egymáshoz, de végül is 15 fajt lehetett megkülönböztetni köztük, amelyek közül egy sem élt a közeli szárazföldön vagy - amennyire tudták - a világ bármely más részén. Ésszerűtlen lett volna feltételezni, hogy egyedül e kis és jelentéktelen szigetcsoport számára 14 különböző faj „teremtődött” volna.

Ehelyett Darwin úgy vélte, hogy hosszú idővel azelőtt, a szárazföld felől egy pintyfaj telepedett a szigetekre, és utódaik a hosszú évezredek során önálló fajokra váltak szét. Egyeseknél bizonyos

fajta magvakkal való táplálkozás szokása fejlődött ki, viszont mások rovarevővé váltak. Mindegyik életmódnak megfelelően, az egyes fajoknál sajátos csőrforma, testnagyság és ösztönrendszer fejlődött ki. Az eredeti pintyfaj ilyen átalakuláson nem ment át a szárazföldön a többi madárfajjal való konkurencia miatt; a Galápagos-szigeteken azonban az első bevándorolt pintyek viszonylag telítetlen élőhelyet találhattak, és változataik szabadon fejlődhettek.

Egy kérdés - még hozzá döntő fontosságú kérdés - azonban megválaszolatlan maradt. Mi hozta létre ezeket az evolúciós változásokat? Minek a hatására alakultak ki a magevő és rovarevő pintyek közti eltérések? Darwin nem fogadhatott el erre a kérdésre olyan magyarázatot, amely a kérdést Lamarck szellemében igyekezett volna megoldani, nevezetesen, hogy egyes pintyek megpróbálkoztak a rovarevéssel, majd később ezt a szokásukat és a rovarok elfogására való fokozott képességüket az utódok is örökölték.

Két évvel Angliába való visszatérése után, 1838-ban elolvasta Thomas Robert Malthus (1766-1834) angol közgazdász *Tanulmány a népesedés törvényéről* című könyvét. Ebben Malthus kifejtette, hogy az emberiség mindig gyorsabban szaporodik, mint a rendelkezésére álló élelmiszermennyiség, és ezért időként éhhalálnak, járványnak vagy háborúnak kell csökkentenie a népesség számát.

Darwin arra gondolt, hogy ennek az élet egyéb formáira is érvényesnek kell lennie, és először az a populáció-felesleg semmisül meg, amely hátrányban van a táplálékért folyó versenyben. Például a Galápagoson kezdetben a pintyek akadálytalanul szaporodhattak, és rövidesen többen lettek, mint amennyien az elérhető magmennyiségből meg tudtak élni. Egy részüknek éhen kellett pusztulnia, mindenekelőtt a gyengébbeknek vagy azoknak, amelyek nem voltak elég ügyesek a mag felkutatásában. De mi történt azokkal, amelyek történetesen nagyobb vagy keményebb héjú magokkal is képesek voltak megbirkózni, vagy sikerült néhány rovar is lenyelniük? Azokat, amelyek nem rendelkeztek ilyen szokatlan képességekkel, az éhség tizedelte, míg azok, amelyek új, még kiaknázatlan élelemforrás birtokába jutottak, jobban szaporodhattak, egészen addig, amíg ez az élelemforrás is el nem apadt.

Más szóval, a környezet vak kényszere megjutalmazta a különbözőségeket, és különbözőségeket különbözőségekre halmozott mindaddig, amíg nem alakultak ki új fajok, amelyek közül mindegyik eltért a másiktól és a közös őstől. Hogy úgy mondjuk, maga a természet válogatta ki a fennmaradókat, mihelyt a táplálék kevés lett, és a „természetes kiválasztódás” révén az élet megszámlálhatatlan változata jött létre.

Ezen túlmenően, Darwin saját maga is láthatta, hogy a szükséges változások hogyan mennek végbe. Galambokat tenyésztett, hogy tanulmányozza a mesterséges kiválasztódás hatásait, és így személyes tapasztalatot szerzett a háziállatok szokatlan változatainak a nemesítése terén. Láthatta, hogy a fiókák mindenik csoportjában, egymástól nagyságban, színben és képességekben, véletlenszerűen különböző változatok vannak. E különbségeket fel lehetett használni arra, hogy az egyik változatot tudatosan kitenyésszék, s ugyanakkor a másikat visszaszorítsák. Így fejlesztette ki az ember nemzedékeken keresztül a szarvasmarha, ló, juh, baromfi előnyösebb változatait, és hozta létre a kutya furcsa és szórakoztató formáit, kénye-kedve szerint.



Darwin

Vajon a természet nem léphet-e az ember helyére, és nem végezhet-e hasonló kiválasztást sokkal lassabban és sokkal hosszabb idő alatt, de az állatokat nem az ember ízlésének és szükségleteinek, hanem környezetüknek megfelelően alakítva?

Darwin tanulmányozta a „nemi kiválasztódást” is, amely azt jelenti, hogy a faj nősténye a

legrikítőbb hímet fogadja el; így tudott kifejlődni a csaknem nevetségesen cifra pávakakas. Elkorcsosult szervekre vonatkozóan is gyűjtött adatokat, amelyek arra utaltak, hogy ezek valamikor teljes értékű szervek voltak. Drámai példa erre a cethal és a kígyó. Ezeknek olyan csontmaradványaik vannak, amelyek minden bizonnyal valamikor a medencecsont és a hátsó lábak részei voltak. Ebből a tényből szinte szükségszerűen következik az a feltételezés, hogy őseik valamikor lábon járó lények voltak.

Darwin fáradhatatlan tökéletesítő volt, aki vég nélkül gyűjtötte és osztályozta tapasztalatait. Végül 1844-ben hozzákezdett az íráshoz. De ettől számított tíz év alatt sem tudta elméletét végső formába önteni. Végül is, csak 1856-ban lendült neki a nagy munkának.

Eközben a Távols-Keleten egy másik angol természettudós, Alfred Russel Wallace (1822-1913) is ugyanezzel a kérdéssel kezdett foglalkozni. Darwinhoz hasonlóan, életének nagy részét ő is utazással töltötte. 1848 és 1852 között Dél-Amerikában is járt. 1854-ben a Maláj-félszigetre és a Kelet-indiai-szigetekre hajózott. Rendkívül meglepődött az ázsiai és az ausztráliai emlős állatfajok közti szembeszökő különbségeken. Később, amikor erről írt, egy vonallal elválasztotta azokat a területeket, amelyeken ezek az elütő fajok éltek. Ez a vonal (ma is Wallace-vonalnak nevezik) egy mély vizű csatornát követ, amely elválasztja Borneo és Celebesz nagy szigeteit, valamint a kisebb Bali és Lombok szigeteket, dél felé. Ebből származott az a felfogás, hogy az állatfajokat nagy kontinentális és szuperkontinentális tömbökre kell osztani.

Wallace úgy látta, hogy az ausztráliai emlősök az ázsiaiakkal szemben primitívebbek és kisebb képességűek, úgyhogy ha kettőjük között bármilyen versenyre kerülne sor, az ausztráliai emlősök kipusztulnának. Az ausztráliai emlősök fennmaradásának az volt a magyarázata, hogy Ausztrália és a közeli szigetek leszakadtak az ázsiai szárazföldről, mielőtt még a fejlettebb ázsiai fajok kialakulhattak volna. Ezek a gondolatok vezették Wallace-t arra, hogy a természetes kiválasztódás révén végbemenő evolúcióról elmélkedjék. Éppen úgy, mint Darwin esetében, töprengései akkor vezették eredményre, amikor ő is elolvasta Malthus könyvét. Wallace abban az időben Kelet-Indiában volt, és maláriában megbetegedett. A kényszerű pihenőt felhasználva, két nap alatt megírta elméletét, és a kéziratot véleményezésre elküldte Darwinnak. (Nem tudta, hogy Darwin ugyanezen a témán dolgozik.) Darwint villámcsapásként érte a kézirat, amely pontosan az ő nézetét ismételte meg. Lyell és mások úgy intézték el az ügyet, hogy Darwin néhány írásával együtt tették közzé Wallace tanulmányát is 1858-ban, a Linné Társaság kiadványában (*Journal of Proceedings of the Linnean Society*).

A következő évben végre megjelent Darwin könyve *A fajok eredete a természetes kiválasztódás útján, vagy a létért való küzdelemben előnyhöz jutott fajták fennmaradása*. Röviden mint *A fajok eredete* ismert.

A tanult világ várta a könyvet. Csak 1250 példányt nyomtak belőle, és megjelenésének első napján minden példányt elkaptak. Az egyik kiadás a másikat követte, és még napjainkban, egy évszázaddal később is, újból és újból kiadják.

Harc az evolúció körül

Kétségtelen, a biológia történetében *A fajok eredete* volt a legfontosabb könyv. A tudomány igen sok ága egyszerre jobban érthetővé vált, amikor a természetes kiválasztódással végbemenő evolúció álláspontjáról nézték. Az elmélet ésszerűvé tette a taxonómia, az embriológia, az összehasonlító anatómia és a paleontológia felhalmozódó adatait. Darwin könyvével a biológia több lett, mint tények halmaza, rendszerezett tudománnyá vált, amely egy átfogó elméleten alapul. Darwin könyve azonban sokak számára nehezen volt elfogadható. Felborított egyes, addig általánosan elfogadott és tisztelt nézeteket, különösképpen úgy látszott, ellentmond a Biblia betű szerinti tartalmának, és az áll benne, hogy a világot és az emberiséget nem Isten teremtette. Még azok között is, akiknek a felfogása nem volt különösen vallásos, sokan voltak, akik idegenkedtek egy olyan nézettől, amely az élet szép birodalmát, sőt még magát a csodálatos embert is a vak és érzéketlen véletlenek termékének tekinti.

Az utóbbi csoporthoz tartozott Angliában Richard Owen (1804-1892) zoológus, az ellenzék vezére. Cuvier-nél tanult, és mint Cuvier, ő is szakértő volt a letűnt állatok fosszilis maradványokból történő rekonstruálásában. Nem maga az evolúció koncepciója volt az, amit kifogásolt, hanem az a gondolat, hogy a véletlen játszik közre benne. Valami belső szükségesség gondolatát helyesebbnek találta.

Darwin maga nem harcolt túlságosan elméletéért, túl érzékeny volt ahhoz, hogy sokat vitatkozzék, ráadásul rendszerint betegnek is képzelte magát. Thomas Henry Huxley (1825-1895) angol biológus azonban Darwin tanait támogatta. Huxley félelmetes volt az előadói emelvényen, és nagyszerű tudomány-népszerűsítő. „Darwin bulldogjának” nevezte magát. Senki sem tett annyit, mint ő, annak érdekében, hogy az egyszerű emberek megismerkedjenek az evolúcióval.

A darwinizmusnak eleinte Franciaországban alig voltak hívei; a biológusok még néhány évtizedig Cuvier evolúcióellenes felfogásának bűvöletében éltek. Németország sokkal termékenyebb talajnak bizonyult. Ernst Heinrich Haeckel (1834-1919) német természettudós teljesen Darwin útját járta, sőt kissé túl is haladt rajta. A fejlődő embrióban az evolúció rövid idő alatt lepergő mozgóképét látta. Az emlős állat például, a protozoákhoz hasonlóan, egyetlen sejttel kezdődik, azután két csíraréteggel bíró lényé fejlődik, ami a medúzához hasonló valami, majd három csíraréteggű lesz, ami egy egyszerű féreghez hasonlít. A további fejlődés során az emlős embrió kifejleszti a primitív gerinchúrosok gerinchúrját, és elveszíti, majd a haléhoz hasonló kopolytű kezdeményt fejleszt ki, és azt is elveszíti. Baer, az idősebb embriológus, aki közeljutott ehhez a nézethez, de a darwinizmust nem fogadta el, élesen szembeszállt Haeckellel. Valóban, Haeckel szemlélete túlzottnak bizonyult, és a modern biológusok nem fogadják el az embrió fejlődését mint az evolúció folyamatának teljesen megfelelő és hű képet.

Az Egyesült Államokban Asa Gray (1810-1888) amerikai botanikus volt a darwinizmus legbuzgóbb szószólója. Közismerten igen vallásos ember volt, ami nézeteinek külön erőt kölcsönzött, mert nem intézhették el azzal, hogy ateista. Vele szemben állt Jean Louis Rodolphe Agassiz (1807-1873) svájci-amerikai természettudós. Agassiz tudományos hírnevét őskori halleletek kimerítő tanulmányozásával szerezte meg, de a nyilvánosság számára sokkal látványosabb cselekedete a „jégkorszakok” gondolatának népszerűsítése volt. Szülőföldjén, Svájcban otthonos volt az Alpok gleccservilágában, és kimutatta, hogy ezek a gleccserek lassan mozognak, s eközben a gleccser aljába beágyazott kavicsok és törmelékek lecsiszolják és kivájják azokat a sziklákat, amelyek felett elhaladnak.

Agassiz olyan területeken talált kétségtelenül gleccser által kivájt sziklákat, ahol az ember emlékezete óta sohasem volt gleccser. Az 1840-es években arra az eredményre jutott, hogy sok ezer évvel azelőtt a gleccserek igen elterjedtek voltak. 1846-ban az Egyesült Államokba ment, elsősorban azért, hogy ott előadásokat tartson, de az észak-amerikai szárazföld természetrajza felkeltette érdeklődését, és emiatt elhatározta, hogy ott telepszik le. Agassiz ott is megtalálta a kiterjedt régi jegesedés nyomait.

A jégkorszak (ma már tudjuk, hogy az utolsó félmillió év alatt négy egymástól különböző jégkorszak létezett) nyilvánvalóvá tette, hogy Hutton és Lyell szélsőséges egyformaságtana nem igazolható. Katasztrófák mindenestre voltak. Az biztos, hogy ezek nem voltak olyan váratlanok, olyan pusztítók és olyan végzetesek, mint amilyeneknek Cuvier szemlélete szerint lenniük kellett volna. Agassiz, Cuvier-éhez hasonló felfogása és vele született jámborsága miatt, nem tudta elfogadni Darwin elméletét.

Az ember származása

Darwin elméletének legérzékenyebb pontja természetesen az volt, hogy magára az emberre is vonatkozik. *A fajok eredetében* Darwin elkerülte ezt a pontot, és Wallace, a természetes kiválasztódás elméletének társfelfedezője, kifejezetten azt állította, hogy az ember maga nincs alávetve az evolúciós erőknek. Nem volt azonban ésszerű azt feltételezni, hogy az evolúció minden fajra vonatkozik, csak a Homo sapiensre nem, és így lassan gyűlt a bizonyíték arra vonatkozóan, hogy bizony az emberre is érvényes.

1838-ban egy francia régész, Jacques Boucher de Crevecoeur de Perthes (1788-1868) Észak-Franciaországban csiszolatlan kőbaltákat ásott ki, amelyek a földrétegben való elhelyezkedésük alapján több ezer évesek lehettek. Továbbá, ezek nyilvánvalóan mesterségesek voltak, és csakis ember készíthette őket. Először került elő kétségtelven bizonyíték arra, hogy nemcsak a Föld, hanem maga az ember is sokkal régebbi eredetű, mint az a hatezer év, amelyről a Biblia beszélt.

Boucher de Perthes leleteiről 1846-ban könyvet írt. A könyv nagy felháborodást váltott ki. A francia biológusok, még mindig a már elhunyt Cuvier hatása alatt, ellenségesen visszautasították a leletből levonható következtetéseket, annak ellenére is, hogy a régészek az 1850-es években még régebbi szerszámokat kezdtek feltárni. Végül 1859-ben angol tudósok látogatták meg azokat a helyeket, ahol Boucher de Perthes megtalálta a baltákat, és igazat adtak neki.

Négy évvel később, a már említett Lyell geológus, Boucher de Perthes leletét bizonyítékkul felhasználva, könyvet írt *Az ember régisége* (The Antiquity of Man) címmel, amelyben nemcsak erősen támogatta a darwini eszméket, hanem specifikusan az emberre is alkalmazta őket. Huxley is ugyanezt az álláspontot képviselte könyvében.

Darwin 1871-ben második nagy munkájával, *Az ember származásával* nyíltan csatlakozott ahhoz az oldalhoz, amely az emberi evolúció mellett foglalt állást. Ebben a könyvben tárgyalja az ember elcsökevényesedett szerveit, mint az evolúciós változásra utaló jeleket.

(Az emberi testben számos elkorcsosodott szerv van. A vakbél olyan hasznos szerv maradványa, amely egykor a táplálék tárolására szolgált, és így lehetővé vált a táplálék baktériumok által előidézett lebontása. A gerinc alapjánál négy csont van, amely egykor a fark része volt. A fülüket mozgatni tudó ősköktől örökölt fülmozgató izmok a fül tövéénél ma már teljesen feleslegesek stb.)

A bizonyíték nem volt kizárólag közvetett. Maga az ősember is a színre lépett. 1856-ban Németországban a Rajna-vidéken, a Neander-völgyben a földből kiástak egy régi koponyát. Ez nyilvánvalóan emberi koponya volt, de sokkal primitívebb és majomszerűbb, mint bármely átlagos emberi koponya. Abból a földrétegből következett, amelyben találták, több ezer évesnek kellett lennie. Vita támadt, vajon ez az ember korai primitív formája-e, amely később a mai emberré fejlődött, vagy pedig egyszerűen az ősidők egy megmaradt vadjáré, amelynek csontbetegsége volt, vagy pedig koponyája örökletesen torzult el.

Az utóbbi mellett foglalt állást Rudolf Virchow (1821-1902) német orvos, aki nagy tekintélynek számított. Paul Pierre Broca (1827-1880) francia sebész viszont, aki a koponyaalkatok világhírű szakértője volt, amellel kardoskodott, hogy egy mai embernek, akár beteg, akár egészséges, nem lehet olyan koponyája, mint amilyen a „neandervölgyi emberé”, és így a neandervölgyi ember az embernek egy ősi formája, amely valamely módon teljesen különbözik a maitól.

A vita eldöntéséhez más bizonyítékra volt szükség: valamilyen őskori leletre, amely ténylegesen átmenet az ember és a majom között, vagyis a „hiányzó láncszemre”. Ilyen hiányzó láncszemek előfordultak az őskori leletek között. A British Museum például 1861-ben egy olyan élőlény őskori leletét szerezte meg, amely nyilvánvalóan madár volt, mivel a sziklában tollak lenyomatai látszottak, mégis gyíkéhoz hasonló farka és gyíkéhoz hasonló fogai voltak. Ezt rögtön a lehető legjobb bizonyítéknak fogadták el arra vonatkozóan, hogy a madarak a hüllőktől származnak.

Az embernél hiányzó láncszem kutatása azonban néhány évtizedig még eredménytelen maradt. Végül egy holland paleontológusnak, Marie Eugene Francois Thomas Dubois-nak (1858-1940) sikerült. Dubois égett a vágytól, hogy megtalálja a hiányzó láncszemet. Úgy vélte, hogy a primitív, emberhez hasonló teremtményeket a világ ama tájain kell keresni, ahol még ma is bőven élnek majmok. Tehát vagy Afrikában, a gorilla és a csimpánz hazájában, vagy Délkelet-Ázsiában, az orangután és a gibbon hazájában.

A holland kormány 1889-ben azzal bízta meg, hogy őskori leletek után kutasson Jáván (akkor holland gyarmat volt). Nagy lelkesedéssel látott munkához. Néhány év alatt talált egy koponyatetőt, egy combcsontot és két fogat, amelyek kétségtelenül az ősember maradványai voltak. A koponyatető számottevően nagyobb volt, mint bármely élő majomé, és mégis lényegesen kisebb, mint bármely élő emberé. A fogak is átmenetet képeztek a majom és az ember között. Dubois azt a teremtményt, melyé a csontmaradványok voltak, elnevezte „*Pithecanthropus erectus*”-nak (felegyenesedett majomembernek). A részleteket 1894-ben publikálta.

Ismét nagy vita támadt, de más hasonló leletekre bukkantak Kínában és Afrikában is, úgyhogy ma több „hiányzó láncszemről” tudjuk, hogy léteztek. Ezek után már semmi sem indokolta azt, hogy kételkedjünk az emberi evolúció vagy általában az evolúció tényében. Ennek ellenére, még a XX. században is találkozunk evolúcióellenes felfogással, de főként egyházi körökben, amelyek ma is ragaszkodnak a Biblia betű szerinti értelméhez. Napjainkban nehéz elképzelni olyan ismert

biológust, akinek felfogása evolúcióellenes lenne.

Az evolúció mellékhatásai

Ha az evolúció ellenségei tévedtek, akkor az evolúció túlzottan lelkes hívei is tévedtek olyan területeken, ahol az elmélet nem alkalmazható. Így Herbert Spencer (1820-1903) angol filozófus, akinek már Darwin könyve megjelenése előtt határozott elképzelései voltak a fejlődésről, örömmel fogadta Darwin könyvét. Az emberi társadalommal és kultúrával kapcsolatos elméleteihez hozzávette Darwin elméletét, és így a *szociológia* tudományának egyik úttörője lett.

Spencer úgy látta, hogy az emberi társadalom és kultúra valamely egységes és egyszerű szinten kezdődött el, és ebből fejlődött a jelenlegi heterogén és bonyolult állapotába. Népszerűsítette az evolúció fogalmát (amelyet Darwin ritkán használt) és „a legalkalmasabb fennmaradását”. Spencernek úgy tűnt, hogy az emberi egyedek állandó versenyben állnak egymással, s ebben a gyengébb szükségszerűen lemarad. Spencer ezt az evolúciós előrehaladás elkerülhetetlen velejárójának tartotta, és 1884-ben kifejtette azt a gondolatot, hogy azokat az embereket, akiket nem lehet munkába állítani vagy akik egyébként terhesek a társadalomnak, inkább engedni kellene elpusztulni, semmint segíteni és megkönyörülni rajtuk. A jóság és a lágy szívűség - úgymond - akadályozza az evolúciós előrehaladást, és így hosszú távon károsak.

Spencer azonban az evolúció nyelvét helytelenül használta, mivel a természetes kiválasztódás darwini mechanizmusának hosszú időre volt szüksége. A tényleges helyzet az volt, hogy amivel Spencer igazolni tudta volna az emberi történelemben bekövetkező gyors változásokat, az, Lamarck mintájára, a szerzett tulajdonságok átörökítésének valamilyen formája lett volna.

Darwin unokatestvérénél, Francis Galton (1822-1911) angol antropológusnál az evolúció elmélete szintén fordulatot idézett elő. Galton munkásságát mint felfedező utazó meteorológus kezdte, de Darwin könyvének megjelenése után érdeklődése a biológia felé fordult. Különösen az öröklődés kérdéseit tanulmányozta, ő volt az első, aki hangsúlyozta az ikervizsgálatok fontosságát, mivel az öröklődő befolyások ezeknél egyenlőnek vehetők, és így a különbségeket egyedül a környezetnek lehet tulajdonítani.

Galton, a kiváló szellemi képességek előfordulását tanulmányozva, bizonyítékot tudott találni annak a véleményének az alátámasztására, hogy a szellemi képességek öröklődnek. Úgy látta, hogy az emberi értelem és egyéb kívánatos tulajdonságok megfelelő tenyésztés útján gyarapíthatók, ugyanakkor a nemkívánatos vonások kiküszöbölhetők. 1883-ban az „*eugenika*” nevet adta ama módszerek tanulmányozásának, amelyek révén az említett cél legjobban elérhető. (A szó görög eredetű, „jó születést” jelent.) Végrendelésében pénzt hagyott olyan laboratórium felállítására, amely munkáját az eugenikai kutatásoknak szenteli.

Sajnos, amint egyre több információ gyűlt össze az öröklődés mechanizmusára vonatkozóan, a biológusok egyre kevésbé bíztak abban, hogy a fajnak szelektív tenyésztés útján történő megjavítása (hogy úgy mondjuk, a céltudatos evolúció) egyszerű dolog. Sőt, egész biztosnak látszott, hogy az igen bonyolult feladat. A biológusok számára az eugenika jogos figyelmet

érdem, viszont a lehangosabb, úgynevezett eugenikusok az áltudósok ama kis csoportjaiból kerülnek ki, akik a tudomány nyelvét használják fel az előítéletek és faji megkülönböztetések igazolására.

VII. fejezet

A genetika kezdete

A darwini elmélet hézagai

Az evolúcióelmélet alkalmazása sok tévedéssel járt. Ennek az volt az oka, hogy a XIX. században még nem ismerték az öröklés mechanizmusát. Az, hogy Spencer elképzelhette az emberi magatartás gyors megváltozását, és Galton a szelektív tenyésztés gyors és könnyű programja alapján a faj javításáról gondoskodott, csakis az ismeretek fogyatékoságával magyarázható.

Valóban, az öröklődési mechanizmus hiányos ismerete volt a darwini elmélet legsajnálatosabb gyengesége. Darwin szerint minden faj fiataljai között állandó, véletlenszerű különbségek vannak, és némelyik variáció révén az egyik állat jobban alkalmazkodik a környezetéhez, mint a többi. A zsiráfborjak közül az fog legjobban táplálkozni, amelyiknek történetesen a leghosszabb nyaka van.

De hogyan lehetünk biztosak abban, hogy a leghosszabb nyak öröklődik? Nem valószínű, hogy a zsiráf egy hosszú nyakú párt keres ki magának, éppen olyan valószínű az is, hogy éppen egy rövid nyakúra talál. Darwin az állatok tenyésztésében szerzett tapasztalatai alapján feltételezte, hogy ha szélsőséges tulajdonságok kereszteződnek, akkor a jellemző sajátosságok keverednek, ha tehát a hosszú nyakú zsiráf rövid nyakúval párosodik, abból közepesen hosszú nyakú zsiráf származik.

Más szóval, a véletlen változékonyság révén létrejövő minden hasznos tulajdonság szintén véletlenszerű párosodás eredményeként egy kevésbé elütő átlagban egyenlítődik ki, és így nincs semmi olyan, amit a természetes kiválasztódás megragadhatna az evolúciós változások létrehozásához.

Egyes biológusok ennek magyarázata során támadták az elméletet, de nem sok sikerrel. Kari Wilhelm von Nägeli (1817-1891) svájci botanikus, aki a darwinizmus lelkes híve volt, felismerte a nehézségeket. Áthidalásukra azt tette fel, hogy kell valami belső erőnek lennie, amely az evolúciós változásokat meghatározott irányba hajtja.

Amint az őskori leletekből tudjuk, a ló egy kutya nagyságú állattól származik, amelynek lábán

négy pata volt. A leszármazottak az idők folyamán állandóan növekedtek, és egyik patát a másik után veszítették el, amíg végül a mai nagy termetű és egypatájú ló ki nem fejlődött. Nägeli úgy vélte, hogy volt egy belső hajtóerő, amely a nagyobb termet és a kevesebb ujj irányába vitte a ló fejlődését, és ez még addig a pontig is folytatódhat, amikor már hátrányossá válik, úgyhogy a lovak túl nagyok és esetlenek lesznek. Képtelenné válnak a menekülésre ellenségeik elől, s számuk ezután fokozatosan csökken, és kipusztulnak.

Ezt az elméletet, az ortogenezist, a modern biológusok nem fogadták el.

Mendel borsói

Egy osztrák szerzetes és amatőr botanikus, Gregor Johann Mendel (1822-1884) munkássága hozta meg a problémának azt a megoldását, amelyet ma is elfogadunk. Mendel mind matematikával, mind botanikával foglalkozott, és a kettőt kombinálva, 1857-től kezdve nyolc éven keresztül borsónövényeken statisztikai tanulmányokat végzett.

Különböző növényeket nagy gonddal önbeporzott, ily módon biztosítva azt, hogyha bármely jellemző tulajdonság öröklődik, akkor ez csupán egyetlen szülőtől öröklődjék. Minden egyes öntermékenyített borsónövény magját ugyanolyan gondossággal összegyűjtötte, majd elültette őket, és tanulmányozta az új generációt.

Azt találta, hogyha a törpeborsó-növények magjait ültette el, akkor csak törpeborsó-növény kelt ki. E második generáció által termelt magvakból ugyancsak kizárólag törpeborsó-növény származott. A törpeborsó-növények „fajtiszták”.

A magasborsó-növények magjai nem mindig viselkedtek ugyanilyen módon. Egyes magasborsó-növények (a kertjében levőknek kb. az egyharmada) ugyancsak fajtiszták voltak, amelyek generációról generációra magasborsó-növényeket hoztak létre. A többinél azonban nem így volt. Az ezektől a magas növényektől származó magvak egy része magas, más része törpe növényeket eredményezett. Mindig kb. kétszer annyi volt a magas növény, mint a törpe. Láthatólag tehát kétféle magasborsó-növény fordult elő, az egyik fajtiszta, a másik nem fajtiszta.

Mendel ekkor egy lépéssel tovább ment. Törpe növényeket keresztezett fajtiszta magas növényekkel, és azt találta, hogy az így keletkező minden hibridmagból magas növény lesz. Úgy látszott, hogy a törpeség tulajdonsága eltűnt.

Most Mendel mindegyik hibridnövényt öntermékenyítette, és az ezekből származott magvakat vizsgálta. A hibridnövények közül egy sem bizonyult fajtisztának. Magvaiknak körülbelül egynegyedéből törpe növények lettek, egynegyedükből fajtiszta magas növények, és a megmaradt félből nem fajtiszta magas növények származtak.

Mendel ezt azzal próbálta magyarázni, hogy minden egyes borsónövény egy meghatározott jellegzetesség - mint amilyen a magasság - számára két tényezőt tartalmaz. A növény „férfi” része tartalmazza az egyiket, a „női” része pedig a másikat.

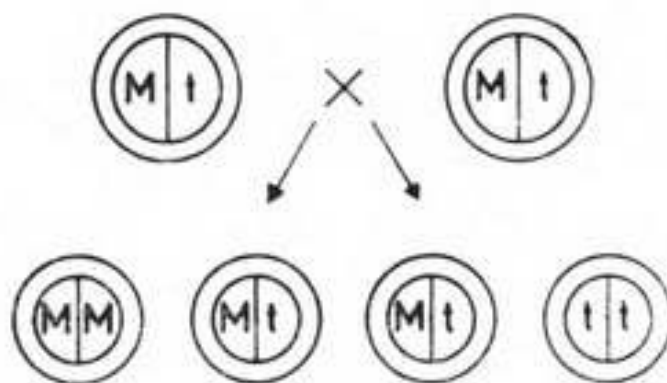
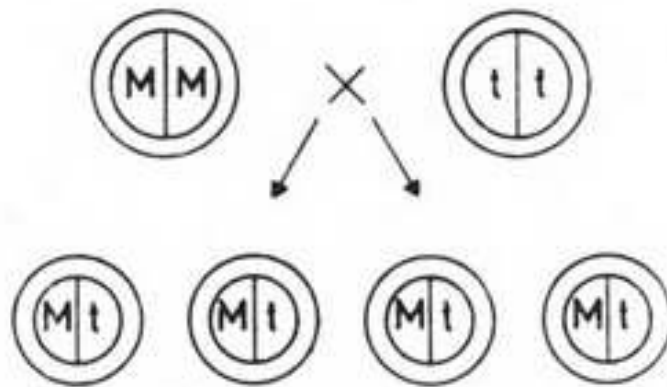


Mendel

A beporzáskor a két tényező egyesül, és az új generációkban mindkettő benne lesz (egy-egy mindegyik szülőtől, ha két növény keresztezése révén jöttek létre). A törpe növényeknek csak „törpe” tényezőik vannak, és ezek egyesülése, akár egymás közötti, akár öntermékenyítés útján, csak törpe növényeket eredményez. A fajtiszta magas növényeknek csak „magas” tényezőjük van, és azok egyesülése csak magas növényeket eredményez.

Ha fajtiszta magas növényt kereszteznek törpe növényvel, a „magas” tényezők a „törpe” tényezőkkel kombinálódnak, és a következő generációban hibridek keletkeznek. Ezek mind magasak lesznek, mivel a magasság az „uralkodó”, és a „törpe” tényező hatását elnyomja. A „törpe” tényező azonban még itt van, nem semmisült meg.

Ha ilyen hibrideket egymás közt porzunk be vagy önbeporzást végzünk, ezek nem bizonyulnak fajtisztáknak, mivel mind a két tényezővel rendelkeznek, amelyek különbözőképpen kombinálódhatnak, amit egyedül a véletlen határoz meg. Egy „magas” tényező egyesülhet egy másik „magas” tényezővel, hogy fajtiszta magas növényt eredményezzen. Ez az esetek egynegyedében történik meg. A „törpe” tényező egy másik „törpe” tényezővel egyesülhet, hogy törpe növényt hozzon létre. Ez ugyancsak az esetek egynegyedében fog megtörténni. Az esetek fennmaradó másik felében egy „magas” tényező egyesül egy „törpe” tényezővel vagy egy „törpe” tényező egy „magas” tényezővel, és így nem fajtiszta magas növények keletkeznek.



Mendel magas és törpe borsó növényekkel végzett kísérletének magyarázata rajzban. A felső ábra a fajtiszta magas növény keresztezése a törpe növényvel, amelyből hibrid (vagy nem fajtiszta) magas növények származnak. Alul: hibrid magas növények kereszteződése, amelyből fajtiszta magas növények, törpe növények és hibrid magas növények származnak 1:1:2 arányban

Mendel ezután hozzálátott annak a kimutatásához, hogy a magasságon kívül egyéb sajátosságok öröklődését is hasonlóképpen lehet megmagyarázni. Minden egyes sajátosságnál, amelyet tanulmányozott, két szélsőség keresztezése soha sem eredményezett egy közepszerű keveredést. Mindegyik szélsőség megőrizte azonosságát. Ha az egyik generációban az egyik eltűnt, a következőben újra megjelent.

Döntő fontosságú volt ez az evolúcióelmélet szempontjából (bár Mendel sohasem gondolt arra, hogy kísérletét erre az elméletre vonatkoztassa), mivel ez azt jelentette, hogy a fajokban az idők folyamán létrejövő véletlenszerű variációk végül is nem egyenlítődnek ki, hanem állandóan megjelennek, és újra megjelennek mindaddig, amíg a természetes kiválogatás teljesen ki nem használja őket.

Azok a jellemvonások, amelyek a véletlenszerűen elrendezett párosodások eredményeként jöttek létre, azért váltak „átlagossá”, mert az állattenyésztők és növénynevelők által esetenként megfigyelt jellemvonások tulajdonképpen számos jellemvonás kombinációi. A kombinációk összetevői egymástól függetlenül is öröklődhetnek, és bár mindegyikük „igen vagy nem” módon öröklődik, a pozitív és negatív esetek összessége együtt az átlagos jellemvonások képét adja.

Mendel felfedezései az eugenikára is vonatkoztak. Nem volt olyan egyszerű egy nemkívánatos jellemző tulajdonságot kiküszöbölni, amint azt egyesek elképzelhették. Lehet, hogy az egyik generációban nem jelentkezik, de a következőben mégis fel fog bukkanni. A szelektív tenyésztésnek szövevényesebbnek kell lennie, és hosszabb ideig kell tartania, mint ahogy azt Galton elképzelte.

Egyébként a világ minderről egyelőre nem szerzett tudomást. Mendel kísérleteinek eredményeit gondosan feljegyezte, de tudta, hogy ő csak ismeretlen amatőr, s így bölcsőbbnek vélte, ha egy jól ismert botanikus érdeklődését és támogatását megszerzi. Az 1860-as évek elején ezért tanulmányát elküldte Nágelinek. Nágeli elolvasta a tanulmányt, és hűvösen reagált rá. A borsónövények számlálásán alapuló elméletek nem voltak rá hatással. Többre becsülte a homályos és bőbeszédű miszticizmust, mint amilyen az ő ortogenezise is volt.

Mendel elkedvetlenedett. Tanulmányát 1866-ban közreadta, de kutatását nem folytatta. Műve ismeretlen maradt, senki sem figyelt fel rá. Megalapította azt, amit ma *genetikának* (az öröklődés mechanizmusának tanulmányozása) nevezünk, de ezt akkor sem ő, sem senki más még nem tudta.

Mutáció

A XIX. század második felében az evolúcióval kapcsolatban egy másik probléma is adódott. A fizika új felfedezéseinek eredményeképpen a Föld történetének időbeosztása egyik napról a másikra megváltozott. Az energiamegmaradás törvényének elfogadása után az a kérdés merült fel, honnan származik a Nap energiája. Abban az időben a radioaktivitásról és a nukleáris energiáról még semmit sem tudtak, és így a XIX. századi magyarázatok nem tették lehetővé, hogy a mai állapotában levő Nap élettartamát hosszabb időre tegyék, mint néhány tízmillió év.

Ez egyszerűen nem volt elég hosszú idő az evolúció számára, hogy a normális darwini módon végbemenjen, és egyes biológusok, mint Nägeli és Kölliker, azt szerették volna tudni, hogy az evolúció végbemehet-e ugrásszerűen. Bár a rövid időtartam feltételezése később tévesnek bizonyult, és kiderült, hogy nincsen okunk az evolúció rendelkezésére álló idővel fukarkodni, az ugrásszerű evolúció gondolata később gyümölcsözőnek bizonyult.

Egy holland botanikus, Hugo de Vries (1848-1935), aki egyike volt azoknak, akik az ugrásszerűen végbemenő evolúció gondolatával foglalkoztak, egyszer átment egy nagy réten, ahol amerikai ligetszépe (*Oenothera*) tenyésztett. Ezeket a növényeket nemrég vitték be Hollandiába, és de Vriesnek feltűnt, hogy a virágok közül egyesek, bár feltehetően ugyanattól az eredeti növénytől származtak, mint a többiek, külső formájukban mégis erősen elütnek tőlük.

Ezeket hazavitte saját kertjébe, külön tenyésztette őket, és lassan ugyanarra az eredményre jutott, amelyet Mendel egy generációval korábban már elért. Úgy találta, hogy az egyedi sajátosságok generációról generációra átmennek, anélkül, hogy keverednének és átmenetet alkotnának. S mi több, időközönként egy új növényváltozat jelenik meg, amely kifejezetten különbözik a többiektől, és ennek az új változatnak a tulajdonságai a következő nemzedékre is átöröklődnek. De Vries „mutációnak” nevezte el ezt a gyors változást (ez a szó latinul „változást” jelent), és felismerte azt a tényt, hogy itt, szemei előtt ugrásszerű evolúció ment végbe. (Valójában a ligetszépe esetében tapasztalt mutációtípus igen egyszerű volt, olyan, amely magukban az öröklődési tényezőkben nem jár tényleges változással. De csakhamar igazi mutációk tanulmányozására is sor került, amelyeknél ilyen változások végbemennek.)

Az ilyenfajta jelenségeket a pásztorok és a mezőgazdák, akik gyakran láttak már torzszülötteket vagy atípusos állatokat és növényeket, már rég ismerték. Néhány eltérő típust még hasznosítottak is. Például a rövidlábú juh (egy mutáció) Új-Angliában 1791-ben jelent meg. Mivel a lába rövid volt ahhoz, hogy akár az alacsony sövényt is átugorja, ezért hasznos volt, tenyésztették és fenntartották. A pásztorok azonban rendszerint nem vonnak le megfigyeléseikből elméleti következtetéseket, a tudósok pedig rendszerint nem őriznek nyájat.

A jelenség és a tudós végül is találkozott de Vries esetében. Amikor 1900-ban arra készülődött, hogy felfedezését közzétegye, a tárgyról írt korábbi munkák átnézése közben csodálkozó szemmel fedezte fel Mendel 34 éves tanulmányait.

De Vries tudta nélkül és egymást nem ismerve, két másik botanikus, a német Carl Erich Correns (1864-1933) és az osztrák Erik von Tschermak-Seysenegg (1871-) ugyanabban az évben de Vrieséhez igen hasonló következtetésekre jutott. Mindkettő átnézte a tárgyról írt korábbi munkákat, és ráakadtak Mendel tanulmányára.

1900-ban mind a hárman: de Vries, Correns és Tschermak-Seysenegg közzétették munkájukat, mindegyik hivatkozott Mendel munkájára, és saját munkájukat egyszerűen annak alátámasztásaként adták elő. Ez a magyarázata annak, hogy az öröklődés Mendel-féle törvényeiről beszélünk. Ez a törvény, a de Vries által felfedezett mutációval együtt, leírja azt a módot, ahogy a változatok keletkeznek és fennmaradnak. Ily módon sikerült kiküszöbölni Darwin eredeti elméletének a hiányosságait.

A kromoszómák

A Mendel-féle törvények 1900-ban jelentősebbek voltak, mint 1866-ban, mivel időközben a tudósok fontos új felfedezéseket tettek a sejtekkel kapcsolatban.

Akik a XVIII. században és a XIX. század elején vizsgálták a sejteket, nem láttak sokat - még a javított mikroszkópokkal sem. A sejt, és ugyanígy a belsejében levő anyag is, gyakorlatilag átlátszó test volt. Ennek következtében többé-kevésbé jellegtelen foltnak tűnt, amelynek leírásánál a biológusok megelégedtek a nagysággal és a formával, s ennél többet nem mondtak. Egyesek esetleg utaltak arra, hogy van benne egy sűrűbb rész (ma „sejtmagnak” nevezzük) közel a közepéhez, de hogy ez a sejtek szabályszerű tulajdonsága, azt elsőnek Robert Brown (1773-1858) skót botanikus ismerte fel, aki ezt a megállapítását 1831-ben tette.

Hét évvel később, amikor Schleiden kifejtette sejtelméletét, nagy fontosságot tulajdonított a sejtmagnak. Úgy vélte, hogy a sejt szaporodásával áll kapcsolatban, és az új sejtek a mag felületén sarjadzanak ki. Nägeli 1846-ban kimutatta, hogy ez téves. De Schleiden megérzése nem volt teljesen hibás: a magnak van szerepe a sejt szaporodásában. A részletekre vonatkozó ismeretekre azonban várni kellett, míg ki nem alakult egy új technika, amellyel a sejt belseje láthatóvá tehető.

A szerves vegyészet útján született meg az új technika. Berthelot útmutatását követve, a szerves vegyészek gyorsan megtanulták, hogyan állítsanak elő olyan szerves vegyületeket, amelyek a természetben nem léteznek. Ezek közül soknak élénk színe volt, és valóban, az 1850-es években már megindult a szintetikus festékipar fejlődése.

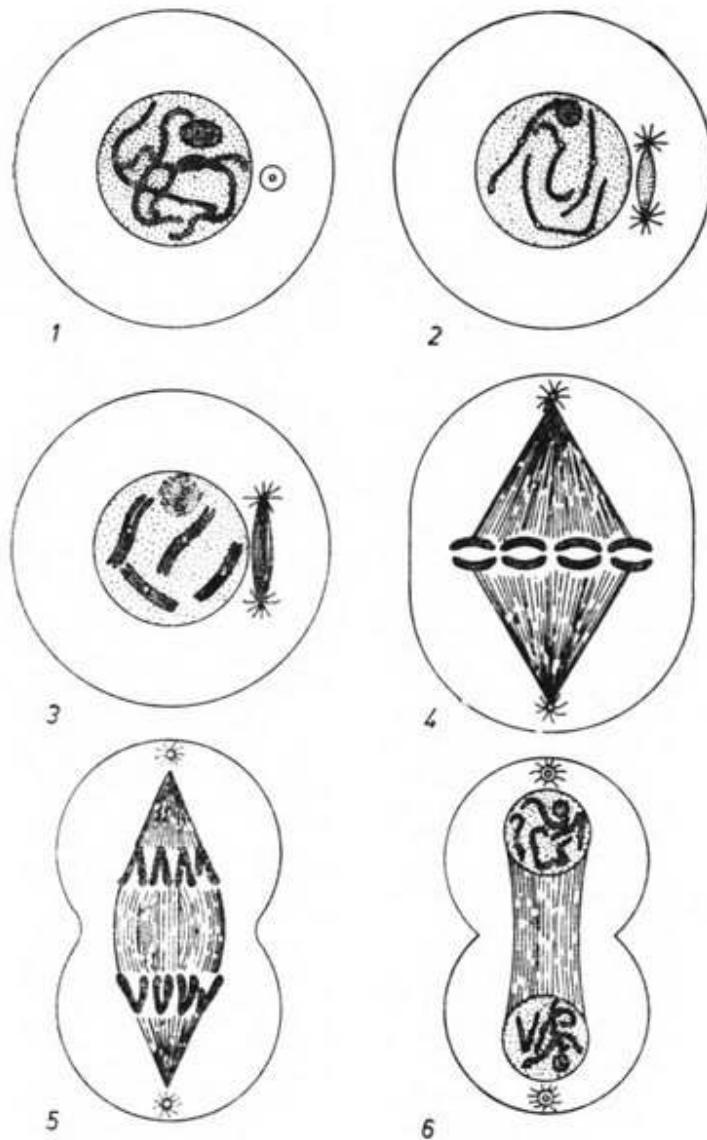
Ha tehát a sejt belseje heterogén, akkor bizonyára lehetséges, hogy valamely része egy meghatározott vegyszerrel reakcióba lépjen és azt megkösse, ugyanakkor azonban egyéb részei ne reagáljanak. Ha a vegyszer festék, az eredmény az lesz, hogy a sejtek bizonyos részei megfestődnek, míg a többi szintelen marad. Hála az ilyen „festékeknek”, sok olyan részlet, amely azelőtt láthatatlan volt, most láthatóvá vált.

Sok biológus kísérletezett ily módon, és egyikük, Walther Flemming (1843-1905) német citológus kimagasló eredményeket ért el. Flemming állati sejteket tanulmányozott, és azt találta, hogy a sejtmagon belül szétszórtan olyan anyag helyezkedik el, amely erősen köti azt a festékanyagot, amellyel dolgozott. Ezek élénken kiváltak a szintelen háttérből. Flemming ezt a festéket kötő anyagot „kromatinnak” nevezte el (khromosz - görög szó, színt jelent).

Amikor Flemming a növekvő szövet egyik metszetét megfestette, természetesen megölte a sejteket, de mindegyiket az osztódás valamilyen stádiumában kapta el. Flemming az 1870-es években nyomon tudta követni a kromatinanyagban azokat a változásokat, amelyek a sejtosztódást kísérik.

Flemming úgy találta, hogy amint az osztódás elkezdődik, a kromatin rövid fonalszerű képződményekké sűrűsödik. Ezeket később kromoszómáknak nevezték el („színes testek”). Mivel ezek a fonalszerű kromoszómák annyira jellemző vonásai a sejtosztódásnak, Flemming a folyamatot „mitózis”-nak nevezte el (a „fonalat” jelentő görög szóból).

Egy másik változás, amely a sejtosztódás kezdetét kíséri, a sejtközpontot vagy asztért érinti (görög szó, csillagot jelent). Ezt a nevet azért kapta, mivel kis pontszerű tárgy, melyet sugárszerűen finom fonalak vesznek körül, úgy, ahogy a csillagot rajzolni szokták. A sejtközpont kettéválik, és a sejt két ellentétes oldalára vándorol. A finom sugarak, amelyek az egyik csillagtól a másikig nyúlnak, úgy látszik, mintha átszönnék a sejt közepén csoportosuló kromoszómákat is.



A sejtosztódás stádiumai. 1. A magban az osztódás első lépésében kromoszómák képződnek. 2. A kromoszómák két azonos félre kezdenek széthasadni, és a sejtközpont (kis fehér kör a magon kívül) a sejt szemben levő oldalai felé terjed. 3. A kromoszómák kettéváltak, de középen összefüggnek. 4. A kromoszómák egy sorban állnak, és a sejtközpontok az ellentétes sarkokhoz vándorolnak. 5. A sejtközpontok széthúzzák a kromoszómákat. 6. A sejt elkezd megnyúlni, és végül két új egyforma sejt képződik, mindegyiknek van saját sejtmagja és ugyanannyi kromatinja, mint az anyasejtnek volt az osztódás első stádiumában

A sejtosztódás döntő pillanatában mindegyik kromoszóma replikálódik, azaz létrehozza saját mását. A két kromoszóma azután szétválak, a kettő közül az egyik kromoszóma a sejt egyik végébe, a másik a sejt másik végébe megy. A sejt ezután kettéoszlik, miközben közepén egy új hártya képződik. Ahol korábban egy sejt volt, ott most két leány sejt van (a kromoszómák megkettőződése következtében), s mindegyiknek ugyanannyi kromatinanyaga van, amennyi eredetileg az anyasejtben volt. Flemming ezt a felfedezését 1882-ben publikálta.

A kutatást Eduard van Beneden (1846-1910) belga citológus folytatta. 1887-ben két fontos körülményt állapított meg a kromoszómákról. Először kimutatta azt, hogy egy szervezet különböző sejtjeiben számuk állandó, és úgy látszik, hogy minden egyes fajnak bizonyos számú kromoszómája van, amely az adott fajra jellemző. (Most például már tudjuk, hogy minden emberi sejtben negyvenhat kromoszóma van.)

Van Beneden azt is felfedezte, hogy az ivarsejtek, tehát a petesejt és a spermiumok képződése során a sejtosztódás folyamatában a kromoszómák osztódását *nem* előzi meg a replikálódás. Minden egyes pete- és spermasejtben tehát a szokásos kromoszómaszámnak a fele van.

Amikor de Vries felfedezte Mendel munkáját, egyszerre világossá vált a kromoszómák szerepe. Walter S. Sutton (1876-1916) amerikai citológus 1902-ben kimutatta, hogy a kromoszómák a Mendel-féle öröklési tényezők mintájára viselkednek. Mindegyik sejt meghatározott számú kromoszómával bír. Ezek a hordozói annak a képességnek, amelyik, sejtről sejtre átmenve, megteremti a fizikai jellegzetességeket, mivel minden sejtosztódásnál a kromoszómák gondosan megtartják számukat, mindegyik kromoszóma a saját maga mását hozza létre az új sejt számára.

Amikor egy petesejt (vagy egy spermasejt) képződik, mindegyik a rendes kromoszómaszámnak csak a felét kapja (minden párból egyet). Amikor a spermium és a pete egyesülése útján megtermékenyített petesejt képződik, a kromoszómáknak a fajra jellemző száma ismét helyreáll. Amint a megtermékenyített petesejt osztódik, és újra osztódik, hogy egy független élő szervezetet hozzon létre, a kromoszómák számukat ismét gondosan megtartják. Ámde az új szervezetben levő minden kromoszómából az egyik a petesejt révén az anyából, míg a másik a spermium révén az apából származik. A kromoszómáknak ez a keveredése minden egyes generációnál oda hat, hogy azokat a recesszív jellemvonásokat, amelyeket korábban egy domináns jelleg elnyomott, újra a felszínre hozza. A folytonos új kombinációk a jellemző vonások újabb és újabb variációit hozzák létre, amelyeket aztán a természetes kiválasztódás ki tud használni.

A XX. század elején úgy tűnt, hogy az evolúcióelmélet és a genetika bizonyos fokig elérte a tetőpontját. Mindez azonban csak előjáték volt az új és még meglepőbb fejleményekhez.

VIII. fejezet

A vitalizmus bukása

Bár Darwin elmélete, amely a fejlődést a természetes kiválasztódással magyarázta, homlokegyenest ellenkezett az emberiség számos meggyökeresedett nézetével, mégis, helyesen szemlélve, még csodálatosabb színben tüntette fel az életet. Az igen egyszerű kezdettől fogva az élet vég nélkül harcol a környezet nyomásával, miközben egyre bonyolultabbá válik. Az életben semmi sincs, ami összehasonlítható volna az élettelen világ változatlanságával. Hegyek ma is keletkezhetnek, de évezredekkel korábban is voltak hegyek, az élet ezzel szemben örökké új, örökké más.

A darwini elmélet tehát az első pillanatban úgy fogható fel, hogy alátámasztja a vitalizmust, amely az ember szemléletében az élő és az élettelen közé gátat emel. S valóban, a XIX. század második felében a vitalizmus népszerűségének új csúcspontjára emelkedett.

A XIX. század vitalizmusa számára a veszélyt a szerves vegyészet fejlődése jelentette. A vitalisták azonban ez ellen védőpajzsként a fehérjemolekulát emelték, és ez a pajzs szilárdan állt majdnem a XIX. század végéig. A XIX. század biokémiája igen nagy figyelmet szentelt a fehérjemolekulának.

A fehérje jelentőségét az élet szempontjából elsőként Francois Magendie (1783-1855) francia fiziológus világította meg a maga teljességében. A napóleoni háborúk okozta gazdasági zavarok miatt kevés volt az élelem, és a szegények helyzete a szokottnál is rosszabbá vált. A kormány ebben a helyzetben, Magendie-vel az élen egy bizottságot nevezett ki annak a kérdésnek a kivizsgálására, vajon lehetne-e valamiből olyan tápláló ételt készíteni, amely olcsó és annyira hozzáférhető, mint a zselatin.

Magendie 1816-ban kutyákat tartott fehérjementes étrenden, amelyben csak cukor, olívaolaj és víz volt. Az állatok éhen pusztultak. Kiderült, hogy a kalória egymagában nem volt elég, a fehérje az étrend nélkülözhetetlen eleme. Továbbá, táplálkozási célra nem minden fehérje egyformán alkalmas. A kutyák akkor is kimúltak, ha csak a zselatin volt az egyetlen fehérje az étrendben. így jött létre a táplálkozás modern tudománya, amely az étrendnek az étellel és az egészséggel való összefüggését vizsgálja.



Liebig

A fehérjék abban különböznek a szénhidrátoktól és a lipidektől, hogy az előbbieken van, az utóbbiakban pedig nincs nitrogén. Jean-Baptiste Boussingault (1802-1887) francia vegyész az 1840-es években látott hozzá a növények nitrogénszükségletének a tanulmányozásához. Azt találta, hogy egyes növények, például a hüvelyesek, mint a borsó, bab stb., jól termeszthetők

nitrogénmentes földben, nitrogénmentes vízzel való öntözés mellett. Nemcsak fejlődnek, hanem nitrogéntartalmuk állandóan növekszik. Az egyetlen következtetés, amelyet levonhatott, az volt, hogy ezek a növények a nitrogént a levegőből nyerik. (Ma már tudjuk, hogy nem a növények maguk játszanak ebben szerepet, hanem a gyökércsomókban tenyésző „nitrogényűjtő” baktériumok bizonyos törzsei végzik el ezt a munkát.)

Boussingault azonban tovább ment, és kimutatta, hogy az állatok nem képesek nitrogént felvenni a levegőből, hanem csak a táplálékból. Magendie inkább kvalitatív jellegű vizsgálatait továbbfejlesztette egyes ételek nitrogéntartalmának elemzésével és a növekedés ütemének a nitrogéntartalommal való összehasonlításával. Közvetlen összefüggést talált abban az esetben, amikor csak egyetlen tápanyag szolgált nitrogénforrással. Bizonyos ételek azonban adott nitrogéntartalom mellett nagyobb hatással voltak a növekedésre, mint mások. Ennek oka rejtve maradt a század végéig, de Boussingault 1844-re, kizárólag tapasztalati alapon, felmérhette a különböző élelmiszerek mint „fehérjeforrások” viszonylagos értékét.

Justus von Liebig (1803-1873) német vegyész folytatta ezt a munkát, és a következő évtizedben részletes felsorolást készített. Liebig erősen vonzódott a mechanisztikus nézethez, és ezt a szempontot alkalmazta a mezőgazdaság problémáira. Úgy vélte, hogy éveken át folytatott művelés után a föld termékenységének csökkenése azért következik be, mert bizonyos ásványi anyagok, amelyek a növénytermesztéshez szükségesek, fokozatosan elhasználódnak. A növényi szövetek kis mennyiségben tartalmaznak nátriumot, káliumot, kalciumot és foszfort. Ezeknek a talajban levő oldható vegyületekből kell eredniük, amelyeket a növények fel tudtak venni. Emberemlékezet óta az volt a szokás, hogy állati trágyával tartották fenn a talaj termékenységét, de Liebig számára ez nem jelentette azt, hogy valami „vitálist” adtak volna a földnek, hanem csupán annyit, hogy azt az ásványi anyagot adták vissza, amit a földből kivettek. Nos hát akkor, miért ne adják magukat a szagtalan, tiszta ásványi anyagokat, hogy ezzel feleslegessé váljék az állati trágya alkalmazása?

Liebig volt az első, aki műtrágyákkal kísérletezett. Termékeivel először kudarcot vallott, mivel túlságosan is megbízott Boussingault megállapításában, amely szerint egyes növények a nitrogént a levegőből szerzik. Amikor Liebig rájött, hogy a legtöbb növény végül is a nitrogént a földben levő oldható nitrogénvegyületekből („nitrátokból”) nyeri, ezeket is hozzáadta keverékéhez, és így igen hasznos trágyát állított elő. Ők ketten, Boussingault és Liebig alapították meg az *agrokémiát*.

A kalóriamérés

Liebig mint a mechanista felfogás híve, meg volt győződve arról, hogy a szénhidrátok és a lipidek a test számára éppen olyan tüzelőanyagok, mintha - mondjuk - egy kazánt fűtenének velük. Ez a nézet haladást mutatott Lavoisier fél évszázaddal korábbi nézeteivel szemben. Míg Lavoisier a maga korában csak szénről és hidrogénről beszélhetett, a kutatók ekkor már pontosabban meghatározhatták a szénből, hidrogénből (ezenkívül oxigénből) felépített szénhidrátokat és lipideket.

Liebig felfogása természetesen előmozdította azt a törekvést, hogy kimutassák, vajon ettől a

tüzelőanyagtól a testben ugyanakkora hőmennyiséget kapunk-e, mint akkor kapnánk, ha a szénhidrátokat és a zsírokat a szokásos módon egyszerűen a testen kívül égetnénk el. Lavoisier kezdetleges kísérletei már utaltak arra, hogy a kérdésre a válasz „igen” volna, de azóta fejlődött a technika, és így a kérdést alaposabban meg kellett vizsgálni.

Az 1860-as években műszereket fejlesztettek ki a szerves vegyületek elégetésekor felszabaduló hő mérésére. Berthelot ilyen reakciók százai által termelt hőt mért meg ilyen műszerrel (kaloriméter). Abban a kaloriméterben, amelyet Berthelot használt, az elégetendő anyagot zárt kamrában oxigénatmoszférába helyezik, és elektromos árammal felizzított drót segítségével felrobbantják. A kamrát vízfürdő veszi körül. A víz az égés során keletkezett hőt átveszi, és a víz hőmérsékletének emelkedéséből meg lehet határozni a keletkezett hőmennyiséget.

Az élő szervezetek által termelt hő mérésére olyan nagy kalorimétert kell építeni, amelyben azok elférnek. A szervezet által fogyasztott oxigénmennyiség, valamint a termelt széndioxid-mennyiség alapján ki lehet számítani az „elégett” szénhidrát és a lipid mennyiségét. A termelt testmeleget ugyancsak a körülvevő vízburkolat hőmérsékletének emelkedéséből lehet meghatározni. Ez a hőmennyiség azután összehasonlítható azzal a hőmennyiséggel, amelyet ugyanolyan mennyiségű szénhidrát és lipid testen kívüli, szabályos elégetésével nyertek volna.

Karl von Voit (1831-1908) német fiziológus, Liebig tanítványa egy német vegyészrel, Max von Pettenkoferrel (1818-1901) együtt olyan kalorimétert tervezett, amely elég nagy volt állatok, sőt emberi lények befogadására is. Az általuk végzett mérések nagyon valószínűvé tették, hogy az élő szövetnek nincs más végső energiaforrása, mint ami az élettelen világban is rendelkezésre áll.

Voit tanítványa, Max Rubner (1854-1932) folytatta az ilyen irányú vizsgálatokat, és minden további kétséget eloszlatott. Megmérte a vizelet és az ürülék nitrogéntartalmát, és gondosan elemezte a kísérleti alany által elfogyasztott táplálékot, és így mind a fehérjékre, mind a szénhidrátokra és lipidekre vonatkozóan következtetéseket tudott levonni. 1884-re ki tudta mutatni, hogy a testnek nem a szénhidrátok és a lipidek az egyedüli fűtőanyagai. A fehérjemolekulák is szolgálhatnak fűtőanyagul, azután, hogy nitrogént tartalmazó részük leszakadt. Figyelembe véve a fehérjét, mint fűtőanyagot, Rubner sokkal pontosabbá tette méréseit. 1894-ben kimutatta, hogy a test a tápanyagokból pontosan annyi energiát termel, mint amennyit akkor kapnánk, ha ugyanazt az ételmiszer-mennyiséget elégetnénk (ha a vizelet és az ürülék energiátartalmát is tekintetbe vesszük). Az energia megmaradásának a törvénye az élő világra is éppen úgy érvényes, mint az élettelen világra, és - legalábbis ebben a vonatkozásban - nincs hely a vitalizmus számára.

Ezeket az új méréseket az orvostudomány is hasznosította. Egy német fiziológus, Adolf Magnus-Levy (1865-1955) 1893-tól kezdve mérte az emberben az energiatermelés minimális sebességét („alapanyagcsere sebessége” angolul: „basal metabolic rate” vagy „BMR”), és lényeges változásokat talált a pajzsmirigy megbetegedések eseteiben. A BMR mérése ennek alapján fontos diagnosztikai eszköz lett.

Az erjedés

A kalorimetria fejlődése a XIX. század második felében érintetlenül hagyta azonban a vitalizmus magvát. Az anyagok között a tudósok egy része továbbra is áthághatatlan határt húzott, majd amikor a szerves és a szervetlen anyagok közötti különbség tovább már nem volt fenntartható, a fehérje és a nem fehérje anyagok közti különbséget hangsúlyozták.

Eszerint lehet, hogy az igénybe vehető energia ugyanaz az élő és az élettelen számára, de biztosan van egy áthághatatlan határ az ilyen energia felhasználási módszerei között.

A testen kívül az égést nagy hőfelszabadulás és fényjelenség kíséri. Az égés intenzíven és gyorsan megy végbe. A tápanyagok égése a testen belül viszont nem ad fényt, és a termelt hő is kevés. A test hőmérséklete alacsony szinten (37 °C-on) marad, és az égés benne lassú, tökéletes szabályozás mellett folyik. Amikor a vegyész megpróbálta utánozni az élő szövetre jellemző kémiai reakciókat, rendszerint kénytelen volt drasztikus eszközökhöz: magas hőmérséklethez, elektromos áramhoz, erős hatású vegyszerekhez folyamodni. Az élő szövetnek ezek közül egyikre sincs szüksége.

Vajon ez nem alapvető különbség?

Liebig azt állította, hogy nem, és példaképpen az erjedésre utalt. Az emberiség ősidők óta erjeszti a gyümölcsleveket, hogy bort csináljon, és áztatja a gabonamagot, hogy sört főzzön. „Kovácszt” vagy élesztőt használ ahhoz, hogy a tésztát lyukacsosra megkelessze, és így puha, ízletes kenyeret süssön.

Ezekben a változásokban szerves anyagok vesznek részt. Cukor vagy keményítő alakul át alkohollá, és ez hasonlít azokhoz a vegyi reakciókhoz, amelyek az élő szövetben mennek végbe. Mégis, az erjedésben nem szerepelnek erős hatású vegyszerek vagy drasztikus eszközök; szobahőmérsékleten megy végbe, lassú, nyugodt módon. Liebig azt állította, hogy az erjedés tisztán vegyi folyamat, amelyhez az életnek semmi köze. Ez - úgymond - a változásnak olyan példája, amely életszerűen, mégis élet nélkül megy végbe.

Az biztos, hogy van Leeuwenhoek óta úgy tudták, az élesztő apró golyócskákból áll. A golyócskák az élet semmiféle jelét nem mutatták, de 1836-ban és 1837-ben több biológus, köztük Schwann is, ellesték azt a pillanatot, amikor a golyócskák sarjadással szaporodtak. Új golyócskák keletkeztek, és ez biztos jele volt az életnek. A biológusok élesztősejtekről kezdtek beszélni. Liebig azonban ezt nem tartotta helyesnek. Nem ismerte el, hogy az élesztő élőlény volna.

Louis Pasteur (1822-1895) francia vegyész felvette a kesztyűt a félelmetes Liebiggel szemben. 1856-ban a francia bortermelés vezetői tanácskozássra hívták meg őt. A bor és a sör állás közben gyakran megsavanyodott, és ennek következtében milliós károk keletkeztek. Nincs itt valami, amit a vegyész megoldhatna?

Pasteur a mikroszkóphoz fordult. Úgyszólván azonnal rájött, hogy amikor a bor és a sör kellően érett, a folyadékban apró, gömbölyű élesztősejtek vannak. Amikor a bor és a sör megsavanyodott, a jelenlevő élesztősejtek megnyúltak. Nyilvánvalóan kétféle típusú élesztő van: az egyik, amelyik az alkoholt hozza létre, a másik, amelyik lassan megsavanyítja a bort. A bor enyhe melegítése megöli az élesztősejteket, és megállítja a folyamatot. Ha ezt a megfelelő időpontban, az alkohol képződése után végzik, de még mielőtt a savanyodás megindulna, akkor minden rendben lesz.

Valóban, a feltevés helyesnek bizonyult.



Pasteur

Pasteur a leírt folyamattal kapcsolatban két dologra mutatott rá. Először arra, hogy az élesztősejtek *élnek*, mivel az enyhe melegítés tönkreteszi erjesztőképességüket. A melegítés után a sejtek még megvannak, egyedül a bennük rejlő élet pusztult el. Másodszor pedig arra, hogy csak az élő élesztősejtek képesek erjedést előidézni, az elpusztultak nem. A Liebig és Pasteur

között lefolyt vita Pasteur és a vitalizmus nyilvánvaló győzelmével végződött.

Pasteur ezek után végrehajtotta híres, az ősnemzéssel kapcsolatos kísérletét. Ez olyan kérdés volt, amelyben Spallanzani ideje óta megszilárdult a vitalisták álláspontja. A Bibliának az ősnemzésre vonatkozó utalásai már veszítettek hitelükből, és éppen az egyházi vezetők voltak azok, akik szívesen látták az ősnemzés cáfolatát, mivel így az élet létrejöttét egyedül Istennek lehetett volna tulajdonítani. A XIX. század közepének mechanistái voltak azok, akik - néha szenvedélyesen - támogatták az ősnemzés gondolatát.

Spallanzani kimutatta, hogyha a húslevest sterilizálják, majd lezárva, minden fertőzéstől megvédik, akkor abban az életnek semmiféle formája nem fejlődik ki. Akik abban az időben más véleményen voltak, azt mondták erre, hogy a hő a zárt térben a levegőben levő „életelvet” semmisítette meg. Ezért Pasteur olyan kísérletet tervezett, amelyben a húsleves rendes, nem hevített levegőben marad.

Pasteur 1860-ban húslevest forralt és csírátlanitott, majd szabadon hagyta a levegő számára, oly módon, hogy az üveglombik nyakára egy vékony S alakban meghajlított nyitott üvegesövet illesztett. Így a nem melegített levegő szabadon áramolhatott be, de minden porszemecske az S alak fenekére üledett, és nem került be az edénybe.

Ilyen körülmények között a húslevesben az életnek, az organizmusoknak nyoma sem mutatkozott, de ha a lombik nyakát szabaddá tette, nyomban bekövetkezett a fertőződés. Szó sincs tehát a hevített és nem hevített levegő különbségéről, elpusztított vagy el nem pusztított „életelvről”. Minden a porszemeken múlik, amelyek között vannak lebegő mikroorganizmusok. Ha ezek beleesnek a levesbe, növekedni és szaporodni kezdenek. Ha nem esnek bele, erre nem kerül sor.

Rudolf Virchow ehhez hozzáadta saját megfigyeléseinek az eredményét. Az 1850-es években behatóan tanulmányozta a beteg szöveteket (és ezért őt tekintik a beteg szövetekkel foglalkozó *patológia* vagy *kórtan* modern tudománya megalapítójának), és kimutatta, hogy a sejtelmélet ezekre éppen úgy alkalmazható, mint a normális szövetekre.

A kóros szövetek sejtjei - mondta - a rendes szövet normális sejtjeiből származnak. Nem lehet szó hirtelen törésről vagy a folytonosság megszakadásáról, sem arról, hogy a rendellenes sejtek a semmiből keletkeztek. Virchow 1855-ben a sejtelmélet értelmezését tömör latin mondással jellemezte, amelyet így lehet lefordítani: „Minden sejt sejtől keletkezik”.

Virchow és Pasteur együttesen nyilvánvalóvá tették, hogy minden sejt, legyen az független organizmus vagy egy soksejtű szervezet része, feltételezi egy őt megelőző sejt létét. Az élő és élettelen elválasztó fal még sohasem látszott ilyen áthághatatlannak.

Az enzimek

Ha azonban az élet formái végre tudnak hajtani olyan vegyi folyamatokat, amelyek nem mehetnek végbe az élettelen természetben, akkor ezt valamilyen anyagi eszköz segítségével kell

tenniük (hacsak nem akarunk a természetfölöttihez folyamodni, amit a XIX. század tudósai nem akartak megtenni). Lassanként kibontakozott ennek az anyagi eszköznek a jellege. Már a XVIII. század vegyészei észlelték, hogy olykor egy kémiai reakciót siettetni lehet valamilyen anyag hozzáadásával, amely, minden látszat szerint, nem vesz részt a reakcióban. Az effajta megfigyelések egyre szaporodtak, és a XIX. század elején már komolyan magukra vonták a figyelmet.

Egy orosz vegyész, Gottlib Szigismund Kirhgof (1764-1833) 1812-ben kimutatta, hogyha keményítőt híg savval főznek, a keményítő lebomlik egy egyszerű cukorra, glukózzá. Ez nem következik be akkor, ha a sav nincs jelen, és mégis úgy látszott, hogy maga a sav nem vesz részt a reakcióban, mivel a lebomlás folyamán mennyisége változatlan maradt. Négy évvel később egy angol vegyész, Humphry Davy (1778-1827) azt találta, hogy a platina drót vagy tapló elősegíti különböző szerves gőzök - mint amilyen az alkohol - és az oxigén egyesülését közönséges hőmérsékleten. Biztosnak látszott, hogy a platina nem vesz részt a reakcióban.

Ezek és más példák felkeltették Berzelius figyelmét, aki e tárgyról 1836-ban írt, és azt javasolta, nevezzék a jelenséget „katalízisnek”. Ez a név görög eredetű, és azt jelenti „lebomlani”; valószínűleg a keményítőnek sav által katalizált lebomlására utal.

Az alkohol rendes körülmények között csak úgy ég el az oxigénben, ha lobbanásos hőmérsékletre hevítik. Platina-katalizátor jelenlétében azonban ugyanez a reakció előzetes hevítés nélkül is végbemegy. Feltehető volt tehát, hogy ugyanúgy, mint ahogy itt történik, a vegyi folyamatok az élő szövetben igen enyhe körülmények között mennek végbe, mivel a szövetben bizonyos katalizátorok vannak, amelyek nincsenek jelen az élettelen világban.

Valóban, 1833-ban, nem sokkal Berzelius említett munkájának megjelenése előtt, Anselme Payen (1795-1871) francia vegyész csíráztatott árpából olyan anyagot vont ki, amely még jobban bontotta le a keményítőt cukorra, mint a sav. Ezt elnevezte „diasztáznak”. A diasztázt és más hasonló anyagokat nevezték el „fermenteknek”, mivel a gabonamag erjesztése (fermentálása) során az egyik első esemény a keményítő cukorra való átalakulása.

Erjesztőanyagokat csakhamar állati szervezetekből is nyertek. Ezek közül az elsőt az emésztőnedvből kapták. Réaumur mutatta ki, hogy az emésztés vegyi folyamat, és 1824-ben William Prout a gyomornedvekből elkülönítette a sósavat. A sósav szerves anyag, ezért Prout felfedezése általános meglepetést keltett a vegyészek között. Schwann, a sejtelmélet egyik megalapítója azonban a gyomornedvből egy olyan kivonatot állított elő, amely nem sósav volt, de a húst még a savnál is hatékonyabban bontotta le. Ez az anyag, amelyet Schwann „pepszinnek” nevezett el (görög szóból származik, s azt jelenti: emésztetni), volt az igazi erjesztőanyag.

A kutatók egyre több fermentet fedeztek fel, és a XIX. század második felében teljesen nyilvánvalóvá vált, hogy ezek az élő szövetre jellemző katalizátorok. A katalízis az, amely lehetővé teszi a szervezet számára, hogy elvégezze azt, amit a vegyészek nem tudtak megtenni. A fehérjék megmaradtak a vitalisták számára védőpajzsok, mivel sok ok volt annak feltevésére, hogy ezek az erjesztőanyagok fehérjetermészetűek (bár ezt véglegesen a XX. századig nem bizonyították be).

A vitalista álláspontra nagy megpróbáltatást jelentett, hogy egyes erjesztőanyagok éppen olyan

jól működtek a sejten kívül, mint a sejten belül. Az emésztőnedvekből izolált anyagok emésztőmunkájukat nagyon jól elvégezték egy kémcsőben is. Feltehető volt, hogyha az összes erjesztőanyagokból rendelkeznék mintával, akkor az élő szervezetekben végbemenő bármelyik vegyi reakciót meg lehetne ismételni a kémcsőben, mégpedig az élő közreműködése nélkül, mivel maguk az erjesztőanyagok (legalábbis azok, amelyeket vizsgáltak) kétségtelenül nem voltak élők. Sőt, mi több, az erjesztőanyagok ugyanazokat a szabályokat követték, amelyeknek a szerves katalizátorok engedelmessé váltak, pl. a savak vagy a platina.

A vitalisták ezután azt mondták, hogy az emésztőnedvekből nyert fermentumok munkájukat a sejteken kívül végzik. Az emésztőnedvet, amely a belekbe ömlik, éppen úgy egy kémcsőbe is be lehet tölteni. Más dolog az, amikor az erjesztőanyag a sejten belül marad, és munkáját *csak* a sejten belül végzi. Ezt a munkáját - hangoztatták a vitalisták - a vegyészek nem tudják megragadni.

A fermenteket két osztályba sorolták: „nem szervült erjesztők”, vagyis azok, amelyek sejten kívül hatnak, mint a pepszin, és „szervült erjesztők”, amelyek csak a sejten belül hatnak, mint azok, amelyek képessé teszik az élesztőt, hogy a cukrot átalakítsa alkohollá.

Wilhelm Kühne (1837-1900) német fiziológus 1876-ban azt javasolta, hogy a ferment szót tartsák fenn ama folyamatok számára, amelyekhez szükség van életre. Azokat az erjesztőanyagokat, amelyek a sejten kívül tudnak működni, nevezzék „enzimeknek” (görög szóból származik, és azt jelenti: „élesztőben”), mivel ezek működésükben az élesztőben levő fermentekre hasonlítanak.

Eduard Buchner (1860-1917) német vegyész 1897-ben ebben a vonatkozásban az egész vitalista álláspontot váratlanul felborította. Élesztősejteket dörzsölt homokkal, mindaddig, amíg egy sejt sem maradt épen, ezután a megőrölt anyagból szűrletet készített, és így sejtmentes élesztőnedvet nyert. Azt várta, hogy ennek a nedvnek nem lesz meg az erjesztőképessége, amellyel az élő élesztősejtek rendelkeznek. A nedvet azonban meg kellett óvni a mikroorganizmusokkal való szennyeződéstől, mert különben a nedvben mégis lesz élő sejt, és a kísérlet nem sikerül.

Az anyagok mikroorganizmusokkal való szennyeződésének megelőzésére régi módszer volt, hogy tömény cukoroldatot adtak hozzájuk. Buchner is így járt el, és csodálkozva látta, hogy a cukor lassan elkezd erjedni, bár a keverékben biztosan nem volt semmiféle élő. Tovább kísérletezett, alkohollal elölte az élesztősejteket, és azt tapasztalta, hogy az elpusztult sejtek a cukrot éppen úgy erjesztik, mint az élők.

A tudósok a XIX. század végére felismerték, hogy minden ferment, akár szervült, akár nem szervült, olyan holt anyag, amelyet el lehet választani a sejtektől, és hatását kémcsőben is kifejti. Az enzim nevet egyformán alkalmazták minden erjesztőanyagra, így tehát elfogadták, hogy a sejten belül nincs olyan vegyi anyag, amely csak valamilyen életerő jelenlétében képes működni.

Pasteurnak az a mondása, hogy élet nélkül nem lehet erjedés, csak olyan helyzetekre illett, amelyek a természetben fordulnak elő. Az emberi beavatkozás az élesztősejtet úgy tudja kezelni, hogy bár a sejt és annak élete tönkremegy, de a benne levő enzimek érintetlenek maradnak, és így az erjedési folyamatot el lehet indítani élet nélkül is.

Ez volt a vitalizmus legkomolyabb veresége, de a vitalista álláspont bizonyos értelemben még mindig tartotta magát. Sok minden várt még felfedezésre a fehérjemolekulával kapcsolatban

(mind az enzimeknél és a nem enzimeknél), és azt nem lehetett biztosra venni, hogy az életerő az egyik vagy másik ponton nem bukkan-e fel. Különösen azért, mert Pasteur (és Virchow) másik tétele, amely szerint semmiféle sejt sem keletkezhet csak előzőleg létező sejtből, fennmaradt, és amíg ez érvényes, addig még mindig van valami különleges az élet körül.

A vitalista álláspont lényege azonban a múlté lett. Lehet, hogy egyes biológusok még mindig beszélnek a vitalizmus valamilyen elmosódott formájáról, de senki sem veszi őket komolyan. Általánosan elfogadott dolog, hogy az élet ugyanazoknak a törvényeknek engedelmeskedik, amelyek az élettelen világot kormányozzák; nincs semmi olyan probléma a biológiában, amelyet a laboratóriumban meg ne lehetne oldani, és nincs semmiféle olyan életfolyamat, amelyet élet nélkül ne lehetne utánozni.

IX. fejezet

Harc a betegség ellen

A himlőoltás

Az evolúció és a vitalizmus körüli nagy vitákat szemlélve, nem szabad megfélemlenünk arról, hogy az ember érdeklődése a biológia mint tudomány iránt, az orvostudományból, a test rendellenességeivel való elmélyedt foglalkozásból származott. Akármilyen messze kalandozhat is el a tudomány az elmélet birodalmában, mindig vissza fog térni ehhez a legfontosabb problémához.

Az elmélettel való törődés nem szórakozás és nem felesleges, mert ha az ember úgy fordul a tudomány felé, hogy elméletileg fel van vértézve az új dolgokra, akkor a dolgok gyorsan haladnak. Bár az alkalmazott tudomány úgy is fejlődhet, hogy elmélet nélkül tisztán a tapasztalatra támaszkodik, de milyen lassú és botladozó ez az előrehaladás az előbbihez viszonyítva!

Példaképpen tekintsünk végig a fertőző betegségek történetén. Az orvosok még a XIX. század elején is nagyjában és egészében tehetetlenül álltak szemben a súlyos pestis- s egyéb járványokkal, amelyek időnként végigsöpörtek az országokon. És az emberiséget sújtó betegségek között a legrosszabbak egyike a himlő volt. Nemcsak hogy úgy terjedt, mint az erdőtűz, nemcsak hogy minden három ember közül egyet megölt, hanem még azok is, akik túléltek, szerencsétlenné váltak, mert könnyen előfordulhatott, hogy arcukat annyira eltorzította, hogy környezetük alig bírta elviselni látásukat.

Egy himlőmegbetegedés azonban immunitást biztosított újabb himlőfertőzéssel szemben. Ezért szerencsés volt az, aki könnyű lefolyású himlőt kapott, amely alig hagyott maga után himlőhelyeket, mert az illető mindörökké biztonságban volt. Viszont az, aki nem esett át a fertőzésen, örökös rettegésben élhetett. Törökországban és Kínában ezért az emberek arra törekedtek, hogy enyhe lefolyású esetektől kapják el a betegséget. Az enyhe himlő hólyagjából származó anyaggal szándékosan oltásokat is végeztek. A kockázat borzalmas volt, mert olykor a kifejlődött betegség az új betegnél egyáltalán nem bizonyult enyhének.

A XVIII. század elején az ilyen oltásokat Angliában is bevezették, de nem váltak igazán

népszerűvé. A kérdés azonban napirenden volt, vitatták, és egy angol orvos, Edward Jenner (1749-1823) elkezdett vele foglalkozni. Szűkebb hazájában, Gloucestershire-ben az öregasszonyok arról beszéltek, hogy aki megkapja a tehénhimlőt (a marhák között gyakori enyhe betegség, amely bizonyos mértékben hasonlít a himlőhöz), az utána nemcsak a tehénhimlővel, hanem a himlővel szemben is immúnissá válik.



Jenner

Jenner hosszú és gondos megfigyelés után elhatározta, hogy kipróbálja ezt. 1796. május 14-én talált egy fejlődő fiút, akinek tehénhimlője volt. A kezén levő hólyagból váladékot vett, és azt beoltotta egy fiúba, aki természetesen szintén megkapta a tehénhimlőt. Két hónappal később a fiút ismét beoltotta, de nem tehénhimlővel, hanem himlővel. A legkisebb hatás sem jelentkezett. A kísérlet megismétlése után 1798-ban közreadta tapasztalatát. Eljárását vakcinációnak nevezte el. Ez a tehénhimlő latin nevéből, a „*vaccinia*” szóból származik, amely viszont a latin „*vacca*”, tehén szóból ered.

A himlőtől való rettegés oly nagy volt, hogy minden új eredményt lelkesen üdvözöltek, és minden aggodás nélkül elfogadták. A himlőellenes oltás futótűzként terjedt el Európában, és a betegséget legyőzték. A himlő sohasem vált azóta nagyobb problémává egyetlen egészségügyileg fejlett országban sem. Az emberiség történetében ez volt az első komoly betegség, amelyet ennyire gyorsan és tökéletesen megfékeztek.

Megfelelő elmélet hiányában ezt az eredményt azonban nem tudta újabb követni. Senki sem ismerte még a himlő vagy bármely más fertőző betegség okát, és az a véletlen eset, hogy egy súlyosabb betegségnek létezett egy enyhébb változata, amelyet fel lehetett használni védőoltásra, nem ismétlődött meg. A biológusoknak egyszerűen meg kellett tanulniuk, hogyan lehet egy betegség enyhébb változatát előállítani, és ez több ismeretet igényelt, mint amennyivel Jenner idejében rendelkeztek.

A betegség csíraelmélete

A szükséges elmélet Pasteurtól származott, akinek az érdeklődését a mikroorganizmusok iránt az erjedés problémája keltette fel. Ez az érdeklődés most egy sokkal jelentősebb problémához vezetett. A dél-franciaországi selyemipart 1865-ben megdöbbentő méretekben sújtotta egy betegség, amely a selyemhernyókat pusztította, ezért ismét Pasteurt hívták, aki ezúttal is mikroszkópjához fordult. Pasteur talált egy kis parazitát, amely ellepte a beteg selyemhernyókat és a szederfaleveleket, amelyekkel azokat etették. Pasteur javaslata drasztikus, de ésszerű volt. Minden fertőzött hernyót és falevelet el kell pusztítani. A tenyésztést újra kell kezdeni egészséges hernyókkal és tiszta eledellel. Ez hatott, és a selyemipar meg volt mentve.

Pasteur azonban úgy vélte, hogy ami egy fertőző betegség esetében igaz, az igaz lehet más fertőző betegségek eseteiben is. A mikroorganizmusok betegséget idézhetnek elő. Ez azután köhögés, tüsszentés, csók révén vagy hulladékok, szennyezett táplálék és víz útján elterjed. A bajt okozó mikroorganizmus mindig a beteg emberről terjed az egészségesre. A beteggel szükségszerűen érintkező orvos lehet elsősorban a fertőzés terjesztője.

Ugyanerre a következtetésre jutott egy magyar orvos is, Semmelweis Ignác Fülöp (1818-1865). Anélkül, hogy ismerte volna Pasteur elméletét, feltűnt neki, hogy a bécsi kórházakban a gyermekágyi láz okozta halálozás aránya az asszonyok között rendkívül magas, viszont azok között, akik tudatlan bábák segítségével otthon szültek, egészen alacsony. Semmelweis úgy vélte, hogy az orvosok, akik a boncoló-helyiségből a szülőszobákba mennek, valahogy magukkal viszik a betegséget. Ezért a maga osztályán elrendelte, hogy az orvosok alaposan mossák meg a kezüket, mielőtt a szülő asszonyokhoz közelednének. Amikor ezt keresztül tudta vinni, a

halálozási arányszám csökkent. Az akkori orvosi tekintélyek azonban megsértődtek, Semmelweis eltávolították, és a klinikán a halálozási arányszám ismét magasra emelkedett. Semmelweis túl korán halt meg, és így nem érthette meg elgondolása győzelmét. (Az Egyesült Államokban körülbelül ugyanabban az időben Oliver Wendell Holmes [1809-1894] amerikai orvos és költő hasonló mozgalmat indított a szülészek piszkos keze ellen, amivel rengeteg bajt zúdított magára.)

Amikor azonban Pasteur kidolgozta a „betegség csíraelméletét”, a helyzet lassan megváltozott. A mosakodásra most már volt *ok*, és a konzervatív orvosok, bármennyire tiltakoztak is az újmódi ötlet ellen, lassan kénytelenek voltak engedni. A francia-porosz háború alatt Pasteur keresztülvitte, hogy az orvosok kötelesek legyenek műszereiket használat előtt kifőzni, és a kötszereket is gőzzel kellett csíráatlanítani.

Ezalatt Angliában egy sebész, Joseph Lister (1827-1912) tőle telhetően mindent elkövetett a sebészet megreformálására. Például az érzéstelenítést (anesthesia) Angliában ő honosította meg a gyakorlatban. Ennek az volt a technikája, hogy a beteg éter és levegő keverékét lélegezte be. Ettől elaludt, és érzéketlenné vált a fájdalommal szemben. Fogakat lehetett kihúzni, műtétet lehetett elvégezni kínzás nélkül. Ez a felfedezés több ember érdeme, de az oroszlánrészt rendszerint egy amerikai fogorvosnak, William Thomas Green Mortonnak (1819-1868) tulajdonítják, aki 1846 októberében a Massachusetts General Hospitalben éteres altatásban távolította el egy beteg arcdaganatát.

Listert elkeserítette az, hogy még akkor is, ha a műtét fájdalommentes és sikerül, a beteg mégis meghalhat a rákövetkező fertőzéstől. Amikor hallott Pasteur elméletéről, az a gondolata támadt, hogyha a sebet vagy a sebészi bemetszést fertőtlenítik, akkor elmarad a fertőzés. Elkezdte használni a karbolsavat (fenol), és úgy találta, hogy hatásos. Lister megteremtette az „antiszeptikus sebészetet”.

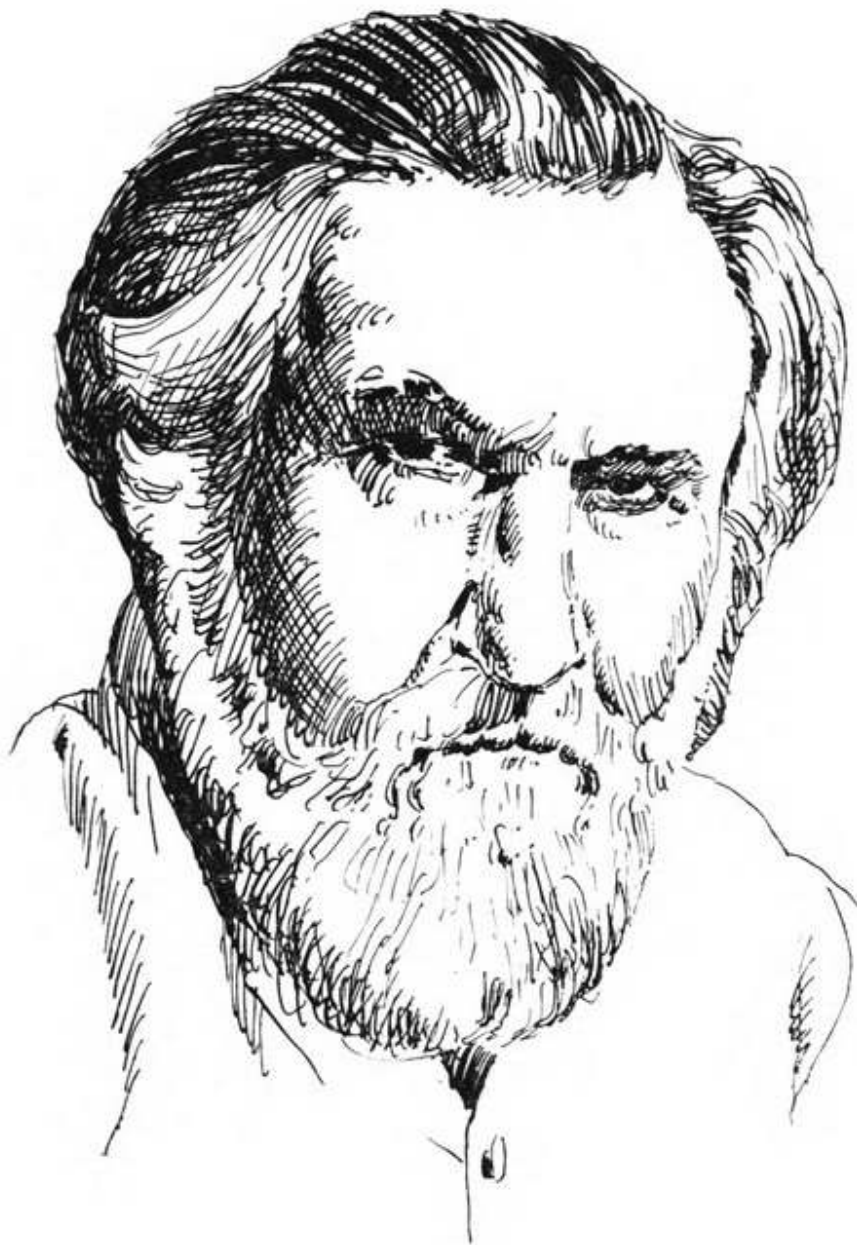
Lassanként erre a célra kevésbé izgató és hatásosabb vegyszereket találtak. A sebészek sterilizált gumikesztyűket kezdtek felvenni, és az arcukra maszkot tettek. Végül is a sebészet biztonságossá vált az emberiség számára. Ha Pasteur csíraelmélete egyedül csak ezt érte volna el, ez már elég lett volna ahhoz, hogy az orvostudomány történetében a legjelentősebb felfedezéssé váljék. Ez az elmélet azonban többet, sokkal többet is adott, és páratlan fontosságát nem lehet eléggé hangsúlyozni.

A bakteriológia

Senki sem számíthat arra, hogy minden embertől mindig távol lehet tartani a veszedelmes mikroorganizmusokat. Előbb vagy utóbb a betegség biztosan kitör. Vajon ebben az esetben mi legyen a teendő?

Annyi biztos, hogy a szervezet képes harcolni a mikroorganizmusok ellen, mivel a fertőzésekből magától ki tud gyógyulni. Ilja Iljics Mecsnyikov (1845-1916) orosz biológus 1884-ben drámai példát talált a „baktériumellenes hadviselésre”. Kimutatta, hogy a vérben levő fehér véresejtek csapatosan gyűlnek a fertőzés helyére, és szükség esetén még a véredényeket is elhagyják. Ami

ezután következik a baktériumok és a fehér vérszettek között, az nagyon hasonlít egy szabályos ütközethez. Szükségszerűen nem mindig az utóbbiak győznek, de elég gyakran diadalmaskodnak ahhoz, hogy rendkívül jó szolgálatot tegyenek.



Mecsnikov

Még körmönfontabb baktériumellenes fegyvereknek is kell azonban lenniük, mivel, sok betegség esetében, ha az ember kigyógyul belőle, bár a szervezetben semmiféle látható változás nem

található, védetté válik egy újabb megbetegedéssel szemben. A jelenséget logikusan azzal lehet megmagyarázni, hogy a szervezet valamilyen molekulát, „antitestet” fejlesztett ki, amelyet fel tud használni a támadó mikroorganizmus elpusztítására vagy hatásának semlegesítésére. Ez megmagyarázná a himlőoltás hatását: a szervezet az oltás hatására antitestet termel ki a tehénhimlő ellen, amely viszont igen hatékony a nagyon hasonló himlő kórokozó ellen is.

A kórokozók azonban úgy is legyőzhetők, hogy a betegségnek nem kell okvetlenül kitörnie. Itt Pasteur mutatott utat a lépfenével kapcsolatban. Ez a pusztító betegség a háziállatok között szedi áldozatait. Pasteur egy mikroorganizmus után kutatott, amely a bajt előidézi, és ezt meg is találta egy különleges baktérium képében. Egy ilyen baktériumtenyészetet elég hosszú ideig melegített, hogy elveszítse fertőzőképességét. Ezek a tehetetlen, „legyengített” baktériumok pusztán jelenlétükkel arra kényszerítik a szervezetet, hogy antitesteket termeljen ellenük, s ezeket az antitesteket fel lehet használni a virulens, halált okozó baktériumok ellen is.

Pasteur 1881-ben egy igen izgalmas kísérletet hajtott végre. Egyes juhokat beoltott meggyengített baktériumaival, míg a többieket nem. Egy idő után valamennyi juhot megfertőzte virulens lépfene-baktériummal. A beoltott juhok közül egyik sem kapta meg a betegséget, a többiek viszont megkapták, és elpusztultak.

Pasteur a baromfikolera elleni harcban ugyanezt a módszert alkalmazta, és ugyanígy járt el a veszettség (vagy víziszony) ellen is, amelyet a veszett kutya harapása terjeszt.

Pasteur csíraelméletének sikere a baktériumokra terelte a tudósok érdeklődését. Ferdinand Julius Cohn (1828-1898) német botanikus már ifjúkorában érdeklődést árukt el a mikroszkopikus növényi sejtek iránt. Kimutatta például, hogy a növényi protoplazma lényegében azonos az állati protoplazmával. Az 1860-as években azonban érdeklődése a baktériumok felé fordult, és 1872-ben egy háromkötetes monográfiát adott közre, amely az első módszeres kísérlet ezeknek az apró teremtményeknek nemek és fajok szerinti osztályozására. Ezért Cohnt a modern *bakteriológia* megalapítójának tekinthetjük.

Cohn legfontosabb felfedezése azonban egy fiatal német orvos volt, akit Robert Kochnak (1843-1910) hívtak. Koch 1876-ban izolálta a lépfene-baktériumot, és megtanulta, hogyan lehet kitenyészteni (amint azt Pasteur is cselekedte Franciaországban). Koch felhívta munkájára Cohn figyelmét, és a lelkes Cohn erőteljesen támogatta.

Koch rájött arra, hogyan kell folyadék helyett szilárd gélen, például zselatinon (ezt később agar-agarral, a tengeri moszat termékével helyettesítették) baktériumokat kitenyészteni. Ez nagy különbséget jelentett. A folyadékban a különböző baktériumok könnyen keveredtek, és nehéz volt megmondani, hogy közülük melyik változat okoz meghatározott betegséget.

Amikor azonban egy tenyészetet szilárd táptalajra kennek ki, egy elkülönült baktérium osztódik és újra osztódik, sok új sejtet teremtve, amelyek nem tudnak a helyükről elmozdulni. Lehetséges, hogy az eredeti tenyészet több baktériumfaj keveréke, ennek az egyetlen el nem mozduló telepnek azonban egy tiszta változatnak kell lennie. Ha ez a betegséget előidézi, akkor nem lehet többé kérdéses, hogy melyik változat okozza a bajt.



Koch

Koch a táptalajt kezdetben üveglapra helyezte, de egyik asszisztense, Julius Richard Petri (1852-1921) ezt lapos, üvegfedővel ellátott csészével helyettesítette. A bakteriológiában azóta használják a „Petri-csészéket”.

Tiszta tenyészetekkel dolgozva, Kochnak sikerült megállapítania azokat a szabályokat, amelyek alapján valamely meghatározott betegséget előidéző baktériumot meg lehet találni. Munkatársaival együtt sok ilyet fedezett fel, és Koch pályafutásának csúcspontja 1882-ben annak a baktériumnak a felfedezése volt, amely a tuberkulózist idézi elő.

Rovarok

Fertőző megbetegedésnek nem csupán baktérium lehet szükségszerűen az egyetlen kórokozója, azért is nevezték Pasteur felfedezését „csíraelméletnek”, mivel a „csíra” általában a mikroorganizmusokat jelöli és nem csupán a baktériumokat. Egy francia orvos, Charles Louis Alphonse Laveran (1845-1922) például algériai tartózkodása alatt megtalálta a malária kórokozóját. Ez önmagában is különösen izgalmas dolog volt, mivel a trópusi és szubtrópusi világban a malária igen elterjedt betegség, amelyben több ember pusztul el, mint bármely más betegségben. Ami a felfedezést különösen érdekessé tette, az az volt, hogy a betegség kórokozója nem baktérium, hanem protozoon, egy egysejtű lény volt.

Sőt, a kórokozónak még mikroorganizmusnak sem kell lennie. Egy német zoológus, Friedrich Rudolf Leuckart (1822-1898) az 1860-as években az alsóbbrendű állatok tanulmányozása során különösen azok iránt mutatott érdeklődést, amelyek más szervezetekben élősöknek, s így megalapította a parazitológia tudományát. Úgy találta, hogy minden gerinctelen törzsnek megvannak a maga parazita képviselői. Ezek közül több az emberben élősök, és az olyan élőlények, amelyek nagysága jóval meghaladja a mikroszkopikus méreteket, súlyos betegségeket idézhetnek elő.

Sőt mi több, egy többsejtű állat, ha nem is közvetlen okozója valamely betegségnek, de a fertőzés hordozója lehet, ami éppen olyan veszélyes. A malária volt az első betegség, amelynél a fertőzésnek ez a módja derült ki. Egy angol orvos, Ronald Ross (1857-1932) megvizsgálta azt a feltevést, hogy talán a moszkítók terjesztik a maláriát emberről emberre. Gyűjteni és boncolni kezdte a szúnyogokat, és végül 1897-ben az anopheles szúnyogban megtalálta a maláriaparazitát.

Ez igen hasznos felfedezés volt. Sikerült kimutatni, hogy a malária nem terjed közvetlen érintkezés útján (a parazitának a szúnyogban keresztül kell mennie bizonyos fejlődési szakaszokon, mielőtt ismét képes az emberbe hatolni). Ha ez így van, akkor miért nem távolítják el egyszerűen a szúnyogokat? Miért nem alszanak szúnyogháló alatt? Miért nem csapolják le a mocsarakat, ahol a szúnyogok tenyésznek? Az intézkedések hatásosnak bizonyultak, és ott, ahol ilyen módszereket alkalmaztak, csökkent a malária előfordulása.

Egy másik halálos betegség, amely a XVIII. és a XIX. században időnként végigpusztította az Egyesült Államok keleti partját, a sárgaláz volt. A spanyol-amerikai háború idején az amerikai kormány különösen felfigyelt erre a betegségre, mivel Kubában sokkal több katonát öltek meg a csírák, mint a spanyol ágyúk. A háború után, 1899-ben egy amerikai katonavészt, Walter Reedet (1851-1902) küldték Kubába a betegség terjedésének a tanulmányozására.

Reed azt tapasztalta, hogy a sárgaláz nem közvetlen érintkezés útján terjed, ezért, Ross felfedezésére gondolva, arra gyanakodott, hogy ezúttal egy másik fajta szúnyog, az Aedes

moszkító terjeszti a bajt. A vele együtt dolgozó orvosok megengedték, hogy olyan szúnyogokkal csípessék meg őket, amelyek előzőleg fertőzött embert csíptek meg. Néhányan megkapták a betegséget, és egy fiatal orvos, Jesse William Lazear (1866-1900) ennek következtében meg is halt. A humanizmus ügyének igazi mártírja volt. De a kérdésre megvolt a válasz.

Az amerikai hadsereg egy másik orvosa, William Crawford Gorgas (1854-1920) a szúnyogok elleni harc módszerét alkalmazta Havannában, hogy a sárgalázat megszüntesse, majd utána Panamába vezényelték. Az Egyesült Államok itt folytatta a csatorna építését, miután Franciaország az előző kísérletnél kudarcot vallott. Annyi bizonyos, hogy a műszaki nehézségek nagyok voltak, de valójában a sárgaláz okozta magas halálozás hiúsította meg minden igyekezetüket. Gorgas kiirtotta a szúnyogokat, a betegség megszűnt, és 1914-ben megnyitották a Panama-csatornát.

Nem a szúnyog az egyetlen betegséget terjesztő rovar. Charles Jean Henri Nicolle (1866-1936) francia orvost 1920-ban kinevezték az észak-afrikai Tuniszba, az ottani Pasteur Intézet igazgatójává. Itt alkalma volt tanulmányozni egy veszélyes és rendkívül fertőző betegséget, a kiütéses tífuszt.

Nicolle észrevette, hogy a kórházon kívül a betegség rendkívül ragályos, viszont a kórházon belül egyáltalán nem terjedt. A betegeket a kórházban felvétel előtt levetkőztették és megfürdették. Nicolle arra gondolt, hogy a fertőző tényező olyasvalami lehet, ami a ruházatban van, és ezt a valamit a testről mosakodással el lehet távolítani. A ruhatetűre gyanakodott, és állatkísérletekkel bebizonyította, hogy a betegség csak a tetű csípése útján terjed. Ugyanígy Howard Taylor Ricketts (1871-1910) amerikai patológus 1906-ban kimutatta, hogy a Sziklás-hegységben honos kiütéses lázat a marhakullancs csípése terjeszti.

A táplálkozási tényezők

A XIX. század utolsó harmadában a legtöbb orvos gondolatvilágában a csíraelmélet uralkodott, de voltak néhányan, akik más véleményen voltak. Virchow német patológus volt közöttük a legnevesebb. Az ő véleménye szerint a betegséget valamely belső zavar idézi elő, és nem valami külső tényező. Olyan ember volt, aki a közügyek iránt erősen érdeklődött, és több évtizeden át aktívan részt vett a berlini városi közigazgatásban és a német törvényhozásban. Fontos intézkedéseket vitt keresztül olyan területeken, mint amilyen a tiszta ivóvízzel való ellátás és a szennyvízelvezetés. Pettenkofer volt a másik ilyen típusú ember, aki Virchowval együtt a *közegészségügy* modern elveinek a megalapítói közé tartozik.

Az ilyen intézkedések akadályozták a járványos betegségek gyors terjedését (akár hitt Virchow a csírákban, akár nem), és valószínűleg annyiban volt szerepük abban, hogy megszűntek azok a járványok, amelyek a XIX. század közepéig Európát sújtották, amennyiben közvetlenül érintették magukat a csírákat is.

Az, hogy Hippokratész tisztaságra vonatkozó megállapítása akkor is érvényben maradt, amikor a tudományos világ már ismerte a csírákat, várható volt. De meglepőbb volt az a tény, hogy Hippokratésznek az a tanítása is érvényben maradt, amely a jó és változatos étrendre hívta fel a

figyelmet, nemcsak az általános jólét kedvéért, hanem bizonyos betegségek megelőzése céljából is. A csírákat ismerő generáció tagjai közül sokan vélték úgy 1870 és 1900 között, hogy idejét múlt gondolat a szegényes étrendet valamilyen betegség előidézéséért okolni, mégis voltak komoly bizonyítékok, amelyek azt mutatták, hogy ez a gondolat egyáltalán nem időszerűtlen.

A földrajzi felfedezések korszakának elején az emberek hosszú hónapokat töltöttek hajón, miközben olyan ételeken éltek, amelyeket hosszú ideig el lehetett tartani, mivel a hűtés abban az időben ismeretlen volt. Ezekben az időkben a skorbut volt a tengerészek rettegett betegsége. Egy skót orvos, James Lind (1716-1794) felfigyelt arra a tényre, hogy a skorbut az egyhangú étrend velejárója, nemcsak a hajón, hanem az ostromlott városokban és a börtönökben is. Lehet, hogy valamely étrendi hiányosság okozza a betegséget?

Lind 1747-ben skorbutos tengerészeken különböző élelmiszereket próbált ki, és azt tapasztalta, hogy a citrom csodálatosan jó hatású a baj ellen. Lassanként elfogadták ezt a védőszert. James Cook kapitány (1728-1779), a nagy angol felfedező 1770-ben csendes-óceáni útjai alatt embereinek citromot adott, és csak egy embert vesztett el skorbut miatt. Az angol haditengerészet 1795-ben, a Franciaországgal folytatott háború kényszere miatt, kötelezővé tette a tengerészeknek a citromfélék levének fogyasztását, és ezzel a skorbutot kiküszöbölték az angol hajókról.

Ámde ha az alaptudomány nem fejlődik, a gyakorlat is lassan halad. A XIX. század folyamán a táplálkozás területén a legnagyobb felfedezés a fehérje élettani jelentősége volt, különösképpen az a tény, hogy bizonyos fehérjék „teljes értékűek”, és az életet fenn tudják tartani, ha az étrendben szerepelnek, míg mások, mint a zselatin, „nem teljes értékűek”, és az élet fenntartására nem elégségesek.

A fehérjék közötti ilyen irányú különbségnek a magyarázatát csak akkor értették meg, amikor a fehérjemolekula természetét jobban megismerték. A zselatin bonyolult molekuláját 1820-ban savval történő kezelés útján lebontották, és egy egyszerű molekulát kaptak, amelyet glicinnek neveztek el. A glicin az „aminosavaknak” nevezett vegyületek osztályába tartozott.

Kezdetben úgy vélték, hogy a glicin a fehérjéknek éppen úgy építőköve, mint ahogy az egyszerű cukor, a glukóz a keményítő építőköve. Erről a felfedezésről azonban a XIX. század folyamán kiderült, hogy téves. Különböző fehérjékből más egyszerű molekulákat is nyertek, mindegyik az aminosavak osztályába tartozott, de összetételük különbözött. A fehérjemolekulák nem egy, hanem számos aminosavból épülnek fel. 1900-ban már vagy tucatnyi különböző aminosav építőkövet ismertek.

Ily módon feltehető volt, hogy a fehérjék az őket felépítő különböző aminosavak viszonylagos arányában térnek el egymástól. Egy meghatározott fehérjéből tehát hiányozhat egy vagy több aminosav, és ezek a hiányzó aminosavak lényegesek lehetnek az élet szempontjából.

Az első, aki ezt kimutatta, egy angol biokémikus volt, Frederic Gowland Hopkins (1861-1947), aki 1900-ban új aminosavat fedezett fel, a triptofánt, és kidolgozta az annak kimutatására szolgáló vegyi reakciót is. A zein, a gabonaszemből izolált fehérje a próbára nem reagált, tehát nem volt benne triptofán. A zein „nem teljes értékű” fehérje, amely az élethez nem elegendő, ha az étrendben ez az egyetlen fehérje. Ha azonban egy kis triptofánt adtak hozzá, a kísérleti állat

élete meghosszabbodott.

Hasonló kísérletek, amelyeket a XX. század első évtizedeiben végeztek, teljesen bizonyossá tették azt, hogy egyes aminosavak létrejöhetnek az emlősök testében azokból az anyagokból, amelyek a szövetekben általában rendelkezésre állanak. Néhány azonban nem építhető fel, s így ezeknek szerepelniük kell a táplálékban. Egyes fehérjék azért nem teljes értékűek, mert hiányzik belőlük egy vagy több ilyen „esszenciális aminosav”, amelyek hiánya betegséget és végül halált idéz elő. Ezért pusztultak el több esetben a kísérleti állatok.

Így vezették be a „táplálkozási tényező” fogalmát: ezen minden olyan vegyület értendő, amely a testben nem termelődik, és amelynek az étrendben elő kell fordulnia, ha az életet fenn akarjuk tartani. Az igaz, hogy az aminosavak, bármennyire érdekesek is lehetnek a táplálkozással foglalkozó tudósok számára, nem jelentettek komoly orvosi problémát. Valamely aminosav hiányát általában a nem természetes és egyoldalú étrendek idézik elő. A természetes étrend, még akkor is, ha szegényes, rendszerint minden aminosavból megfelelő ellátást biztosít.

Ha egy betegséget, mint amilyen a skorbut, meg lehet gyógyítani a citromfélék levélével, akkor ésszerű volt annak a feltevése, hogy a citromlé egy hiányzó táplálkozási faktort tartalmaz. Nem látszott azonban valószínűnek az, hogy ez a táplálkozási tényező egy aminosav lenne. A helyzet ugyanis az volt, hogy a XIX. század biológusai a citromlé összes alkatrészét ismerték, de ezek sem külön-külön, sem együttvéve nem gyógyították meg a skorbutot. A szóban forgó táplálkozási tényezőnek tehát olyan anyagnak kellett lennie, amelyre csak elenyésző mennyiségben van szükség, s amely vegyileg teljesen eltér a táplálék addig megszokott alkatrészeitől.

A rejtélyt a valóságban nem volt olyan nehéz megoldani, mint amilyennek látszott. Úgy, ahogy az esszenciális aminosav fogalmát kidolgozták a tudósok, ugyanúgy felfedeztek egyéb finomabb táplálkozási tényezőket és olyanokat, amelyekre csak elenyésző mennyiségben van szükség. Érdekes módon erre nem a skorbut tanulmányozása során jöttek rá.

A vitaminok

Egy holland orvost, Christiaan Eijkman (1858-1930) 1886-ban Jávába küldték a beriberi betegség tanulmányozására. Egyszerű volt feltételezni, hogy ezt a betegséget a hiányos étrend idézi elő. A japán tengerészek ugyanis rendkívül sokat szenvedtek tőle, de a baj az 1880-as években megszűnt, amikor étrendjükbe, amely korábban úgyszólván kizárólag halból és rizsből állt, a tejet és a húst is beiktatták.

Eijkman azonban teljesen a csíraelmélet hatása alatt állt, és biztos volt benne, hogy a betegséget baktérium okozza. Ezért csirkéket vitt magával, abban a reményben, hogy azokban tenyészt ki a betegség kórokozóit. Ez nem sikerült. De 1896 folyamán csirkéi maguktól a beriberihez nagyon hasonló betegségbe estek. Mielőtt Eijkman valami érdemlegeset is tehetett volna, a betegség megszűnt.

Az okokat kutatva Eijkman azt állapította meg, hogy egy bizonyos ideig a csirkéket a kórház készleteiből vett koptatott rizzsel etették, és ekkor a csirkék megbetegedtek. Amikor visszatértek

a szokásos csirkeledelelhez, a csirkék meggyógyultak. Eijkman arra is rájött, hogy az étrend egyszerű megváltoztatásával tetszés szerint előidézheti és meggyógyíthatja a betegséget.

Eijkman először nem értelmezte helyesen a jelenséget. Arra gondolt, hogy a rizsszemekben valamiféle toxin van, és ezt valamilyen, a héjban levő anyag semlegesíti. Amikor a rizst koptatják, a héját eltávolítják, és így a toxin a koptatott rizsben semlegesítés nélkül marad.

De miért kell feltételezni két különböző ismeretlen anyagot, egy toxint és egy antitoxint, amikor egy is elég: valamilyen jelentéktelen mennyiségben szükséges táplálkozási tényező. Az utóbbi nézetnek kiemelkedő képviselői voltak, egyrészt maga Hopkins, másrészt egy lengyel születésű biokémikus, Casimir Funk (1884-). Mindegyik azt állította, hogy nem egyedül a beriberit, hanem a skorbutot, a pellagrát és az angolkórt is nyomnyi mennyiségű táplálkozási tényezők hiánya okozza.

Úgy tűnt, hogy ezek a táplálkozási tényezők az „aminoknak” nevezett vegyületek osztályába tartoznak, ezért Funk 1912-ben azt javasolta, hogy nevezzék el őket „vitaminoknak” („élet aminok”). Az elnevezést elfogadták, és bár azóta kiderült, hogy e faktorok nem mindegyike amin, a vitamin név megmaradt.

A XX. század első harmadában a Hopkins-Funk „vitamin hipotézis” teljes mértékben kibontakozott, különböző olyan betegségeket gyűrték le, amelyeknél a megfelelő étrendi szabályt sikerült meghatározni. Példa erre egy osztrák származású amerikai orvos, Joseph Goldberger (1874-1929), aki 1915-ben kimutatta, hogy a pellagra betegséget, amely Dél-Amerikában volt honos, nem külön kórokozó okozza. E betegség vitaminhiány következménye, és meg lehet szüntetni, ha a betegségben szenvedők étrendjébe tejet iktatnak.

Kezdetben semmit sem tudtak a vitaminokról, csak azt, hogy képesek bizonyos betegségeket megakadályozni és meggyógyítani. Elmer Vernon McCollum (1879-) amerikai biokémikus 1913-ban azt javasolta, hogy a vitaminokat az ABC betűivel jelöljék, s így lett A-, B-, C- és D-vitamin. Később az E- és a K-vitamin járult ezekhez. Kiderült, hogy a B-vitamint tartalmazó táplálék valójában több olyan tényezőt tartalmaz, amelyek mindegyike egy-egy tünetcsoportot képes megszüntetni. A biológusok elkezdtek beszélni B₁ és B₂-vitaminról és így tovább.

A B-vitamin hiánya okozta a beriberit, és a B₆-vitamin hiánya okozta a pellagrát. A C-vitamin hiányával jár együtt a skorbut, és mivel a citromfélékben kis mennyiségű C-vitamin van, ezért tudta Lind meggyógyítani a skorbutot. A D-vitamin hiánya idézi elő az angolkórt. Az A-vitaminhiány a látást befolyásolja, és farkasvakságot okoz. Ezek voltak a főbb hiánybetegségek, és azzal párhuzamosan, ahogyan a vitaminokat egyre jobban megismerték, ezek a betegségek lekerültek a komoly orvosi problémák listájáról.

X. fejezet

Az idegrendszer

A hipnotizálás

A betegségek másik csoportjába tartoztak az elmebetegségek, amelyekre nyilvánvalóan nem illett Pasteur csíraelmélete. Ezek a betegségek a legrégebb időktől kezdve zavarba hozták, megijesztették és félelemben tartották az emberiséget. Hippokratész racionális módon közelítette meg őket, de az emberiség túlnyomó része azt tartotta róluk, hogy természetfölötti jelenségek. Azt a félelemmel vegyes kegyetlenséget, amellyel az elmebetegeket a XIX. századig kezelték, kétségtelenül az a hit magyarázta, hogy a bolondok démonok uralma alatt állnak.

Ebben a vonatkozásban az új magatartás első jele Philippe Pinel (1745-1826) francia orvossal jelentkezett. Ő az örültséget lelki betegségnek és nem démoni megszállottságnak tartotta. Véleményét meg is írta arról, amit „szellemi elidegenedésnek” nevezett. Amikor a francia forradalom teljes lendületben volt, és a levegőben érződött a változás, 1793-ban megbízták az egyik örültekházának a felügyeletével. Pinel az ott ápoltak láncait levétette, és először kezelték őket úgy, mint beteg emberi lényeket és nem mint vadállatokat. Az új szemlélet azonban másutt csak lassan terjedt.

Még ha az elmebeli rendellenesség nem is elég komoly ahhoz, hogy kórházi ápolásra volna szükség, okot adhat kellemetlen és nagyon is kézzelfogható testi tünetekre („hisztéria” vagy „pszichoszomatikus betegség”). Az ilyen tüneteken, amelyek az elme rendellenességéből származnak, könnyíteni lehet olyan kúrával, amely az értelemre hat. Különösen, amikor az ember hisz abban, hogy a kezelés segít rajta, akkor a kezelés tényleg segíthet, amennyiben a betegsége pszichoszomatikus. Ezért az ördögűzés, akár a papé, akár a varázslóé, eredményes lehet.

Az ördögűzést a teológiából a biológiába egy osztrák orvos, Franz Anton Mesmer (1734-1815) ültette át, aki először mágneseket alkalmazott a kezelésben. Később ezeket elhagyta, és kezével simító mozdulatokat tett, hogy ily módon felhasználja az úgynevezett „állati magnetizmust”. Kezelésével kétségtelenül ért el gyógyulásokat.

Mesmer azt tapasztalta, hogy gyógykezeléseivel sokkal gyorsabban ér el eredményt, ha a beteget transzzerű állapotba helyezi azáltal, hogy figyelmét valamilyen monoton ingerre összpontosítja.

Ezzel az eljárással (olykor még ma is „messmerizmusnak” hívják) a beteg elméjét a környezet igen sok külső ingerének hatása alól kikapcsolta, és így figyelmét a gyógykezelőre összpontosította. A beteg tehát jobban „szuggerálhatóvá” vált.

Messmer-nek egy időben nagy sikere volt, különösen Párizsban, ahova 1778-ban érkezett. Eljárását azonban miszticizmussal vette körül, ami kuruzslásba vitte, továbbá olyan betegségeket is próbált vele gyógyítani, amelyek nem voltak pszichoszomatikusak. Ezeket, természetesen, nem tudta meggyógyítani, és a betegek, csakúgy, mint a konzervatívabb módszereket használó vetélytársai, bepanaszolták. Szakértői bizottságot neveztek ki, hogy vizsgálja meg az ügyet, és ennek jelentése kedvezőtlen volt Messmer-re. Kénytelen volt tehát elhagyni Párizst és visszavonulni.

Módszerének sok értékes lényege azonban megmaradt. Fél évszázaddal később egy skót sebész, James Braid (1795-1860) kezdte el módszeresen tanulmányozni a messmerizmust, amelyet hipnotizálásnak keresztelt át (a „hüpnosz” = álom - görög szó után). Vizsgálatairól racionális módon számolt be 1842-ben, és az eljárás helyet kapott az orvosi gyakorlatban. Egy új orvostudományi szakág jött létre, a *pszichiátria*, amely az elmebetegségeket tanulmányozza és kezeli.

E szakma kimagasló alakja volt Sigmund Freud (1856-1939) osztrák orvos. Az egyetemi évek alatt és még néhány évig azután Freudot az idegrendszer ortodox módon való kutatása kötötte le. Elsőként tanulmányozta például a kokainnak azt a tulajdonságát, hogy az idegvégződések működését kikapcsolja. Carl Koller (1857-1944), aki ugyanabban a kórházban dolgozott, ahol Freud, a kokainról szóló beszámoló után, 1884-ben egy szemműtétnél sikeresen alkalmazta ezt az anyagot. A „helyi érzéstelenítésnek” ez volt az első alkalmazása, ami abból állt, hogy a test egy meghatározott részét tették érzéketlenné, és ezáltal egy helyi műtét esetében szükségtelen volt az altatás.

Freud 1885-ben Párizsba utazott, ahol megismerkedett a hipnotizálás technikájával, és érdeklődése feltámadt a pszichoszomatikus betegségek kezelése iránt. Bécsbe visszatérve, elkezdte a módszert tovább fejleszteni. Úgy vélte, hogy az elmének mind tudatos, mind tudat alatti szintjei vannak. A kínos emlékek vagy az olyan kívánságok és vágyak, amelyeket az ember szégyell, el lehetnek „nyomva”, vagyis az elme tudattalan részében lehetnek elraktározva. Az ember ezt a raktárt nem észleli tudatosan, de az mégis képes befolyásolni magatartását és cselekedeteit, s előidézni bizonyos testi tüneteket.

A hipnózis alatt a lélek tudattalan része mintegy felszabadul, ugyanis a beteg olyan dolgokat hoz felszínre, amelyekre a normális tudat állapotában nem emlékszik. Freud lemondott a hipnózisról a „szabad asszociáció” kedvéért, amelynél a beteget találmra és szabadon hagyják beszélni, minimális útmutatás mellett. Ily módon a beteg fokozatosan „elengedi” magát, és olyan dolgok kerülnek felszínre, amelyeket a beteg rendes körülmények között még saját maga előtt is gondosan titokban tartott volna. Ennek az eljárásnak a hipnózissal szemben az az előnye, hogy a beteg egész idő alatt tudja, mi történik, és nem kell őt utólag tájékoztatni arról, hogy mit mondott.

Ideális esetben, ha a tudattalan tartalma feltárult, reakcióinak okát maga a beteg is megismeri, és a frissen feltárt motivációk megértésén keresztül inkább lesz képes változtatni rajtuk. A lélek tartalmának ezt a lassú elemzését nevezik „pszichoanalízisnek”.

Freud rendkívül fontosnak tartotta az álmokat, mivel szerinte bennük a tudattalan tartalma nyilvánul meg (bár rendszerint erősen szimbólum formában), oly módon, ahogyan ez éber állapotban nem volna lehetséges. *Az álomfejtés* című könyve 1900-ban jelent meg. Úgy vélte továbbá, hogy a nemi ösztön, a maga különböző megnyilvánulásaiban, az indíték legfontosabb forrása még a gyerekeknél is. Ez az utóbbi nézet, a közvéleményben éppen úgy, mint sok orvos részéről, meglehetősen nagy ellenkezést váltott ki.

1902 után Freudnak több fiatal követője akadt, akik köréje csoportosultak. Ezek véleménye nem mindig egyezett Freudéval, ő azonban nézeteiben hajthatatlan volt, és nem ismerte a megalkuvást. Tanítványai közül az osztrák Alfred Adler (1870-1937) és a svájci Carl Gustav Jung (1875-1961) pszichiáterek elszakadtak tőle, és saját rendszerüket építették ki.

Az idegek és az agy

Az emberi lélek azonban annyira bonyolult, hogy a pszichiátriába vetett hit továbbra is főképpen egyéni vélemény dolga maradt. A különböző iskolák fenntartják saját nézeteiket, és kevés tárgyilagos mód van, amely dönteni tudna közöttük. A további fejlődés csak úgy lehetséges, ha maga az idegrendszerrel foglalkozó alaptudomány (neurológia) is eléggé fejlett.

Az idegrendszer tudományos kutatása Albrecht von Haller (1708-1777) svájci fiziológussal kezdődött, aki az 1760-as években az emberi fiziológiáról nyolckötetes tankönyvet írt. E mű megjelenése előtt az volt az általánosan elfogadott vélemény, hogy az idegek belül üresek, és titokzatos „párát” vagy folyadékot szállítanak, körülbelül úgy, ahogy az erek a vért szállítják. Haller azonban elvetette ezt a nézetet, és kísérletes alapon értelmezte az idegműködést.

Így egyebek között rájött arra, hogy az izmok ingerlékenyek, vagyis egy izomnak adott gyenge inger erős összehúzódást vált ki. Azt is kimutatta, hogy az idegre gyakorolt gyenge inger abban az izomban is erős összehúzódást okoz, amelyhez az ideg kapcsolódik. A kettő közül az ideg volt ingerlékenyebb, és Haller úgy ítélte meg, hogy inkább az idegi inger, mint a közvetlen izominger az, amely szabályozza az izmok mozgását.

Haller azt is megállapította, hogy maguk a szövetek nem érzékelnek, hanem az idegek veszik fel és szállítják azokat az impulzusokat, amelyek az érzetet keltik. Kimutatta továbbá, hogy valamennyi ideg az agyba vagy a gerincvelőbe vezet, s ebből világos, hogy ott vannak az érzékelésnek és a válaszreakcióknak a központjai. Azzal kísérletezett, hogy az állati agy különböző részeit ingerelte vagy megsértette, és utána megfigyelte az ily módon létrejött mozgás, vagy bénulás típusát.

Haller munkáját tovább folytatta Franz Joseph Gall (1758-1828) német orvos, aki 1796-ban kezdett e kérdésről előadásokat tartani. Pontosította Haller megállapítását: az idegek nem egyszerűen az agyba, hanem az agy felületének „szürkeállományába” vezetnek. A „fehérállomány” a felszín alatt szerinte csupán kötőszövet.

Hallerhez hasonlóan, Gall is úgy vélte, hogy az agy különböző részei a test különböző részeit

szabályozzák. Feltételezte, hogy az agy meghatározott részeinek nemcsak az a feladata, hogy meghatározott ingereket felfogjanak, és meghatározott izmokat mozgassanak, hanem mindenféle érzelmi és indulati tulajdonságok székhelyei is. Későbbi követői ezt a nézetet ad absurdum vitték, azt állítva, hogy ezek a tulajdonságok megállapíthatók, ha túlzottan vannak jelen, mert a koponya dudorai elárulják őket. Így fejlődött ki a „frenológia” áltudománya.

A frenológia együgyűsége elhomályosította azt a tényt, hogy Gallnak részben igaza volt, és az agynak tényleg vannak specializált területei. Ezt a helyes meglátást Paul Broca emelte ki az áltudományból, és vitte vissza a racionális kutatás területére. Számos boncolás eredményeként 1861-ben kimutatta, hogy azok a betegek, akik beszédképességük elvesztésében szenvedtek, az agyvelő felső részének, a nagyagynak egy bizonyos meghatározott helyén károsodtak. Ez a hely a bal homloklebeny harmadik tekervényében volt, amelyet még ma is „Broca-tekervénynek” neveznek.

Két német neurológus, Gustav Theodor Fritsch (1838-1891) és Eduard Hitzig (1838-1904) 1870-ben még tovább jutott. Egy élő kutya agyát feltárták, és különböző részeit elektromos tüvel ingerelték. Azt tapasztalták, hogy egy meghatározott hely ingerlése meghatározott izommozgást idéz elő, és ily módon az agyon a testet valósággal fel lehetett térképezni. Sikerült bebizonyítaniuk, hogy a bal oldali agyfélteke a test jobb oldali, a jobb oldali agyfélteke pedig a test bal oldali részét tartja ellenőrzés alatt.

Így nem volt kétséges, hogy az agy nemcsak irányítja a testet, hanem ezt rendkívül specifikus módon is végzi. Feltételezhető volt, hogy végül is minden szellemi működést valamilyen módon kapcsolatba lehet hozni az agy fiziológiájával. Ez a felfedezés azzal a veszéllyel fenyegetett, hogy az ember legmagasabb rendű képességeit beszorítja a mechanisztikus felfogás keretei közé.

Még jelentősebb volt az, hogy amikor a sejtelmélet kialakult, azt az idegrendszerre is alkalmazták. A biológusok a XIX. század közepén feltárták az idegsejteket az agyban és a gerincagyban, de maguknak az idegrostoknak a természetét illetően csak halvány elképzelések voltak. Wilhelm Heinrich Gottfried Waldeyer-Hartz (1836-1921) német anatómus tisztázta ezt a kérdést. 1891-ben közölte, hogy az idegrostok az idegsejt finom nyúlványai és annak elválaszthatatlan részei. Az egész idegrendszer tehát „neuronokból”, vagyis a tulajdonképpeni idegsejtekből és ezenfelül azok nyúlványaiból áll. Ez a „neuron-elmélet”. Waldeyer-Hartz kimutatta továbbá, hogy a különböző sejtek nyúlványai szoroson megközelíthetik egymást, de ténylegesen nem találkoznak. A neuronok közti hézagokat később „szinapszisoknak” nevezték el. A neuron-elméletet szilárd alapokra helyezte Camilla Golgi (1844-1926) olasz citológus és Santiago Ramon y Cajal (1852-1934) spanyol neurológus. Golgi 1873-ban ezüstsókból álló sejtfestéket alkalmazott. Ennek az anyagnak a segítségével a sejten belül olyan struktúrákat mutatott ki (a „Golgi-testek”), amelyeknek funkcióit még ma sem ismerjük.

Golgi festési módszerét az idegszövetre is alkalmazta, és úgy találta, hogy erre a célra jól használható. Olyan részleteket tudott meglátni, amelyek azelőtt láthatatlanok voltak; addig még nem tapasztalt részletességgel feltűntette az idegsejtek finom nyúlványait, és világosan kimutatta a szinapszist. Ennek ellenére, nem helyeselte a neuronelméletet, amikor azt Waldeyer-Hartz publikálta.

Ramon y Cajal viszont a neuronelméletet határozottan helyesnek tartotta. Golgi festési

technikájának egy javított változatával olyan részleteket mutatott ki, amelyek a neuronelméletet vitán felül állóvá tették, és demonstrálta az agy, a gerincagy, valamint a szem ideghártyájának sejtes felépítését is.

A magatartás

A neuronelméletet igen jól lehetett alkalmazni az állatok magatartásának problémáira. Stephan Hales már 1730-ban azt tapasztalta, hogy ha a békát lefejezi, és bőrét szurkálja, az lábaival még mindig rugdalózik. Itt egy test mechanikusan reagált, az agy segítségével nélkül. Ez indította el a többé vagy kevésbé automatikus „reflextevékenység” tanulmányozását, amelynek során valamilyen inger hatását meghatározott minta szerint, az akarat közbejövete nélkül a válasz követi.

Még az ember sem mentes az ilyen automatikus tevékenységtől. A közvetlenül a térdkalács alá mért ütés kiváltja az ismert térdreflexet. Ha kezünk történetesen egy forró tárggyal kerül érintkezésbe, hirtelen elkapjuk, még mielőtt tudatossá válna bennünk, hogy a tárgy forró.

Charles Scott Sherrington (1857-1954) angol fiziológus tanulmányozta a reflexmozgást, és a *neurofiziológia* megalapítója lett, ugyanúgy, ahogy korábban Golgi festési módszerével megteremtette a *neuroanatómiát*. Sherrington kimutatta a „reflexív” létezését, amelyet legalább két, de gyakran kettőnél több neuron alkot. Valamilyen ingerület keletkezése egy adott helyen idegimpulzust küld az egyik neuronon végig, ezután a szinapszison keresztül (a szót Sherrington találta ki), majd egy visszavezető neuron útján vissza egy másik helyhez, ahol az impulzus serkenti az izomműködést vagy esetleg valamely mirigy kiválasztó tevékenységét. Az elvet nem érinti az, hogy egy vagy több közbeeső neuron van-e az első és az utolsó neuron között.

Feltételezhető volt, hogy egyes szinapszison az inger könnyebben halad át, mint másokon. Így lehetséges, hogy az idegrendszer felépítő neuronok összefonódó hálózatában vannak különleges pályák, amelyek könnyebben járhatók.

Az is kézenfekvőnek látszott, hogy az egyik idegpálya megnyithatja az utat a másik számára, más szóval, egy reflex ingerként hathat a másodikra, a második válasza a harmadikra és így tovább. A reflexeknek egész sokaságából állhat az a bonyolult magatartási mód, amelyet „ösztönek” nevezünk.

Egy viszonylag kis és egyszerű szervezetben, mint amilyen a rovar, alig lehet néhány tucatnyi ösztönös viselkedést feltételezni. Mivel az idegpályák öröklődnek, ezért érthető, hogy az ösztönös reakciók is öröklődnek, és a születéstől kezdve működnek. Így a pók tökéletesen tud hálót szőni még akkor is, ha ilyet korábban sohasem látott, és minden pókfaj a saját jellegzetes hálóját szövi.

Az emlősök (és különösen az ember) viszonylag kevesebb ilyen ösztönnel rendelkeznek, viszont képesek tanulni, vagyis a tapasztalat alapján új magatartási sémát kifejleszteni. Ezeknek a sémáknak a tanulmányozása a neuronelmélet alapján meglehetősen nehéz. Úgy látszott, hogy leírásuk és elemzésük csak tapasztalati úton lehetséges. Így a történelem során az értelmes emberek megtanulták, hogy adott körülmények között, bizonyos szituációkban az emberek

milyen módon reagálnak, és ez a képességük tette őket egy-egy közösség vagy csoport sikeres vezetőivé.

A mennyiségi mérések alkalmazása az emberi tudat megismerésére (legalábbis a környezet érzékelésének a képességére) Ernst Heinrich Weber (1795-1878) német fiziológussal kezdődik. Az 1830-as években azt a felfedezést tette, hogy az azonos fajtájú két érzet közötti különbség az érzetek intenzitásának a logaritmusától függ.

Egy sötét szobában gyújtsunk meg egy gyertyát. Utána gyújtsunk meg egy másik, ugyanilyen gyertyát, és az észlelt fényességnövekedést jelöljük x -szel. Ha egy újabb gyertyát meggyújtunk, a fényesség nem növekedett ugyanilyen mértékben, hanem egyre több és több gyertyára lesz szükség. Az első gyertya meggyújtása a már égő után elég volt ahhoz, hogy a szoba x -szel legyen világosabb, azután két további gyertya szükséges, hogy további x -szel legyen világosabb, azután már további négyre, majd további nyolcra van szükség és így tovább. Ezt a szabályt 1860-ban Gustav Theodor Fechner (1801-1887) német fizikus is megerősítette (népszerűsítette), ezért „Weber-Fechner-törvénynek” is szokták nevezni, és ezt tekintik a pszichofizika első alaptörvényének, amely sok más területen is elindította az érzékelés mennyiségi tanulmányozását.

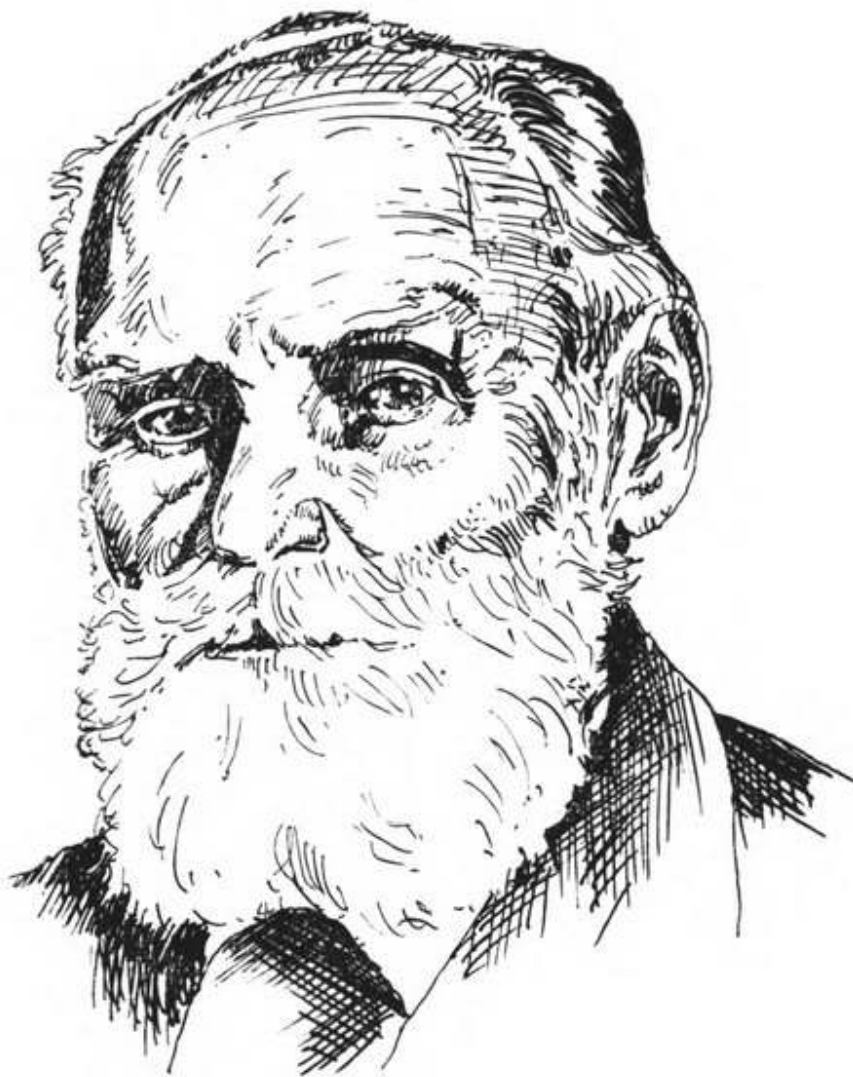
A *pszichológia* tudománya, amely a magasabbrendű élőlények lelki jelenségeit, a viselkedésbeli alkalmazkodását tanulmányozza, általában nehezebben közelíthető meg a matematika segítségével. A XIX. század második felében azonban a csupán introspekciós módszerekről mégis áttért a kísérletes alapokra. Ennek az irányzatnak megalapítója Wilhelm Wundt (1832-1920) német filozófus volt, aki 1879-ben állította fel az első kísérleti pszichológiai laboratóriumot. Az ő munkássága nyomán alakultak ki olyan kísérleti módszerek, mint az, amikor patkányokkal „útvesztő feladatot” oldatnak meg, és csimpánzokat arra tanítanak, hogy találják ki, hogyan érhetik el a bizonyos távolságban levő banánokat. Ezt a módszert alkalmazták az emberi psziché tanulmányozására is. Így kísérleteket végeztek az emberi intelligencia mérésére kérdések feltevésével és különböző problémák, helyzetek felvetésével. Alfred Binet (1857-1911) francia pszichológus 1905-ben tette közzé első intelligenciatesztjét. Az intelligenciahányados (Q) mérését később a Binet-Simon-teszt alapján elsősorban iskolás gyermekeknél vezették be.

A viselkedést az idegrendszerrel még közvetlenebbül összefüggésbe hozó, még alapvetőbb tanulmányokat végzett Ivan Petrovics Pavlov (1849-1936) orosz fiziológus. Pályafutásának kezdő szakaszában az emésztőnedvek kiválasztásának idegi szabályozása kötötte le érdeklődését. A századforduló idején azonban a reflexeket kezdte tanulmányozni.

Alapvető kísérlete a következő volt: ha egy éhes kutyának enivalót mutatnak, megindul a nyáleválasztása. Ez egy ésszerű reflex, mivel a nyálra szükség van az étel lenyeléséhez és emésztéséhez. Ha minden alkalommal, amikor a kutyának az ételt megmutatják, egyúttal csengetnek is, a kutya a csengő hangját asszociálja az étel látásával. Végül a csengő hangjára megindul a nyáleválasztása, még akkor is, ha az ételt nem látja. Ez a „feltételes reflex”. Pavlov ki tudta mutatni, hogy ilyen módon különféle reflexeket lehet kiépíteni.

Amerikában fejlődött ki az a pszichológiai iskola, amely „viselkedéstan” (behaviourizmus) néven vált ismeretessé; alaptétele szerint bárminek a megtanulása a feltételes reflexek, vagyis az

ideghálózatban új kapcsolódások kiépítésének a kérdése. Ha valaki kinyomtatva látja ezt a szót: „szék”, és e szót kapcsolatba hozza az annak kimondása révén létrehozott hangsémával, valamint azzal a tényleges tárggyal, amelyen az ember ül, végül a „szék” szó pusztán látása mindjárt emlékezetébe idézi magát a tárgyat. Ennek az irányzatnak két kiemelkedő amerikai pszichológus volt a legjellegzetesebb képviselője: John Broadus Watson (1878-1958), aki az alapelveket megfogalmazta, és Burrhus Frederic Skinner (1904-), aki ezeket más irányzatok felé közelítette.



Pavlov

A behaviourizmus a pszichológia olyan szemlélete, amely az értelem minden megnyilvánulását a bonyolult ideghálózat fizikai munkamódjára, mintáira (pattern) vezeti vissza. Ma azonban ezt a

leegyszerűsített értelmezést túlhaladottnak tekintik. Ha a viselkedés biológiai-fiziológiai alapon értelmezendő is bizonyos vonatkozásban, de ezt sokkal finomabban és bonyolultabban kell megtennie a pszichológiának.

Az idegi potenciál

Ha egy ideghálózatot vizsgálunk, könnyű kijelenteni, hogy impulzusok mennek végig a hálózat különböző idegpályáin, de vajon ezek az impulzusok miből állnak? Haller és Gall megcáfolta azt a régi tételt, hogy az idegeken keresztül „pára” áramlik, de íme, egyszerre, noha új formában, ismét feltámadt, amikor Luigi Galvani (1737-1798) olasz anatómus 1791-ben felfedezte, hogy a felboncolt béka izmaiban rángást lehet előidézni elektromos inger alkalmazásával. Azt állította, hogy létezik valamilyen „állati elektromosság”, amelyet az izom fejleszt.

Ez a feltevés eredeti formájában nem volt helyes, de - megfelelően módosítva - igen hasznosnak bizonyult. Emil Du Bois-Reymond (1818-1896) német fiziológus már egyetemi hallgató korában tanulmányt írt az elektromos halakról, és ez egy életre felkeltette benne az érdeklődést a szövetekben lezajló elektromos jelenségek iránt. 1840-ben azzal kezdte, hogy a régi eszközöket fejlesztette tovább, valamint újakat talált fel, olyan eszközöket, amelyekkel fel tudta fogni az izmokban és idegekben folyó csekély áramot is. Ki tudta mutatni, hogy az idegimpulzusokat az ideg elektromos állapotának a változása kíséri. Az idegimpulzus - legalábbis részben - elektromos természetű, és az elektromosság valóban olyan finom folyadék, amilyent az ideg „pára” hívei elképzeltek maguknak.

De nemcsak az ideg, hanem az izom aránya is változik. Ritmikus összehúzódásokat végző izom esetében, mint a szívnél, az elektromos változás ugyancsak ritmikus. Willem Einthoven (1860-1927) holland fiziológus 1903-ban egy igen érzékeny „húros galvanométert” szerkesztett, amely rendkívül gyenge áram hatására is kitért. Ezt arra használta fel, hogy a bőrre helyezett elektródok segítségével a szív elektromos potenciáljának ritmikus változását jelezze. 1906-ban az így feljegyzett „elektrokardiogramokat” (EKG) már kapcsolatba hozta a szív különböző típusú rendellenességeivel.

Hasonló eredményre jutott 1929-ben Hans Berger (1873-1941) német pszichiáter, aki az elektródokat a koponyához erősítette, és feljegyezte azokat a ritmikus változó potenciálokat, amelyek az agytevékenységet kísérik. Az „elektro-enkefalogramok” (EEG) rendkívül bonyolultak és nehezen értelmezhetők. De kiterjedt agykárosodás esetén, amikor daganat van jelen, könnyen észrevehető elváltozások észlelhetők. Ugyanígy a régi „szent betegség”, az epilepszia is felfedezhető az EEG-elváltozások alapján.

Az elektromos potenciál azonban nem lehet a teljes magyarázat. Az elektromos impulzus, amikor eljut az idegvégződésig, saját magától nem ugorhatja át azt a szinaptikus rést, amely két neuron között van. Valami másnak kell ezt megtennie, és elindítania egy új elektromos impulzust a következő neuronban. Otto Loewi (1873-1961) német fiziológus 1921-ben kimutatta, hogy az idegimpulzus mind vegyi, mind elektromos változással jár. Egy vegyi anyag, amelyet az ingerelt ideg szabadít fel, hidalja át a szinaptikus rést. Henry Hallett Dale (1875-) angol fiziológus csakhamar felismerte, hogy ez a specifikus vegyi anyag egy vegyület, amelyet „acetilkolinak”

hívnak.

Azóta egyéb olyan vegyi anyagokat is fedeztek fel, amelyek valamilyen módon kapcsolatban állnak az idegtevékenységgel. Olyat is találtak, amely elmebajok tüneteit idézi elő. A neurokémia még a gyermekkorát éli, de remélhető, hogy egykor hatásos új eszközzé válik majd az emberi elme kutatásában.

XI. fejezet

A vér

A hormonok

A neuronelmélet sikere, a csíraelméletéhez hasonlóan, nem volt teljes, nem magyarázott meg teljesen mindent. Az idegen végigfutó elektromos híradás a testnek nem az egyetlen szabályozója. Vannak vegyi hírvivők is, amelyek a véráramon keresztül haladnak.

Két angol fiziológus, Ernest Henry Starling (1866-1927) és William Maddock Bayliss (1860-1924) 1902-ben azt tapasztalta, hogy még ha el is vágnak minden ideget, amely a hasnyálmirigyhez (az emésztésben részt vevő nagy mirigyek egyike) vezet, az továbbra is eredeti rendeltetésének megfelelően működik, és emésztőnedvet választ ki, mihelyt a gyomor savas tartalma bejut a bélbe. Kiderült, hogy a vékonybél nyálkahártyája a gyomorsav hatására egy anyagot választ ki, amelyet Starling és Bayliss „szekretinnek” nevezett el. Ez a szekretin az, amely serkenti a hasnyálmirigy váladéktermelését.

Két évvel később Starling egy nevet javasolt mindazokra az anyagokra, amelyeket valamilyen „belső elválasztású mirigy” abból a célból bocsát a vérbe, hogy egy másik szerv vagy szervek működését kiváltsa. Ez a név a „hormon” volt, amely a görög „hormao” (buzdít) szóból származik.

A hormonelmélet rendkívül hasznosnak bizonyult, mert sikerült kimutatni, hogy a vér által elenyésző koncentrációkban szállított nagyszámú hormon nagyszerűen gondoskodik arról, hogy a test vegyi reakciói közötti egyensúly fennmaradjon, vagy pedig hogy jól ellenőrzött változás jöjjön létre ott, ahol arra szükség van. Jokichi Takamine (1854-1922) japán származású amerikai vegyész 1901-ben a mellékvesékből izolált egy anyagot, amelyet ma adrenalinnek neveznek, és erről végül is kiderült, hogy hormon. Ez volt az első hormon, amelyet izoláltak, s amelynek szerkezetét meghatározták.

Az egyik folyamat, amelyről csakhamar azt gyanították, hogy hormon szabályozza, az alapanyagcsere volt. Magnus-Levy kimutatta az összefüggést az alapanyagcsere sebességének megváltozása és a pajzsmirigy megbetegedései között, és 1916-ban Edward Calvin Kendall (1886-) amerikai biokémikus izolált egy anyagot a pajzsmirigyből, amelyet „thyroxin”-nak

nevezett el. Ez is hormonnak bizonyult, amelynek kis mennyiségekben történő termelése a test alapanyagcseréjét szabályozza.

A hormonkutatás leglátványosabb korai eredményét azonban a cukorbetegséggel kapcsolatban érték el. Ebben a betegségben ott jelentkezik a rendellenesség, ahol a test úgy bontja le a cukrot az energiatermelés számára, hogy a vérben a cukor szintje rendellenesen magasra emelkedik. A test végül arra kényszerül, hogy a cukorfeleslegtől a vizeleten keresztül szabaduljon meg, ezért a cukor megjelenése a vizeletben a betegség előrehaladott állapotának a jele. A XX. századig ez a betegség a biztos halált jelentette.

Felmerült az a gyanú, hogy a hasnyálmirigy valahogyan kapcsolatban van a cukorbetegséggel, mivel 1893-ban két német fiziológus, Joseph von Mering (1849-1908) és Oscar Minkowski (1858-1931) kísérleti állatoknak kivágták a hasnyálmirigyét, és azt tapasztalták, hogy rohamosan súlyos cukorbetegség fejlődik ki náluk. Starling és Bayliss hormonkonceptiója után logikusnak tűnt annak a feltevése, hogy a hasnyálmirigy egy olyan hormont termel, amely szabályozza a testben a cukor lebontását.

Azok a próbálkozások azonban, hogy a hasnyálmirigyből izolálják a hormont, ugyanúgy, ahogy Kendall izolálta a pajzsmirigyből a thyroxint, nem jártak eredménnyel. A hasnyálmirigy fő feladata természetesen az emésztőnedvek termelése, és ezért nagy mennyiségben kell tartalmaznia fehérjebontó enzimeket. Ha tehát a hormon maga is fehérje (amint végül ez be is bizonyosodott), akkor a kivonás folyamatán az is lebomlik.

Egy fiatal kanadai orvos, Frederick Grant Banting (1891-1941) 1920-ban arra gondolt, hogy élő állatban a hasnyálmirigy vezetékét le kell kötni, majd egy darabig a mirigyét a helyén kell hagyni. A mirigy emésztőnedvet termelő apparátusa ebben az esetben degenerálódik, mivel nem választhat ki nedvet, de ugyanakkor azok a részek, amelyek a hormont egyenesen a véráramba választják ki, működőképesek maradnak. 1921-ben a torontói egyetem egyik laboratóriumában helyet kapott, és Charles Herbert Best (1899-) segítségével megvalósította ötletét. Híres kísérleteivel izolálta az „inzulin” hormont. Az inzulin használata a cukorbetegséget megfékezte, és bár valójában a cukorbetegséget nem tudja meggyógyítani, sőt a betegnek egész életében kezelésnek kell alávetnie magát, mindamelllett az életet kielégítően normálissá teszi és meghosszabbítja.

Ezután egyéb hormonokat is izoláltak. A petefészekből és heréből a „nemi hormonokat” (amelyek a pubertásban a másodlagos nemi jelleget és a nőknél a havi ciklust szabályozzák) Adolf Friedrich Johann Butenandt (1903-) német vegyész izolálta 1929-ben és a rákövetkező években.

Mások, mint Kendall, a thyroxin felfedezője és a lengyel származású svájci vegyész, Tadeus Reichstein (1897-), a hormonok egész családját a „kortikoidokat” izolálták a mellékvese külső részeiből (vagy „kérgeből”). Philip Showalter Hench (1896-), Kendall egyik munkatársa 1948-ban kimutatta, hogy az egyik kortikoid, a „kortizon” jó hatással van a reumás ízületi gyulladásokra.

Bernardo Alberto Houssay (1887-) argentin fiziológus 1924-ben kimutatta, hogy az agyalapi mirigynek, ennek az agyalon elhelyezkedő kis szervnek, valamilyen köze van a cukor

lebontásának a folyamatához. Később kiderült, hogy egyéb fontos feladatai is vannak. Cso Hao Li kínai származású amerikai biokémikus az 1930-as és az 1940-es években számos különböző hormont izolált a mirigyből. Az egyik például a „növekedési hormon”, amely a növekedés ütemét szabályozza. Ha túlzott mennyiségben termelődik, az illető óriás, ha pedig nem elegendő mennyiségben, törpe növésű lesz.

A XX. század közepén a hormonok tanulmányozása, az *endokrinológia* a biológiának továbbra is rendkívül bonyolult, de egyszersmind rendkívül produktív területe is.

A szerológia

A vér hormonszállító működése csak az egyike volt azoknak az új értékeknek, amelyeket a XIX. század végén fedeztek fel e folyadékban. A vér ugyanis az antitestek szállítója is, és így a fertőzés elleni harc igen fontos tényezője. (Ma már szinte hihetetlen, hogy az orvosok másfél évszázaddal ezelőtt azt gondolták, hogy a betegen legjobban akkor segítenek, ha vért engednek ki belőle.)

A vér felhasználása a mikroorganizmusok ellen Koch két munkatársának munkája nyomán jutott szerephez. Emil Adolf von Behring (1854-1917) és Paul Ehrlich (1854-1915) német bakteriológusokról van szó. Behring felfedezte, hogy lehetséges egy állatot egy meghatározott baktériummal beoltani, és ezzel arra készíteni, hogy az ellen a baktérium ellen antitesteket termeljen, amelyeket a vér folyékony része tartalmaz (vérszérum-vérsavó). Ha azután vért vesznek egy ilyen állattól és az antitestet tartalmazó szérumot más állatba oltják, akkor ez az állat immúnis lesz a baktérium okozta betegség ellen - legalábbis egy időre.

Behringnek az a gondolata támadt, hogy ötletét a diftérián próbálja ki, amely főképpen gyermekeket támadott meg, és majdnem biztos halált jelentett. Ha a gyermek túlélte, azután már immúnissá vált. De miért várjunk arra, hogy a gyermek a baktériumtoxin elleni küzdelemben saját maga termelje ki az antitesteket? Miért ne állítanánk elő az antitesteket először állatban, és oltanánk be az antitesteket tartalmazó szérumot a beteg gyerekekbe? Ezt kipróbálták az 1892. évi diftéria-járvány alatt, és a kezelés sikerrel járt.

Ehrlich együtt dolgozott Behringgel ebben a kísérletben, és valószínűleg Ehrlich volt az, aki a szükséges adagolást és a kezelés technikáját kidolgozta. A két tudós összeveszett, és Ehrlich ezután függetlenül dolgozott. A szérum valamennyi alkalmazási módszerét odáig fejlesztette, hogy őt tekinthetjük a *szerológia* (a vérszérum alkalmazási eljárásaival foglalkozó tudomány) megalapítójának. (Ahol ezek az eljárások azt a célt szolgálják, hogy immunitást biztosítsanak valamely betegség ellen, ott a tudományt *immunológiának* is nevezhetjük.)

Jules Jean Baptiste Vincen Bordet (1870-1939) belga bakteriológus e tudomány kezdetekor ugyancsak jelentős szerológus volt. 1898-ban, amikor még Párizsban dolgozott Mecsnyikov mellett, felfedezte, hogyha a vérszérumot 55 Celsius-fokon felmelegítik, az antitestek lényegében érintetlenek maradnak benne, mivel változatlanul egyesülni tudnak bizonyos vegyi anyagokkal („antigénekkal”), mint ahogy egyesültek a melegítés előtt.



Ehrlich

A szérum azonban elveszti baktériumölő képességét. Feltehetően a szérum valamilyen igen érzékeny alkatrésze vagy alkatrészének egy csoportja úgy hat az antitestre, mint annak kiegészítő része, mielőtt az antitest a baktériummal reakcióba tud lépni. Bordet ezt az alkatrészt „alexinnek” nevezte, de Ehrlich egyenesen „komplementnek” mondta, és ma is így ismerik.

Bordet 1901-ben kimutatta, hogy amikor egy antitest reagál egy antigénnel, a komplement felhasználódik. A „komplement rögzítésének” e folyamata fontosnak bizonyult mint a szifilisz

felismerésének eszköze. August von Wassermann (1866-1925) német bakteriológus 1906-ban dolgozta ki ezt az eljárást, és még ma is „Wassermann-próbának” hívják.

A Wassermann-próba során a beteg vérszérumát meghatározott antigénekkal reagáltatják. Ha szifilisz előidéző mikroorganizmus elleni antitest a szérumban jelen van, a reakció végbemegy, és a komplement felhasználódik. A komplement elvesztése tehát a szifilisz jele. Ha a komplement nem tűnik el, a reakció nem megy végbe, tehát nincs szó szifiliszről.

A vércsoportok

A XX. század kezdete egy váratlan szerológiai felismeréssel szolgált. Nem betegségről volt szó, hanem arról, hogy az emberi vérben egyéni különbségek vannak.

Az orvosok a történelem folyamán esetenként megpróbálkoztak azzal, hogy nagy vérvesztéseket egészséges ember vagy éppen állat vérenek átömlesztésével pótoljanak. Ez néha sikerült is, de ez a kezelés gyakran meggyorsította a halált, ezért a legtöbb európai államban a XIX. század végéig tilos volt vérátömlesztéssel próbálkozni.

Karl Landsteiner (1868-1943) osztrák orvos találta meg a probléma megoldásának a kulcsát. 1900-ban felfedezte, hogy az emberi vérsavók a vörös vértesteket különféleképpen agglutinálják. Egy vérsavó A személy vörös vértestjeit összecsapja, de B személyét nem. Egy másik savó viszont fordítva, B személy vértestjeit agglutinálja, de A személyét nem. Egy harmadik savó agglutinálhatja mind a kettőt, a negyedik pedig az egyiket sem. Landsteiner 1902-ben az emberi vért négy „vércsoportba” - vagy „vértípusba” - sorolta, s ezeket elnevezte A, B, AB és 0-ás vércsoportoknak.

Ezután a felfedezés után már egyszerű feladat volt kimutatni, hogy adott kombináció mellett a vérátömlesztés biztonságos, míg más esetekben, amikor a beáramló vörös vértestek összecsapódnak, a vérátömlesztés végzetes következményekkel járhat. A beteg és a véradó vércsoportjainak előzetes ismeretére alapított vérátömlesztés rögtön fontos segédeszköze lett az orvosi gyakorlatnak.

A következő 40 év alatt Landsteiner és mások egyéb vércsoportokat is felfedeztek, amelyek azonban nem érintik a vérátömlesztést. Mindezek a vércsoportok azonban a Mendel-törvények szerint öröklődnek (amint ezt 1910-ben kimutatták), és ma ezek alkotják az „apasági vizsgálatok” alapját. Két A vértípusú szülőnek nem lehet B típusú gyermeke, az ilyen gyermeket vagy elcserélték a kórházban, vagy más az apja, mint akit feltételeznek.

A vércsoportok az emberi „rasszok” ősrégi problémájának megoldására is ésszerű lehetőséget ígértek. Az emberek a többi embert mindig csoportokba osztották, rendszerint valamilyen szubjektív vagy érzelmi alapon, úgy, hogy a saját csoportjuk legyen a „felsőbbrendű”. A laikus még ma is hajlamos arra, hogy a bőr színe alapján ossza fel az emberiséget „fajokra”.

Lambert Adolphe Jacques Quételet (1796-1874) belga csillagász volt az első, aki tisztázta, hogy azok a különbségek, amelyek az egyes emberi lények között vannak, fokozatosak és nem élesek,

és inkább mennyiségiek, mint minőségiek. Statisztikai módszereket alkalmazott az emberi lények tanulmányozására, és így őt tekinthetjük az *antropológia* megalapítójának.



Landsteiner

Adatokat közölt a skót katonák mellbőségének méréseiről, a francia hadsereg újoncainak magasságáról és más hasonló tényezőkről, és 1835-ben kimutatta, hogy ezek az adatok éppen úgy szóródnak az átlagérték körül, mint ahogy azt várni lehet a kockadobásnál vagy a lövedékek célpont körüli becsapódása esetében. Ily módon a véletlenszerűség az ember birodalmába is

behatolt, s ezzel eggyel több lett az a tényező, amely azt mutatta, hogy az élet ugyanazokat a törvényeket követi, amelyek az élettelen világot szabályozzák.

Egy svéd anatómus, Anders Adolf Retzius (1796-1860) megkísérelte az antropológiai méréseket az emberi „rasszok” problémájára alkalmazni. Az agykoponya szélességének és hosszúságának a hányadosát százzal megszorozva, elnevezte „koponyaindexnek”. Akinél a „koponyaindex” 80-nál kisebb volt, az a „dolichocephal” (hosszúfejű), míg a 80-on felül „brachicephal” (szélesfejű) volt. Ezen az alapon az európaiakat az „északiak” (magas- és hosszúfejű), a „mediterránok” (alacsony- és hosszúfejű) és az „alpesiek” (alacsony- és szélesfejű) csoportjába sorolhatta.

Valójában ez nem annyira kielégítő, mint amilyenek látszik, mivel az eltérések kicsik. Európán kívül nem jól használható, és végül is a koponyaindex nem állandó, és az emberrel vele született, hiszen a vitaminhiány és az a környezet, amelyben a gyermek élt, módosíthatja.

Amikor a vércsoportokat felfedezték, ezeknek a felhasználása az osztályozás céljára igen előnyösnek látszott. Mindenekelőtt ezek nem látható jellegzetességek, ezért nem lehet őket felhasználni a fajiság kézzelfogható jeleként. Ezek valóban az emberrel születnek, és nem befolyásolja őket a környezet, továbbá generációk óta szabadon keverednek, mivel a nőket és a férfiakat a házastárs kiválasztásában nem befolyásolja a vércsoportok figyelembevétele (amint befolyásolhatják a látható jellegzetességek).

A rasszok megkülönböztetésére nem elegendő egyetlen vércsoport, ámde az összes vércsoport viszonylagos megoszlása a népességben jellemző lehet, ha elég nagy számú mérési adattal rendelkezünk. Az antropológia ezen ágának egyik vezéralakja William Clouser Boyd (1903-) amerikai immunológus. Az 1930-as években feleségével együtt a föld különböző részeire utazott a népesség vértípusainak megállapítására. Az így nyert és mások által hasonlóan megállapított adatok alapján Boyd 1956-ban az emberi fajt 13 csoportba tudta besorolni. Ezek legtöbbször logikusan követi a földrajzi eloszlást. A meglepetés azonban az volt, hogy létezik egy „korai európai” faj, amelyet az RH negatívnak nevezett vércsoport előfordulásának szokatlanul nagy gyakorisága jellemez. A korai európaiakat a modern európaiak nagyrészt kiszorították, de maradványuk (a baszkok) még ma is él a nyugati Pireneusok hegyeiben.

A vércsoport-gyakoriságot arra is fel lehet használni, hogy nyomon kövessünk történelem előtti vándorlásokat, sőt néhány olyant is, amely nem a történelem előtti időkben ment végbe. Így például a B vértípus százaléka a legmagasabb Közép-Ázsia lakóinál, nyugatra és keletre haladva ez a százalékarány egyaránt csökken. Hogy egyáltalán előfordul Nyugat-Európában, ezt egyesek annak tudják be, hogy az ókorban és a középkorban a közép-ázsiai nomádok, mint amilyenek a hunok és a mongolok, időnként betörték Európába.

A vírusbetegségek

A XX. század szerológiai a legjelentősebb sikereket a Pasteur és Koch korában még ismeretlen típusú mikroorganizmusokkal folytatott harcban érte el. Pasteur nem tudta megtalálni a veszettség kórokozóját, amelyet pedig csíraelmélete szerint kétségtelenül mikroorganizmusok által előidézett fertőző betegségnek kellett tartani. Pasteur feltételezte, hogy a mikroorganizmus

létezik, csak túl kicsi ahhoz, hogy az akkori technikai eszközökkel felfedezzék. Ebben, amint később kiderült, igaza volt.

Azt a tényt, hogy a fertőző tényező a megszokott baktériumoknál sokkal kisebb is lehet, a dohánynövényt sújtó betegséggel („dohánymozzaikbetegség”) kapcsolatban mutatták ki. Ismeretes volt, hogy a beteg növények nedve megfertőzi az egészségeket, és Dmitrij Joszifovics Ivanovszkij (1864-1920) orosz botanikus mutatta ki 1892-ben, hogy a nedv fertőző marad még akkor is, ha olyan finom szűrőkön engedik át, amelyek az összes ismert baktériumot visszatartják. Ezt tőle függetlenül Martinus Willem Beijerinck holland botanikus is felfedezte 1895-ben. Beijerinck a kórokozót „szűrhető vírusnak” nevezte. A vírus egyszerűen mérget jelent. Ez jelzi a *virológia* tudományának kezdetét.

Bebizonyították, hogy egyéb betegségeket is filtrálható vírusok okoznak. Friedrich August Johannes Löffler (1852-1915) német bakteriológus 1898-ban ki tudta mutatni, hogy a száj- és körömfájás betegséget vírus okozza; 1901-ben ugyanezt mutatta ki Reed a sárgalázról. Ezek voltak az első állati betegségek, amelyekről kimutatták, hogy vírus okozza. Más betegségekről is kimutatták, hogy vírus idézi elő őket. Ilyenek a gyermekbénulás, kiütéses tífusz, kanyaró, mumpsz, bárányhimlő, influenza stb.

Kiderült, hogy aki másnak vermet ás, maga esik bele, ugyanis 1915-ben egy angol bakteriológus, Frederick William Twort (1877-1950) azt tapasztalta, hogy néhány baktériumtelepe zavarossá válik, és azután feloldódik. Megszűrte ezeket az eltűnő telepeket, és úgy találta, hogy a szűrletben van valami, ami a rendes tenyészetek feloldódását okozza. Kiderült, hogy maguk a baktériumok is szenvedhetnek vírusbetegségben, és ezek a paraziták így a még kisebb paraziták áldozataivá váltak. Félix Hubert d'Hérelle (1873-1949) kanadai bakteriológus, Tworttól függetlenül, hasonló felfedezést tett 1917-ben, és a baktériumokat fertőző vírusokat „bakteriofágoknak” (baktériumevőknek) nevezte el.

A vírus okozta betegségek minden listáján a rák megoldatlan rejtvény maradt. A rák mint a halál oka, egyre jelentősebbé vált az elmúlt század folyamán. Miközben más betegségeket legyőztek, azok, amelyek megmaradtak (ezek között a rák), az emberiségből nagyobb részt követeltek a maguk számára. A rákos daganatok lassú és megmagyarázhatatlan terjedése, a gyakran hosszadalmas és fájdalmas halál a rákot az emberiség egyik legnagyobb rémévé tette.

A csíraelmélet kezdeti sikerei idején arra gondoltak, hogy a rák is baktériumos betegségnek bizonyul majd, de semmiféle baktériumot sem találtak. Amikor megállapították, hogy vírusok léteznek, a rák vírusa után kutattak, és azt sem találták meg. Ha ezt egybevetjük azzal a ténnyel, hogy a rák nem fertőző, ez sokakban azt a hitet kelti, hogy egyáltalán nem csíra eredetű betegség.

Bár lehet, hogy ez így van, de az is igaz, hogy ha nem is fedezték fel az általános vírust az általános betegséghez, a rák meghatározott típusaiban bizonyos vírushoz hasonló tényezőket találtak. Egy amerikai orvos, Francis Peyton Rous {1879-) 1911-ben egy csirkét tanulmányozott, amelynek szarkómája volt. Egyebek között elhatározta, kipróbálja, vajon a szarkómában van-e vírus. Ezért azt péppé őrölte és megszűrte. Azt tapasztalta, hogy a szűrlet más csirkékben daganatot idéz elő. Neki magának nem volt elég bátorsága ahhoz, hogy ezt a vírus felfedezésének nevezze, de másoknak volt.



Löffler

Körülbelül egy negyed századig a Rous-féle csirkeszarkóma-vírus volt az egyetlen nyilvánvaló példája annak, hogy van bizonyos fertőző tényező, amely képes rákot előidézni. Az 1830-as években és utána további példákat is találtak. Mindemellett a kérdés felderítetlen maradt, és a rákkutatás (az onkológia) az orvostudománynak még mindig egyik legnagyobb és kudarcokkal küszködő ága.

Bár a vírusok felépítése vagy negyven évig felfedezésük után is ismeretlen maradt, ez nem akadályozta meg azt, hogy logikus lépések ne történjenek a vírusbetegségek kezelésére. Valójában a himlő - az első betegség, amelyet az orvostudomány legyőzött -, vírus okozta betegség. A himlő elleni védőoltás arra készíti a testet, hogy antitesteket termeljen, kifejezetten a himlővírus ellen, és ilyenformán ez a szerológiai módszer egyik fajtája. Feltehetően minden vírusbetegséget el lehetne háritani valamilyen szerológiai kezeléssel.

A nehézség itt abban rejlik, hogy olyan vírustörzset kell találni, amely nem idéz elő veszedelmes tüneteket, és a virulens vírusok ellen a szükséges antitestek termelését mégis elindítja (mint ahogy a himlő esetében ezt a szolgálatot a tehénhimlő látja el). Ezt a fegyvert használta fel Pasteur a baktérium okozta betegségek elleni védekezésben, de a baktériumokat nagyobb nehézség nélkül lehet tenyészteni, és könnyen lehet oly módon kezelni őket, hogy legyengített törzsek keletkezzenek.

A vírus, sajnos, csak élő sejtekben tud élni, és ez növeli a probléma nehézségét. Így Max Theiler (1899-) dél-afrikai mikrobiológus az 1930-as években oltóanyagot állított elő a sárgaláz ellen, de ez csak úgy sikerült, hogy a sárgalázvírust fáradtságosan először majmokba vitte át és azután egerekbe. Az egérben a vírus encephalitist, vagyis agyvelőgyulladást okozott. A vírust egérről egérré vitte tovább, és végül visszajuttatta a majmokba. Ekkorra már a vírus legyengült, már csak igen gyenge sárgalázrohamot tudott előidézni, mégis teljes immunitást biztosított a legvirulensebb vírustörzsek ellen is.

Időközben Koch tenyésztéshez használt húsvésének élő mását találta fel egy amerikai orvos, Ernest William Goodpasture (1886-1960), aki 1931-ben bevezette az élő csirkeembriók felhasználását a vírusok tenyésztésére. Ha tojáshéj tetejét eltávolítjuk, a tojáshéj megmaradt része természetes Petri-csészéül szolgál. Theiler 1937-ben egy még biztosabb sárgaláz elleni oltóanyagot állított elő azzal, hogy egy nem virulens vírustörzset különített el azon vírusok közül, amelyet közel kétszázszor vitt tovább csirkeembrióról csirkeembrióra.

Az új szerológiai módszerrel a leglátványosabb eredményt a gyermekbénulással kapcsolatban érték el. A vírust először Landsteiner különítette el 1908-ban, és ugyancsak elsőként vitte át a betegséget majmokra. A majmok azonban drága és nehezen kezelhető kísérleti állatok, és nem gyakorlati megoldás úgy keresni egy nem virulens vírustörzset, hogy majmok tömegét fertőzzük meg.

John Franklin Enders (1897-) amerikai mikrobiológus két fiatal társával, Thomas Huckle Wellerrel (1915-) és Frederick Chapman Robbinsszal (1916-) 1948-ban megkísérelte a vírust péppé őrölte és vérben szuszpendált csirkeembriókban kitenyészteni. Hasonló kísérletet mások már korábban is tettek, az erőfeszítést azonban nem koronázta siker, mivel akár szaporodtak a vírusok, akár nem, a gyorsan szaporodó baktériumok kiszorították őket. Endersnek azonban az az ötlete támadt, hogy tenyésztéséhez a nemrég felfedezett penicillint adja hozzá. Ez megállította a baktériumok szaporodását, anélkül, hogy érintette volna a vírusokat, és ilyen módon sikeresen tenyésztette ki a mumpsz vírusát.

Legközelebb ugyanezzel a módszerrel megkísérelte a gyermekbénulás vírusát kitenyészteni, és 1949-ben ez is sikerült. Most lehetségessé vált, hogy könnyen és nagy mennyiségben tenyesszék a vírust, úgyhogy a törzsek százai között kereshették a megfelelő tulajdonságú legyengített

vírustörzset. Albert Bruce Sabin (1906-) lengyel származású amerikai mikrobiológus 1957-ben a betegség mind a három változata ellen felfedezte a gyermekbénulás vírusának egy-egy legyengített törzsét, és hatásos oltóanyagot állított elő.

Hasonló módon Enders és munkatársa, Samuel Lawrence Katz (1927-) az 1960-as évek elején a kanyaróvírus egy legyengített törzsét tenyésztették ki, amely oltóanyagként szolgálhat a gyermekbetegség veszélyének megszüntetéséhez.

Az allergia

A szervezet az immunizáló mechanizmust nem mindig úgy használja fel, ahogy az számunkra előnyös. Testünk kifejlesztheti azt a képességet, hogy antitesteket állít elő bármilyen idegen fehérjével szemben, még az olyannal szemben is, amelyről esetleg úgy véljük, hogy ártalmatlan. Ha egyszer már a szervezet ilyen módon „érzékeny” vált, a fehérjével történő találkozásakor különböző kellemetlen módon reagál: az orrban a nyálkahártya megduzzad, nyálkatúltermelés, köhögés, tüsszentés, a szem könnyezése, a tüdőben a kis hörgők összehúzódása (asztma) következik be. Röviden, a test „allergiás”. Egészen mindennapos, hogy az allergia valamely étellel kapcsolatos, úgyhogy az abban szenvedő egyén viszkető kiütéseket („csalánkiütést”) kap, ha nem vigyáz az étrendjére, továbbá az év bizonyos időszakaiban a növények levegőben szálló pollenjére (virágpor) reagál, és - helytelenül nevezve - „szénanáthát” kap.

Mivel az antitestek más emberi lények fehérjéivel szemben is képződnek (amennyiben ezek eléggé idegenek), ebből az következik, hogy minden emberi lény (kivéve az ikreket) egy-egy külön vegyi egyéniség. Ezért nem sok sikerrel kecséget az egyik ember bőrének vagy más szerveknek átültetése egy másikba. Még akkor is, ha a fertőzés a modern aszeptikus technika révén megelőzhető, az átültetett szövetet befogadó beteg kifejleszti azokat az antitesteket, amelyek az átültetett rész lelökéséhez kellene. Ez hasonló a vérátömlesztés nehézségeihez, de itt a probléma sokkal nehezebb, mivel az emberi szöveteket nem lehet a vérhez hasonlóan néhány átfogó típusba sorolni.

Ez annál sajnálatosabb, mert a biológusok már megtanulták, hogy hogyan lehet egy bizonyos ideig a test részeit életben tartani. A kísérleti állatból kivett szívet hosszabb ideig minden nagyobb fáradtság nélkül úgy lehet tartani, hogy tovább dobog, és Sydney Ringer (1834-1910) angol orvos 1880-ban olyan oldatot állított össze, amely különböző szervetlen sókat tartalmaz, olyan arányokban, amilyenekben azok a vérben előfordulnak. Ez helyettesíti azt a mesterséges keringő folyadékot, amely az elkülönített szervet egészen tekintélyes ideig életben tartja.

A szervek életben tartásának módját a megfelelő ionokat tartalmazó tápoldatok segítségével, a francia származású amerikai sebész, Alexis Carrel (1873-1944) művészetté fejlesztette. Csirkeembrió egy szívdarabját több mint húsz éven át tartotta életben és növekedésben (időnként körül kellett vágni).

A szervátültetés tehát életveszély esetén a mai műtéti technika mellett megfelelő megoldás volna, ha nem akadályozná az antitest reakciója. Ez alól csak néhány kivétel van. Így a szem szaruhártyájának átültetése ma már mindennapos műtét, s az 1960-as években olykor sikeresen

ültettek át vesét is.

Frank Macfarlane Burnet (1899-) ausztráliai orvos 1949-ben annak a sejtésének adott hangot, hogy a szervezet antitesttermelő képessége nem feltétlenül születik vele, hanem csak utólag fejlődik ki, valószínűleg az élet legelején. Peter Brian Medawar (1915-) angol biológus ezt az elgondolást kísérletesen megvizsgálta, úgy, hogy egérembriókba más törzsből származó egerek szöveti sejtjeit oltotta be (olyanokét, amelyeknek az előbbiekkal nem voltak közös őseik). Ha az embrióban még nem fejlődött ki az antitestek termelésének a képessége, akkor lehetséges, hogy azok a fajidegen fehérjék, amelyekkel beoltották, akkor sem lesznek többé idegenek, amikor az embrió független életet kezd, és már elő tudja állítani az antitesteket. Kiderült, hogy ez valóban így van. Az az egér, amelyet már embrió korában beoltottak, képes volt befogadni bőrátültetést egy olyan törzs egereitől, amelyektől e beoltás nélkül nem lett volna képes.

A csecsemőmirigyről eddig nem tudták, egyáltalán van-e valami feladata, de 1961-ben felfedezték, hogy a szervezet antitesttermelő képessége a csecsemőmirigytől ered. A csecsemőmirigy limfocitákat (a fehér vérsejtek egy fajtája) termel; amelyeknek a feladata az antitestek előállítása. Röviddel a születés után a csecsemőmirigy által termelt limfociták a nyirokcsomókba és a vérkeringésbe jutnak. Egy idő után a nyirokcsomók maguk folytatják a munkát, és a pubertásban a csecsemőmirigy, miután feladatát elvégezte, visszafejlődik, majd elsorvad. Hogy ennek az új felfedezésnek mi lesz a hatása az esetleges szervátültetésekre, az csak ezután fog kiderülni.

XII. fejezet

Az anyagcsere

A kemoterápia

A bakteriális betegségek ellen küzdeni bizonyos szempontból egyszerűbb, mint a vírusbetegségek ellen. Amint az előző fejezetben elmondtuk, a baktériumokat könnyebben lehet tenyészteni. Ráadásul a baktériumok sebezhetőbbek is. A sejteken kívül élve, úgy okozzák a bajt, hogy eredményesen kelnek versenyre velük a tápanyagokért, vagy pedig toxikus anyagokat szabadítanak fel. Ezzel szemben kémiai berendezésük vagy anyagcseréjük, legalábbis bizonyos vonatkozásokban, általában különbözik a gazdasejtektől. Ezért mindig megvan annak az esélye, hogy olyan vegyi anyagokat találjunk, amelyek anyagcseréjüket károsítják, anélkül, hogy a gazdasejtek anyagcseréjét komolyabban érintenék.

A különféle vegyi anyagok használata a betegségek ellen a történelem előtti időkre nyúlik vissza. A „jvasasszonyok” kotyvalékai, amelyek készítésének tudománya tapasztalati úton szállt nemzedékről nemzedékre, egyes esetekben használtak is a betegnek. A kinin alkalmazása a maláriaparazita ellen a legjobban ismert példa egy olyan vegyszerre, amely először mint népi gyógyszer terjedt el, később az orvosok elfogadott gyógyszere lett.

Amikor tömegesen kezdték előállítani az olyan szerves vegyületeket, amelyek a természetben nem fordulnak elő, felmerült az a gondolat, hogy az addigiaknál bizonyára sokkal több specifikus gyógyszert lehetne találni, s így minden betegségnek lehet sajátos gyógyszere. Ennek a nézetnek kimagasló korai képviselője volt Ehrlich, aki úgy beszélt a kémiai gyógyszerekről, mint „varázsgolyókról”, amelyek megkeresik a csírákat és leterítik, a test sejtjeit pedig békében hagyják.

Szintetikus festékanyagokkal dolgozott, amelyek megfestették a baktériumokat, és mivel ezek a festékanyagok specifikusan egyesülnek a baktériumsejt valamelyik alkotóelemével, ezért az is várható, hogy károsítják a baktériumsejt működését. Remélte, hogy talál egy olyan festéket, amely ezt a szervezet sejtjeinek különösebb károsítása nélkül is megteszi. Valóban, felfedezett egy festékanyagot, a „tripán-vöröst”, amely elpusztította azokat a tripanoszomákat (inkább protozoák, mint baktériumok, de az elv ugyanúgy vonatkozott rájuk is), amelyek például az álmokort okozzák.

Ehrlich valami jobb után kutatott. Megállapította, hogy a tripánvörös hatása a benne levő nitrogénatomok kombinációján alapul. Az arzénatomok vegyi tulajdonságaikban hasonlítanak a nitrogénatomokhoz, azzal a különbséggel, hogy általában a vegyületeknek még mérgezőbb tulajdonságot kölcsönöznek. Ez vezette Ehrlichet arra a gondolatra, hogy megvizsgálja az arzénvegyületeket. Százával próbálta ki az arzént tartalmazó különböző benzolszármazékokat, míg végre egyik munkatársa 1909-ben felfedezte, hogy a 606. számú vegyület, amelyet a tripanoszómák ellen eredménytelenül próbált ki, igen hatásos a szifilisz kórokozója ellen. Ehrlich a vegyszert elnevezte „salvarsannak”, és életének hátralevő részét annak szentelte, hogy tökéletesítse szerének alkalmazási technikáját.

A tripánvörös és a salvarsan jelezte a modern *kemoterápia* kezdetét (a betegségek vegyszerekkel való kezelése; a szó Ehrlich-től származik), és a tudósok egy ideig nagyon reménykedtek abban, hogy egyéb betegségek is hasonló módon lesznek kezelhetők. Sajnos, a salvarsan hatásának felfedezése után huszonöt éven keresztül úgy tűnt, hogy szintetikus szerves vegyületek terjedelmes listája nem kínál ennél többet.

Ekkor azonban a jó szerencse ismét felragyogott. Gerhard Domagk (1895-1969) német biokémikus és orvos, aki egy festékgyár számára dolgozott, az új festékanyagok rendszeres átvizsgálását kezdte meg, azzal a céllal, hogy kiválogassa azokat, amelyeket esetleg gyógyszerként lehetne felhasználni. A festékanyagok egyike volt az a nemrég szintetizált narancsvörös vegyület, amelyet kereskedelmi nyelven „prontosilnak” hívtak. Domagk 1932-ben azt tapasztalta, hogy a festékanyag befecskendezése erőteljesen hat az egerek streptococcusos fertőzésére.

Gyorsan alkalma nyílt arra is, hogy a vegyületet emberen próbálja ki. Kislánya tüsszúrás következtében streptococcus fertőzést kapott. Semmiféle kezelés nem használt, mire Domagk kétségbeesésében nagy adag prontosilinjekciót adott neki. A kislány csodálatosan gyorsan rendbejött, és a világ 1935-re már megtanulta az új gyógyszer nevét.

Nem sok idő telt el, és a francia bakteriológusok egy csoportja rájött arra, hogy az antibakteriális hatás kifejtéséhez nincs szükség az egész prontosilmolekulára. A hatást csak a vegyület „szulfanilamid” csoportja idézi elő, amelyet a vegyészek 1908 óta ismertek. A szulfanilamid és a vele kapcsolatos „szulfá”-vegyületek használata megnyitotta a „csodagyógyszerek” korszakát. A fertőzések betegségei egész sora, különösen a tüdőgyulladások meghatározott fajtái, egyszerre elvesztették félelmetes hírüket.

Az antibiotikumok és a peszticidek

A vegyi terápia legnagyobb sikere mégsem a szintetikus vegyületekhez fűződött - mint amilyen a salvarsan és a szulfanilamid -, hanem a természetes anyaghoz. Egy francia származású amerikai mikrobiológus, René Jules Dubos (1901-) a talaj mikroorganizmusaival foglalkozott. A legkülönbözőbb betegségekben elhullott állatok tetemei végül is a talajba kerülnek, és a talaj, ritka kivételektől eltekintve, mégsem okoz fertőzést. Nyilvánvaló, hogy a talajban antibakteriális tényezők vannak. Az ilyen tényezőket később „antibiotikumoknak” nevezték el.



Domagk

Dubos 1939-ben különítette el az első antibiotikumot, a „tirothricint” egy taljbaktériumból. Ez ugyan nem volt különösebben hatásos, de mégis felébresztette az érdeklődést az iránt a megfigyelés iránt, amelyet egy skót bakteriológus, Alexander Fleming (1881-1955) tíz évvel korábban tett.

Fleming 1928-ban néhány napig fedetlenül hagyott egy staphylococcus baktériumtenyészetet. Már nem volt rá szüksége, és a tenyészetet tartalmazó Petri-csészét éppen ki akarta dobni, amikor

észrevette, hogy valamilyen penészgomba spórái estek bele, és minden ilyen spóra körül a baktériumtelep egy darabon feloldódott.



Fleming

Fleming izolálta a penészgombát, és megállapította, hogy az az úgynevezett *Penicillium notatum*, egy penészgombafaj, amely közeli rokona a száraz kenyéren gyakran található közönséges penésznek. Fleming megállapította azt is, hogy a penészgombából valamilyen vegyület szabadul fel, amely gátolja a baktérium szaporodását. Bármilyen is ez az anyag, elnevezte

„*penicillinnek*”. Addig vizsgálta, míg kimutatta, hogy egyes baktériumokra hat, másokra pedig nem, és nem ártalmas a fehér véresejtekre, feltehetően tehát nem ártalmas más emberi sejtre sem. Ennél tovább azonban nem tudott eljutni.

Az antibiotikumok iránt (amelyeknek a penicillin nyilvánvalóan egyike volt) Dubos munkája nyomán 1939-ben felébredt az érdeklődés. Ráadásul közeledett a második világháború, és a sebfertőzés leküzdésére szükség volt hatékony szerekre. Egy ausztráliai angol patológus, Howard Walter Florey (1898-) Ernst Boris Chain (1906-) biokémikussal együtt hozzájárított a penicillin izolálásához, hogy meghatározza szerkezetét, és megállapítsa, hogyan lehetne nagy mennyiségben előállítani. A háború végére már egy nagy angol-amerikai kutatócsoportot vezettek, és munkájuk fényes sikerrel járt. A penicillin az orvosok fertőzés elleni küzdelmének egyik fő fegyverévé vált, és jó darabig még az is marad.

A háború után egyéb antibiotikumok után kutattak, és találtak is. Selman Abraham Waksman (1888-) orosz származású amerikai bakteriológus éppen olyan rendszerességgel vette sorra a talajban levő mikroorganizmusokat, mint Ehrlich a szintetikus anyagokat. Egy antibiotikumot izolált 1943-ban, amely sok olyan baktérium ellen hatásos volt, amelyek ellen a penicillin nem használt. Ezt az antibiotikumot streptomycin néven hozták forgalomba 1945-ben. (Mellesleg Waksmantól származik az „antibiotikum” elnevezés.)

Az 1950-es évek elején „széles spektrumú antibiotikumokat” fedeztek fel, amelyek különösen sokféle baktérium ellen hatásosak. Ezek a „tetraciklinek” a laikus közönség «lőtt jobban ismertek a kereskedelmi nevükön pl. Tetrán). Az antibiotikumok felfedezésének eredményeképpen a bakteriális betegségeket oly mértékben kordában lehetett tartani, hogy ez, csupán egy generációval előbb is, túl optimistának látszott volna. Ennek ellenére, a jövő nem teljesen rózsás. A természetes kiválasztódás eredményeként fennmaradnak olyan baktérium egyedek, amelyek ellenállóbbak az antibiotikumokkal szemben, s így rezisztens törzsek alakulnak ki. Ennek következtében az egyes antibiotikumok hatékonysága idővel csökken. Bizonyára új antibiotikumokat is fedeznek majd fel, úgyhogy a jövő miatt nem kell aggódnunk. A különböző kemoterápiás szerek általában nem hatnak a vírusokra. Ezek az élő sejteken belül szaporodnak, és kémiai módszerekkel csak úgy lehet megölni őket, ha magát a sejtet is megöljük. A közvetett módszerek azonban eredményesek lehetnek, ugyanis egy vegyszer, bár magát a vírust nem bántja, de megölheti a vírust gazdaként hordozó többsejtű lényt.

A kiütéses tífusz vírusát például a ruhatetű terjeszti, egy olyan élősd, amelytől nehezebben lehet megszabadulni, mint a szabadban élő szúnyogtól, mivel annyira szorosan tapad a mosdatlan, váltás nélkül viselt ruházatban levő emberi testhez. A sárgalázat és a maláriát meg lehetett fékezni a szúnyogok elpusztításával, de a kiütéses tífusz rendkívül veszélyes maradt, és az első világháború alatt esetenként több halált okozott mindkét oldalon, mint az ellenséges tüzérség.

Egy svájci vegyész, Paul Müller Hermann (1899-) 1935-ben elhatározta, hogy olyan szerves vegyületet keres, amely a rovarokat gyorsan megöli, de a többi állat életét nem veszélyezteti. Müller 1939 szeptemberében azt tapasztalta, hogy a diklór-difenil-triklóretán (elterjedt rövidítése: DDT), amelyet először 1873-ban szintetizáltak, eleget tesz a követelménynek. Ezt a vegyületet 1942-ben már ipari méretekben állították elő, és 1943-ban már felhasználták egy tífuszjárvány alatt, amely Nápolyban tört ki, nem sokkal azután, hogy az angol-amerikai seregek elfoglalták a várost. A lakosságot beszórták DDT-vel, ez a ruhatetűt elpusztította, és - a történelemben először

- egy téli tífuszjárványt sikerült csírájában elfojtani. Hasonló járványt állítottak meg 1945-ben Japánban, azután, hogy az amerikai erők megszállták az országot.

A második világháború után a DDT-t és egyéb szerves rovarirtó szereket nemcsak azért használtak a rovarok ellen, hogy betegséget előzzenek meg, hanem azért is, hogy elhárítsák azokat a károkat, amelyeket a rovarok az ember táplálékául szolgáló termésben okoznak. Gyomirtókat is készítettek, és ezeket, a rovarirtókkal együtt, „peszticideknek” nevezzük. Itt is előfordul, hogy a rovarok kifejlesztenek ellenálló törzseket, és bizonyos irtószerek hatása idővel csökken. Viszont sokan attól tartanak, hogy a peszticidek válogatás nélküli használata feleslegesen megöl sok olyan élőlényt, amelyek nem ártalmasak az emberre, és ez a természet egyensúlyát annyira megzavarja, hogy végeredményben többet árt, mint használ.

Ez komoly probléma. Az élet különböző formái közötti kapcsolatoknak a tana (ökológia) nehéz és bonyolult, és még sok minden van itt, amit meg kell ismernünk. Az emberiség a környezetet folyamatosan megváltoztatja, mert ez rövid időre valamilyen előnnyel jár, de sohasem lehetünk teljesen biztosak abban, hogy az élet szövevényében végrehajtott változtatások, még ha látszólag nem is jelentősek, nem okoznak-e majd kárt hosszú idő elmúltával.

Az anyagcsere közbülső termékei

A kemoterápiás szerek hatása a rovarokra, a gyomnövényekre és a mikroorganizmusokra abból áll, hogy megzavarja az anyagcsere mintáját („pattern”), más szóval, szabotázst okoz a szervezet vegyi gépezetében. Az ilyen anyagok utáni kutatást egyre tervszerűbbé teszi az anyagcsere részleteire vonatkozó ismeretek gyarapodása.

Ebből a szempontból az utat egy angol biokémikus, Arthur Harden (1865-1940) nyitotta meg. Az élesztőkivonatban levő enzimek érdekelték (arról a kivonatról van szó, amelyről Buchner kimutatta, hogy éppen olyan hatékonyan bontja le a cukrot, mint maga az élesztősejt). Harden 1905-ben észrevette, hogy az egyik kivonat kezdetben bontja ugyan a cukrot, és gyorsan termeli a széndioxidot, de később e tevékenység sebessége csökken. Lehetségesnek látszott, hogy ennek oka a kivonatban levő enzim fokozatos elhasználódása, de Harden kimutatta, hogy nem így van. Ha ugyanis kis mennyiségben nátriumfoszfátot (egy egyszerű szervetlen vegyület) adott az oldathoz, az enzim ismét működni kezdett, és éppen olyan jól dolgozott, mint korábban.

Mivel a szervetlen foszfát koncentrációja az enzimreakció folyamán csökkent, Harden a belőle képződött valamilyen szerves foszfát után kutatott, és ezt meg is találta egy olyan cukormolekula formájában, amelyhez két foszfátcsoport kapcsolódott. Ezzel kezdődött el az „intermedier-anyagcsere” tanulmányozása: azoknak a vegyületeknek a kutatása, amelyek az élő szövetben végbemenő kémiai reakciók folyamán, mint - néha igen gyorsan átalakuló - közbülső termékek keletkeznek.

E kutatásnak csak néhány főbb vonalát vázoljuk fel. Ottó Fritz Meyerhof (1884-1951) német biokémikus 1918-ban és az utána következő években kimutatta, hogy az izom összehúzódásakor glikogén (a keményítő egy formája) tűnik el, és ugyanakkor megfelelő mennyiségben tejsav jelenik meg. A folyamat során oxigén nem használódik el, vagyis oxigén nélkül termelődik

energia. Később, amikor az izom a munkavégzés után pihent, a tejsav egy része oxidálódik (molekuláris oxigén használódott tehát el ahhoz, hogy kifizessék az „oxigénadósságot”). Az így termelt energia teszi lehetségessé, hogy a tejsav nagy része visszaalakuljon glikogénné. Archibald Vivian Hill (1886-) angol fiziológus körülbelül ugyan ebben az időben ugyanerre az eredményre jutott, oly módon, hogy az összehúzódó izom által fejlesztett hőt finom műszerekkel megmérte.

A glikogén tejsavvá történő átalakulásának a részleteit az 1930-as években a cseh származású amerikai biokémikus, Carl Ferdinand Cori (1896-) és felesége, Gerty Theresa Cori (1896-1958) dolgozták ki. Az izomszövetből izoláltak egy addig ismeretlen vegyületet, a glukóz-1-foszfátot (ma is „Cori-észternek” hívják), és kimutatták, hogy a glikogén lebontásának ez az első terméke. Pontosán követték a glukóz-1-foszfát további sorozatos átalakulásait, és minden egyes közbülső terméket beillesztettek a lebontás láncolatába. Az egyik közbenső termék azon cukorfoszfátnak bizonyult, amelyet egy generációval korábban Harden elsőnek fedezett fel.

Fontos eredmény volt, hogy Harden és Cori a közbenső termékek kutatása során foszfátot tartalmazó szerves vegyületekhez jutottak. A XX. század első harmadában a foszfátcsoport fontos szerepet játszik egy sereg biokémiai mechanizmusban. Fritz Albert Lipmann (1899-) német származású amerikai biokémikus ezt úgy magyarázta meg, hogy kimutatta : a foszfátcsoportok a molekulákban kétféle kötéstípusban fordulhatnak elő: alacsony- és magasenergiájú kötésekben. Amikor a keményítő vagy a zsír molekulái lebomlanak, a felszabaduló energia arra használódik fel, hogy az alacsonyenergiájú foszfát alakul magasenergiájú foszfáttá. Az energia ilyen módon raktározódik el könnyen kezelhető kémiai alakban. Egy magasenergiájú foszfát lebontásakor éppen elég energia válik szabaddá ahhoz, hogy létrejűjenek a testben végbemenő, energiát igénylő kémiai változások.

Eközben egy német biokémikus, Otto Heinrich Warburg (1883-) egy új eljárást fejlesztett ki, amely lehetővé tette azoknak a lépéseknek a tanulmányozását, amelyek a glikogénnek tejsavvá történő lebontása után következnek, és oxigént igényelnek. 1923-ban módszert dolgozott ki vékony szövetmetszetek készítésére (amelyek még élnek, és oxigént fogyasztanak) és ezek oxigénfelvételének a mérésére. Vett egy kis lombikot, amelyet vékony U alakú csőhöz kapcsolt. Az U alakú csőbe színes oldatot öntött. A szövet által termelt széndioxidot a lombikban levő és lúgos oldatot tartalmazó miniatűr cső nyelte el. Amint oxigén használódott fel, de anélkül, hogy azt a cső levegőjében a széndioxid pótolta volna, a lombikban részleges vákuum állott elő, és az U alakú csőben a folyadék felfelé, a lombik felé szívódott. A folyadék szintjében bekövetkezett változás sebességét gondosan ellenőrzött körülmények között mérve, meg lehetett állapítani az oxigénfelvétel sebességét.

Ily módon tanulmányozni lehetett a különböző vegyületek hatását az oxigénfelvétel sebességére. Ha egy vegyület az oxigénfelvétel sebességét annak csökkenése után újból helyreállította, akkor feltételezhető volt, hogy az a vegyület az oxigénfelvételben szerepet játszó reakciók sorozatában egy közbülső termék. **Szent-Györgyi Albert** (1893-) magyar biokémikus és Hans Adolf Krebs (1900-) német származású angol biokémikus igen nagy eredményt ért el ezen a területen.

Krebs 1940-re már kidolgozta a tejsav széndioxiddá és vízzé való átalakulásának az összes főbb lépéseit. Ezt a reakciósort gyakran nevezik „Krebs-ciklusnak”. Korábban, az 1930-as években Krebs ugyancsak kidolgozta azokat a fő lépéseket, amelyeken keresztül a karbamid, mint végtermék, a fehérjék aminosav építőköveiből képződik. Ezzel eltávozik a nitrogén, és az

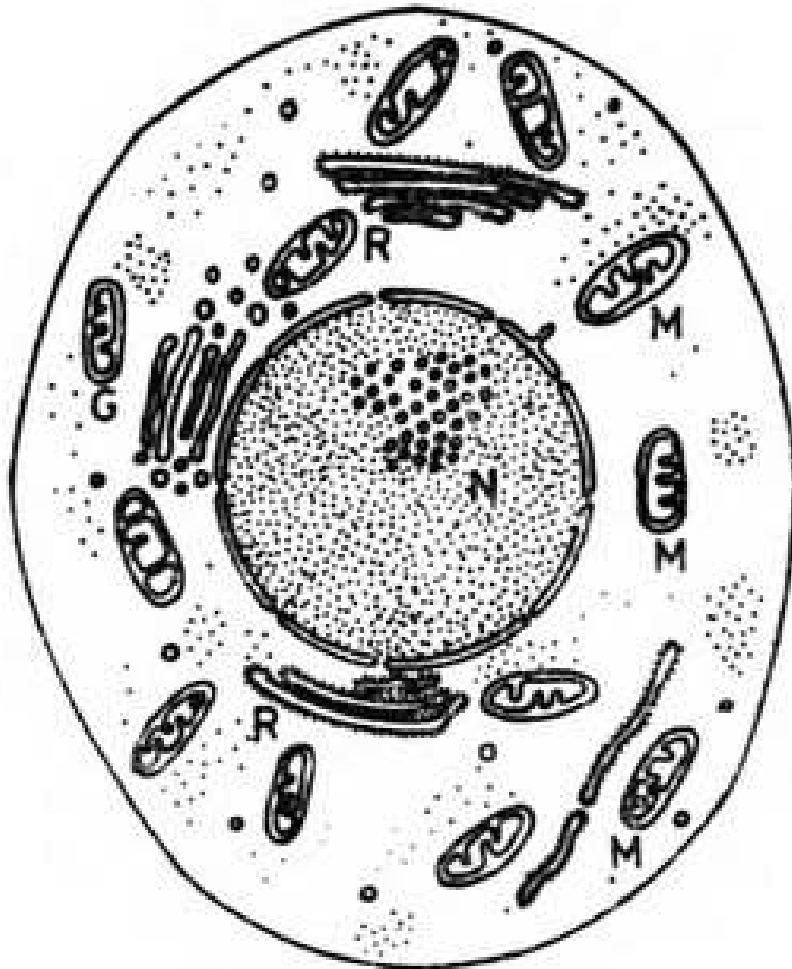
aminosav-molekulák megmaradt része, amint azt Rubner közel fél évszázaddal korábban kimutatta, úgy bomlik le, hogy közben energiát szolgáltat.



Szent-Györgyi

A sejtben lejátszódó kémiai folyamatok megismerésével párhuzamosan bővültek a sejt finomszerkezetére vonatkozó ismeretek is. Erre a célra új vizsgálati módszerek jelentek meg. Az 1930-as évek elején elkészült az első elektronmikroszkóp. Ez az elektronsugár és nem a fénysugár fókuszolásával nagyít, és az eredmény az, hogy sokkal nagyobb nagyítás lehetséges,

mint a hagyományos fénymikroszkóppal. Vladimir Kosma Zworykin (1889-) orosz származású amerikai fizikus a műszert módosította, és odáig finomította, hogy az a ökológiában gyakorlati és hasznos eszközzé vált. Olyan részecskék, amelyek nem nagyobbak, mint az igen nagy molekulák, láthatókká váltak. Így sikerült kimutatni azt is, hogy a sejt protoplazmája nem más, mint kicsi, de igen szervezett struktúrák együttese, amelyeket „organellumoknak” (sejtrészecskéknek) vagy „partikulumoknak” neveznek.



A sejt általános szerkezete, ahogyan az elektronmikroszkópon keresztül látni
N a nukleusz (mag), a magon belül a sötétebb terület a nukleolusz (sejtmagvacska), M jelöli a mitokondriumokat, G a Golgi-testeket és R a részecskékkel borított hártókból álló reticulumot. A pontok itt és a sejtben mindenhol a fehérjeszintézis központjait, a riboszómákat ábrázolják

Az 1940-es években kidolgozták annak a technikáját, hogyan lehet a sejteket feldarabolni, és a különböző organellumokat nagyságuk szerint elválasztani egymástól. Ezek között a nagyobbak és a könnyebben tanulmányozhatók a „mitokondriumok” voltak. Egy tipikus májsejt körülbelül ezer mitokondriumot tartalmaz, mindegyik pálca alakú test, hossza a milliméter 2-5 ezred része. Ezeket különösen részletesen vizsgálták David Ezra Green (1910-) amerikai biokémikus és munkatársai, és azt találták, hogy ezekben mennek végbe a Krebs-ciklus reakciói. Mindazok a reakciók, amelyek molekuláris oxigén felhasználásával járnak, itt zajlanak le az enzimek

segítségével, amelyek minden egyes mitokondriumon belül megfelelő szervezettségben elrendeződve katalizálják a különböző reakciókat. A kicsi organellum ily módon a sejt „energiatelepe”.

A radioaktív izotópok

Az anyagcsere-reakciók bonyolult láncolatának vizsgálatát nagyon megkönnyítette az atomok egy speciális változatának, az „izotópoknak” a használata. A XX. század első harmadában a fizikusok felfedezték, hogy a legtöbb elem több ilyen izotóp keveréke. A test ezek között különösképpen nem tesz különbséget, de kidolgoztak olyan laboratóriumi felszereléseket, amelyek erre képesek.

Rudolf Schönheimer (1898-1941) német származású amerikai biokémikus volt az első, aki nagy mennyiségben használt izotópokat a biokémiai kutatásban. A hidrogén egy ritka izotópja, a nehézhidrogén 1935-ben már kielégítő mennyiségben állt rendelkezésre. Schönheimer arra használta fel ezt az izotópot, hogy olyan zsírmolekulákat szintetizáljon, amelyek a nehézhidrogén- vagy „deuterium”-atomot tartalmazták a rendes hidrogénatomok helyén. Ezeket beiktatták a kísérleti állatok étrendjébe, és az állatok szövetei a nehézhidrogén-tartalmú zsírral éppen úgy bántak, mintha rendes zsír lett volna. Az állatok testét felépítő zsírok nehézhidrogén-tartalmának elemzése az anyagcserére új és meglepő fényt vetett.

Korábban az volt a felfogás, hogy a szervezet zsírraktárai általában változatlanok, és csak éhezéskor kerülnek mozgósításra. Amikor azonban Schönheimer nehézhidrogén zsírral etetett patkányokat, és utána elemezte a zsírraktárakat, azt találta, hogy négy nap után a szöveti zsír közel a felét tartalmazta annak a nehézhidrogén-mennyiségnek, amelyet az állattal feletettek. Más szóval, a megemésztett zsírt az állatok elraktározták, és a már raktáron levő zsírból használtak fel. A testben gyors anyagforgalom folyik, és az alkatelemek állandóan cserélődnek.

Schönheimer azzal folytatta kísérleteit, hogy aminosavakba 15-ös atomsúlyú nitrogénatomot (^{15}N) („nehéznitrogént”) épített. Patkányokat táplált az aminosavak olyan keverékével, amelyek közül csak az egyik fajta tartalmazott nehéznitrogént, és azt tapasztalta, hogy egy rövid idő után a patkányban levő valamennyi különböző aminosavban meg lehet találni a nehéznitrogént. Itt is állandó változásról van szó. A molekulák gyorsan cserélődnek, és átalakulnak, még akkor is, ha a teljes változás maga esetleg csak csekély mértékű.

Elvileg a változások pontos sorrendjét követni lehetne oly módon, hogy megkeressük azokat a különböző vegyületeket, amelyekben az izotóp egymás után megjelenik. Ezt legkönnyebben a radioaktív izotópokkal lehetett megtenni, ezek az atomfajták ugyanis nemcsak súlyukat tekintve rendkívüliek, hanem azért is, mert elbomlanak, és nagy sebességű és energiájú részecskéket bocsátanak ki magukból. Ezeket a részecskéket könnyű észlelni, úgyhogy már nagyon kis mennyiségű radioaktív izotóp is elegendő a kísérletezéshez. A második világháború után az atomreaktorok segítségével nagy mennyiségben állítottak elő radioaktív izotópokat. Ráadásul felfedezték a szén egyik radioaktív izotópját (^{14}C), és úgy találták, hogy különösen jól használható.

A radioaktív izotópok tették lehetővé például, hogy Melvin Calvin (1911-) amerikai biokémikus

kidolgozza a fotoszintéziskor lezajló reakciósor sok finom részletét, vagyis azt, hogy mi módon alakítja át a zöld növény a napfényt vegyi energiává, és látja el az állatvilágot étellel és oxigénnel.

Calvin széndioxidot juttatott néhány másodpercen át a fénynek kitett mikroszkopikus növényi sejtekhez, majd a sejteket megölte. Feltehetően a fotoszintézis reakcióláncolatában csak az első lépéseknek volt alkalmuk befejeződni. A sejteket összezúzta, és a papírkromatográfiának nevezett technika segítségével (amelyet a következő fejezetben fogunk leírni) alkotóelemeiket szétválasztotta. De vajon ezen alkotórészek közül melyek képviselik a fotoszintézis első lépését, és melyek azok, amelyek egyéb ok miatt vannak jelen?

Calvin erre válaszolni tudott, mivel a széndioxid, amelyet a növényi sejtekhez juttatott, molekuláiban radioaktív ^{14}C -t tartalmazott. Minden anyag, amely a fotoszintézis során a széndioxidból keletkezett, maga is radioaktívvá válik, és ezt könnyen meg lehetett állapítani. Ez volt annak az 1950-es években végbement kutatási sorozatnak a kezdőpontja, amely végül a fotoszintézis fő lépéseiről hasznos sémát szolgáltatott.

XIII. fejezet

A molekuláris biológia: a fehérje

Enzimek és koenzimek

Az anyagcsere sémája, amint az a XX. század közepe után egyre finomabb részleteiben vázolódott fel, tisztázta a sejtben levő enzimek szerepét. Minden anyagcsere-reakciót egy-egy külön enzim katalizál, és a séma jellegét a jelenlevő enzimek jellege és koncentrációja határozza meg. Hogy megértsük az anyagcserét, ahhoz tehát kívánatos volt az enzimek működésének a megértése.

Harden, aki a közbülső anyagcsere feltárását a XX. században megkezdte, az enzimeknek egy új oldalára is rávilágított. 1904-ben élesztőkivonatot helyezett egy félig áteresztő hártýából készült tasakba (olyanba, amely a kis molekulákat átengedi, de a nagyokat nem), és azt vízbe tette. A kivonathoz a kis molekulák a féligáteresztő hártýán keresztül eltávoztak, és egy kis idő után az élesztőkivonat már nem tudott tovább cukrot lebontani.

Ez nem azért következett be, mert maga az enzim távozott a tasak falán át, mivel a tasakon kívül levő víz sem tudott cukrot bontani. Ha azonban a kinti vizet hozzáadták a tasakban levő kivonathoz, a keverék most már képes volt a cukor lebontására. Ebből arra következtettek, hogy az enzim (amely nagymolekulájú, és nem képes a hártýán áthatolni) tartalmazhat egy viszonylag kis molekulát, amely lazán van kötve, és így képes felszabadulni, majd a hártýán át diffundálni, és ez a kis molekula az enzim szerkezetének egy része, amely nélkülözhetetlen annak működéséhez. A kicsi, lazán kötött részt elnevezték „koenzimnek”.

Harder koenzimjének szerkezetét az 1920-as évek során Hans Karl von Euler-Chelpin (1873-) állapította meg. Egyéb enzimeket is találtak, amelyek tartalmaztak koenzimrészt és több ilyen enzimnek a felépítését tisztázták az 1930-as években. Amikor a vitaminok molekulászerkezetét is meghatározták, kiderült, hogy sok koenzim tartalmaz molekulájának részeként vitaminhoz hasonló szerkezetű atomcsoportokat.

Nyilvánvalóan a vitaminok a koenzimek olyan részeit képviselik, amelyeket a test maga nem tud előállítani, s így okvetlenül jelen kell lenniük az étrendben. Vitaminok nélkül a koenzimek nem képződhetnek, a koenzimek nélkül bizonyos enzimek hatástalanok, és így az anyagcsere folyamata végzetesen károsul. Az eredmény a vitaminhiány okozta betegség és esetleg halál.

Mivel az enzimek katalizátorok, amelyeket a test csak kis mennyiségben igényel, ezért a koenzimekre (és a vitaminokra is) csak kis mennyiségben van szükség. Ez megmagyarázza azt, hogy az étrend egy olyan alkotórésze, amely csak nyomokban van jelen, miért lényeges mégis az élethez. Könnyű volt meglátni, hogy az olyan ásványok, mint amilyen a réz, a kobalt, a molibdén és a cink sói, amelyekre csak nyomokban van szükség, bizonyára valamely enzim lényeges alkotórészei, és csakugyan izoláltak olyan enzimeket, amelyek ilyen elemekből egy vagy több atomot tartalmaztak.

De mi maga az enzim? Az egész XIX. századon keresztül egy titokzatos valami volt, olyan, amely csak hatásán keresztül észlelhető'. Leonor Michaelis (1875-1949) amerikai vegyész megfejtette a titkot azzal, hogy a fizikai kémia elvei szerint értelmezte az enzimeket. A kémiai reakciókinetika (a fizikai kémia egyik ága, amely a reakciók sebességét vizsgálja) szabályait alkalmazta, és 1913-ban levezetett egy olyan egyenletet, amely leírja azt a módot, ahogyan bizonyos adott körülmények között az enzim katalizálta reakció sebessége változik. Az egyenlet felállításakor feltételezte, hogy az enzim és az az anyag, amelynek reakcióját katalizálja, átmenetileg egyesül. Ez a szemléleti mód kiemelte azt, hogy az enzimek molekulák, amelyek azoknak a fizikai-kémiai törvényeknek engedelmeskednek, amelyeknek más molekulák is alá vannak vetve.

De milyen molekuláról van szó? Joggal feltételezték, hogy fehérje, mivel egy enzimoldat enyhe melegítés hatására könnyen elveszti aktivitását, és csak a fehérjemolekulákról tudták, hogy azok ennyire bomlékonyak. Ez azonban még csak feltételezés volt, és nem bizonyíték. Az 1920-as években Richard Willstätter (1872-1942) német vegyész azt állította, hogy az enzimek nem fehérjék. Érvei, amint kiderült, helytelenek voltak, de tekintélye elég nagy volt ahhoz, hogy véleményének jelentős súlyt kölcsönözzön.

Egy amerikai biokémikus, James Batcheller Sumner (1887-1955) azonban 1926-ben ismét felvetette annak a lehetőségét, hogy az enzimek a fehérjékhez tartoznak. Ebben az évben Sumner babból az „ureáz” elnevezésű enzimet vonta ki, amely a karbamidnak ammóniára és széndioxidra történő bomlását katalizálja.

A kivonás végrehajtása során Sumner azt tapasztalta, hogy egy pontnál számos apró kristályhoz jut. A kristályokat izolálta, majd feloldotta, és azt találta, hogy az oldatnak koncentrált ureáz aktivitása van. Akárhogy is próbálta a kristályoktól az enzim tevékenységét elválasztani, ez nem sikerült. A kristályok tehát azonosak voltak az enzimmel, és összes további kísérletei azt mutatták, hogy a kristályok szintén fehérjék. Az ureáz volt tehát az első enzim, amelyet valaha is kristályos formában előállítottak, továbbá az első enzim, amelyről vitathatatlanul kimutatták, hogy fehérje.

A kérdést véglegesen John Howard Northrop (1891-) amerikai biokémikus tisztázta. 1930-ban a gyomornedv fehérjebontó enzimjét, a pepszint kristályosította ki, amelyet 1932-ben a tripszin, majd 1935-ben a kimotripszin kristályosítása követte; a két utóbbi a hasnyálmirigy nedvében levő

fehérjebontó enzim. Ezekről is bebizonyosodott, hogy fehérjék. Azóta az enzimek tucatjait kristályosították ki, és mindegyik fehérjének bizonyult.

Az 1930-as évek közepétől az enzimek problémája egyértelműen összeolvadt a fehérjék általános problémájával.

Az elektroforézis és a röntgensugár-elhajlás

A XX. század első felében az új kémiai és fizikai eszközök kifejlesztése lehetővé tette a biokémikusok számára, hogy az igen nagy fehérjemolekulákat, amelyek - úgy látszik - az élet lényegét hordozzák, egyre finomabb módszerekkel vizsgálják. Valóban, ez új tudományterület, amely egyesíti a fizikát, a kémiát és a biológiát, és a létfontosságú óriásmolekulák működésének és finomszerkezetének tanulmányozását tekinti feladatának. Ez az új terület, a *molekuláris biológia* különösen jelentőssé (és eredményeiben valóban egészen látványossá) vált a második világháború után, és háttérbe kezdte szorítani a biológia többi részét.

Theodor Svedberg (1884-) svéd vegyész 1923-ban egy igen hatásos módszert vezetett be a fehérjemolekulák méreteinek a meghatározására. Ez az „ultracentrifuga” volt, egy forgó edény, amelyben több százezerszer nagyobb centrifugális erő lép fel, mint amekkora a közönséges gravitáció. Közönséges hőmérsékleten a vízmolekulák hőmozgása elég ahhoz, hogy a gravitáció vonzásával szemben az óriási fehérjemolekulákat szuszpenzió formájában lebegésben tartsa, de ekkora centrifugális erő ellenében, ez már kevés. A pergő centrifugában a fehérjemolekulák kezdenek kiválni, vagy „ülepedni”. Az ülepedés sebességéből a fehérjemolekulák molekulásúlya meghatározható. Egy átlagos nagyságú fehérjének, mint amilyen a vért vöröstre festő anyag, a hemoglobin, a molekulásúlya 67 000. Ez 3700-szor nagyobb, mint a vízmolekula, amelynek molekulásúlya csak 18. Egyéb fehérjemolekulák még ennél is nagyobbak, molekulásúlyuk több százezer is lehet.

A fehérjemolekula nagysága és bonyolultsága azt jelenti, hogy a molekula felületén bőségesen van hely olyan atomcsoportok elhelyezkedésére, amelyek elektromos töltést nyerhetnek. Mindegyik fehérje a felszínen a pozitív és negatív töltések jellegzetes elrendezését mutatja, amely egyrészt megkülönbözteti minden más fehérjétől, másrészt pedig meghatározott módon megváltozik a fehérjemolekulát körülvevő közeg savas kénhatásától. Ha egy fehérjeoldatot elektromos térbe helyezünk, az egyes fehérjemolekulák meghatározott sebességgel, amelynek nagyságát az elektromos töltés jellege, a molekula mérete és alakja stb. határozza meg, vagy a pozitív, vagy a negatív elektróda felé vándorolnak. Nincs két olyan fehérjeféleség, amely bármilyen feltételek mellett pontosan ugyanazzal a sebességgel vándorolna.

Arne Wilhelm Kaurin Tiselius (1902-) svéd vegyész, Svedberg tanítványa 1937-ben egy olyan készüléket tervezett, amely felhasználja a fehérjéknek ezt a tulajdonságát. Ez egy speciális csőből állt, amely derékszögű U-hoz hasonlóan volt kiképezve, és ezen belül egy fehérjekeverék az elektromos tér hatásának megfelelően vándorolhat. (Az ilyen vándorlást hívják elektroforézisnek). Mivel a keverék különböző alkotóelemei közül mindegyik a saját jellegzetes sebességével vándorolt, a készülékben a fehérjék fokozatosan szétváltak. A derékszögű U cső szétszedhető részekből állt, amelyeket el lehetett választani egymástól. A kísérletek során a

fehérjekeverék egyes komponensei valamelyik csőrészletbe kerültek, amely a többitől elkülöníthető volt.

Ezenkívül megfelelő cilindrikus lencsék segítségével meg lehetett figyelni a szétválás folyamatát, mivel az oldat törésmutatója a koncentráció változásával párhuzamosan szintén megváltozik. A fénytörés változásait le lehetett fényképezni, a kép hullámszerű mintát mutatott, amelynek alapján sikerült kiszámítani a keverékben jelenlevő minden egyes fehérjetípus mennyiségét.

Különösen a vérplazma fehérjéit vetették alá elektroforézisnek, és tanulmányozták vándorlásukat. Számos frakciót különítettek el, így egy albumin- és három globulincsoportot, mely utóbbiakat görög betűkkel: α -, β - és γ -globulinoknak jelölték. A γ -globulin-frakcióról kiderült, hogy ez tartalmazza az antitesteket. Az 1940-es évek során kidolgozták azokat a módszereket, amelyek segítségével a különböző fehérjefrakciók nagyobb mennyiségben előállíthatók.

Az ultracentrifugálás és az elektroforézis a fehérjemolekulának mint egésznek a tulajdonságaitól függ. A röntgensugarak felhasználása lehetővé tette a biokémikusok számára a molekulák belső szerkezetének a vizsgálatát. A röntgensugár nyalábja az anyagon áthatolva szétszóródik, és ott, ahol az anyagot felépítő részecskék szabályos rendben helyezkednek el (mint az atomok a kristályokban), ott a szóródás is szabályos. Ha egy röntgensugár-nyaláb e szóródás után fotográfiai emulzióra esik, szimmetrikus pontok mintázatát mutatja, amelyből az atomok kristályon belüli elrendeződése és egymástól való távolsága levezethető.

Gyakran megtörténik, hogy nagy molekulák olyan kisebb egységekből vannak felépítve, amelyek a molekulákon belül szabályosan helyezkednek el. Ez a helyzet a fehérjénél is, amelyek aminosavakból épülnek fel. Az aminosavak fehérjemolekulán belüli szabályos elrendeződése a röntgensugár nyalábjának szóródásában tükröződik. A keletkező szóródás kevésbé egyértelmű, mint egy kristály esetében, de így is alkalmas az elemzésre. Az 1930-as évek elején levezették az aminosav-egységek általános térbeli elhelyezkedését. Ez 1951-ben világosabbá vált, amikor Linus Pauling (1901-) amerikai vegyész kidolgozta az aminosavak elrendeződését, és kimutatta, hogy ezeknek az egységeknek a láncolata spirális lefutású, ún. helix. (Helix-formát írnak le a térben pl. a csigalépcsők.)

Amint a kutatók egyre mélyebbre hatoltak a fehérjeszerkezet részleteinek a vizsgálatába, szükségszerűen egyre bonyolultabb röntgensugár-adatokkal kellett foglalkozniuk, és a szükséges matematikai számítások hosszadalmassá és bonyolultabbá váltak, s végül elértek egy ponthoz, ahol a magára hagyott emberi elme már kevésbé felelt meg részletes megoldásukhoz. Szerencsére, az 1950-es években kifejlesztették az elektronikus számítógépeket, amelyek rendkívül hosszú rutinszámításokat igen rövid idő alatt tudnak elvégezni.

Az elektronikus számítógépet effajta probléma megoldására először nem fehérjével, hanem egy vitaminnal kapcsolatban használták fel. Két amerikai orvos, George Richards Minot (1885-1950) és Parry William Murphy (1892-) 1924-ben felfedezte, hogy a „vészes vérszegénységben” szenvedő betegek megmenthetők, ha rendszeresen májat kapnak. Egy vitamin jelenlétére gyanakodtak. Ezt B₁₂-vitaminnak nevezték el, és 1948-ban végül sikerült izolálni. Kiderült, hogy hat különböző elem 183 atomjából felépülő, igen bonyolult molekula. Az új fizikai technikák és a számítógépek segítségével a vitamin részletes szerkezetét 1956-ban fejtették meg. Mivel azt találták, hogy (számos egyéb szerkezeti elem mellett) egy cianidcsoportot, egy kobaltatomot és

egy aminocsoportot tartalmaz, elnevezték „ciano-kobalaminnak”.

Elkerülhetetlen volt a számítógépek alkalmazása a fehérjék által létrehozott diffrakciós sémákhoz. A röntgensugár-diffrakció és a számítógép felhasználásával Max Ferdinand Perutz (1914-) osztrák származású angol biokémikus és John Cowdery Kendrew (1917-) angol biokémikus 1960-ban közölni tudta a mioglobín-molekula teljes háromdimenziós képét és ebben mindegyik aminosav helyét. (A mioglobín egy izomfehérje, amely hasonlít a hemoglobinhoz, de csak negyed akkora.)

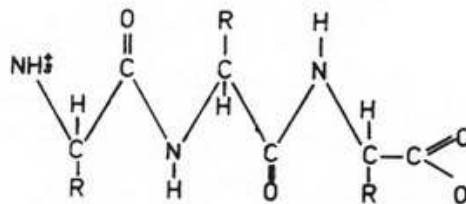
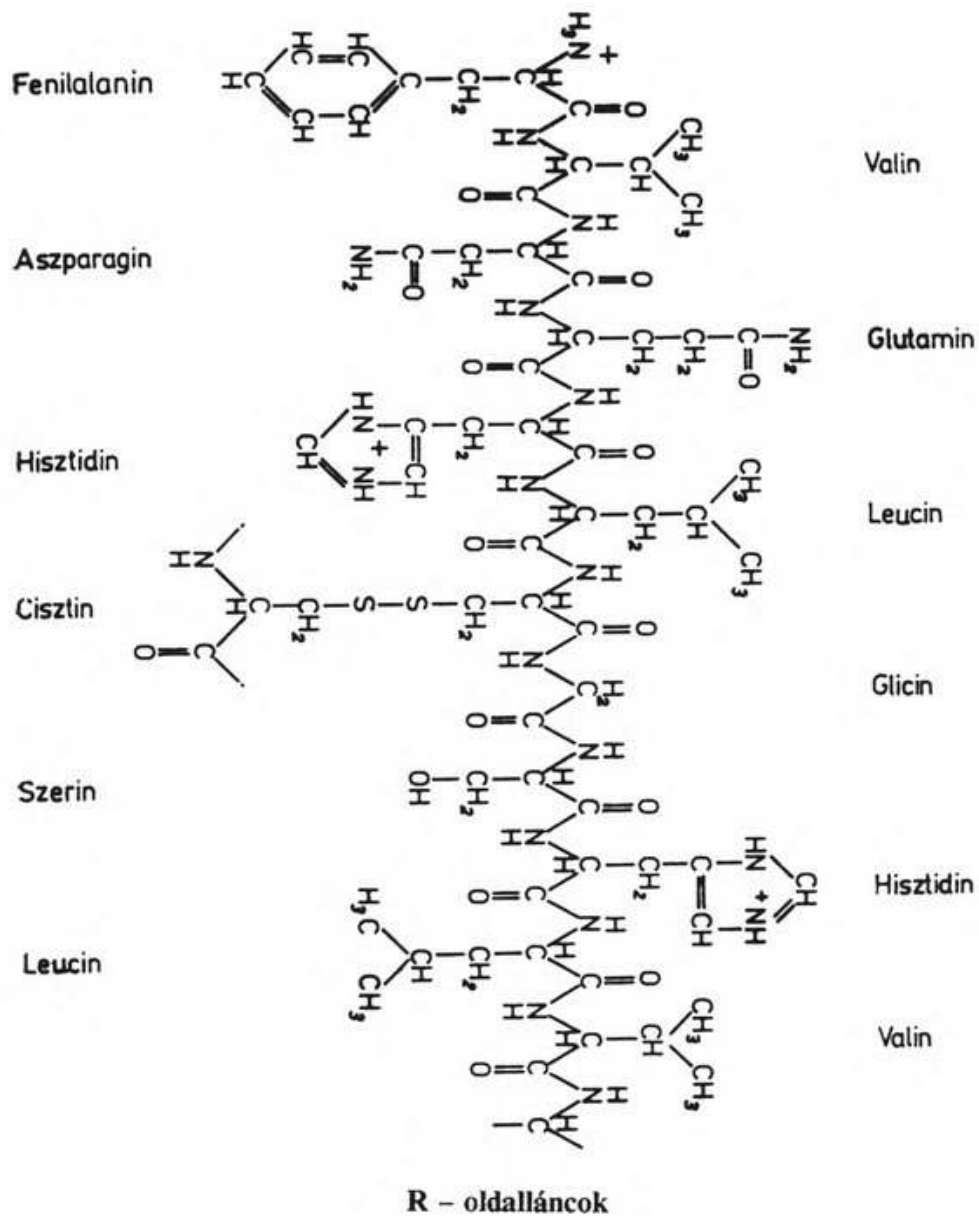
A kromatográfia

A fizikai módszerek, mint amilyen a röntgensugár-elhajlás alkalmazása a nagymolekulák részletes szerkezetének a megállapítására, összehasonlíthatatlanul könnyebb, ha a vegyészek már meghatározták a molekula alegységeinek a kémiai természetét, és ha elrendeződésükről már általános képet kaptak. Ha ez már megvan, akkor a lehetőségek száma, amelyekbe bele kell illeszteni az esoterikus diffrakciós adatokat, gyakorlatilag is kezelhető mennyiségre csökken.

A fehérjék esetében a fejlődés kezdetben igen lassú volt. A XIX. század tudósai csak azt tudták kimutatni, hogy a fehérjemolekula aminosavakból épül fel. A XX. század kezdetén Emil Hermann Fischer (1852-1919) német vegyész kimutatta, hogy az aminosavakat milyen kötések kapcsolják össze a fehérjemolekulán belül. Sőt, 1907-ben egy aminosav 15 molekulájából és három más aminosavból egy igen egyszerű, tizennyolc egységből felépülő, fehérjéhez hasonló anyagot tudott előállítani.

De mi a természetben előforduló, sokkal bonyolultabb fehérjemolekulák pontos szerkezete? Először is, mi egy adott molekulában jelenlevő különböző típusú aminosavak pontos száma? E kérdésre úgy tudnánk közvetlenül válaszolni, hogy a fehérjemolekulát szétbontjuk aminosavakra, s utána a kémiai analízis módszerével meghatározzuk mindegyik alkotóelem viszonylagos mennyiségét.

Ez az eljárás azonban Emil Fischer idejében a vegyészek számára nem volt gyakorlati jelentőségű. Néhány aminosav szerkezete eléggé hasonlított egymáshoz, így közösleges vegyészeti-módszerekkel nehéz volt őket megkülönböztetni egymástól. A problémára a választ egy olyan technika adta meg, amelynek őse először 1906-ban látott napvilágot, hála Mihail Szmjonovics Cvet (1872-1919) orosz botanikus munkájának. Ő növényi pigmentekkel dolgozott, és egy olyan komplex keverékhez jutott, amely annyira hasonló vegyületekből tevődött össze, hogy rendes vegyi módszerekkel csak a legnagyobb nehézségek árán lehetett őket egymástól elválasztani. Arra gondolt azonban, hogy a keverék oldatát porított timföldet tartalmazó csövön folytatja át. A pigmentkeverékben levő különböző anyagok a porrészesecskék felületéhez különböző erővel tapadnak. Amint a csőben a keveréket friss oldószerrel mosta, a komponensek szétváltak, a keveréknek azon alkotóelemei, amelyek kisebb erővel tapadtak, tovább mosódtak lefelé; a végén a keveréket sikerült szétválasztani egyedi pigmentekre, amelyek közül mindegyiknek sajátos színárnyalata volt. A szétválasztás tényét a „színek írták le”, és Cvet ezt a technikát „kromatográfiának” („színírás” - görög) nevezte el.



A fehérjék bonyolult felépítését mutató szerkezeti képlet. A fenti képlet azon két peptidlánc közül az egyiknek a részlete, amely az inzulinfehérje molekuláját alkotja. A peptidgerinc felépítése a lánc hosszában ismétlődik; az oldalláncokat alkotó aminosavaknak csak egy részét tünteti fel az ábra. Az oldalon a peptidlánc egy részlete látható, amely a fehérje gerincét alkotja. R jelenti az aminosav-oldalláncokat. (A Scientific American ábrája után)

Cvet felfedezése abban az időben kevés érdeklődést keltett, de az 1920-as években Willstätter újra alkalmazta az eljárást, és népszerűvé tette. A kromatográfiát széles körben és változatosan használták fel bonyolult keverékek szétválasztására. Eredeti formájában azonban csak nehezen volt alkalmazható igen kis mennyiségű keverékek elemzésére. Valamilyen még hatásosabb eszközre volt szükség.

A szükséges módosításra 1944-ben került sor, és ez forradalmasította a biokémiai technikát. Ebben az évben Arschel John Porter Martin (1910-) és Richard Laurence Millington Synge (1914-) angol biokémikusok kidolgoztak egy eljárást, amely szerint a kromatográfiát egyszerű szűrőpapíron lehet elvégezni.

Aminosav-keverék egy cseppjét egy szűrőpapírcsík aljához közel engedték beszáradni, és valamilyen oldószer, amelybe a csík alsó széle beleért, a kapilláris hatás révén lassan kúszott a szűrőpapírcsíkon felfelé. Amint a felfelé szívódó oldószer keresztülhalad a beszáradt keveréken, a benne levő egyes aminosavakat magával viszi, de mindegyiket a reá jellemző sebességgel. Az aminosavak végül is szétválnak. Helyüket a papíron megfelelő fizikai vagy kémiai módszerrel meg lehet állapítani, és össze lehet hasonlítani a más papírokon ugyanilyen módon külön-külön futtatott egyes aminosavak helyzetével. Az aminosavak mennyisége az egyes foltokban minden különösebb nehézség nélkül meghatározható.

A „papírkromatográfia” technikája gyors sikert aratott. Egyszerű és nem költséges, különösebb laboratóriumi felszerelés nélkül bonyolult keverékek kis mennyiségeit lehet segítségével szétválasztani. Az eljárást a biokémia jóformán minden ágában gyorsan bevezették - például Calvin is ezt a módszert alkalmazta a fotoszintézist végző növényi sejtekben található keverékekkel kapcsolatban -, végül a kutatás e nélkül a technika nélkül úgyszólván elképzelhetlenné vált.

A papírkromatográfia teszi különben lehetségessé azt, hogy egy meghatározott fehérjében jelenlevő különböző aminosavak pontos számát megállapítsák. Egyik fehérjét a másik után jellemezték az őket felépítő aminosavak számával, ahogyan a közönséges vegyületek azonosíthatók alkotóelemeik számának alapján.

Az aminosavak elrendeződése

Ez azonban még nem volt elég. Végül is a vegyészeket nemcsak az érdeklí, hogy egy vegyületben hány atom van, hanem éppen úgy elrendeződésük is, és ez alól a fehérjéket felépítő aminosavak kivételek. Az aminosav-sorrend kérdése nehéz probléma. Egy molekulában csak néhány tucat aminosav esetében is a lehetséges különböző sorrendek száma már csillagászati, és 500 további aminosav esetében (mint a hemoglobin molekulájában, amely pedig csak átlagos nagyságú fehérje) a különböző lehetséges aminosav-sorrendeket csak hatszáznál több jegyű számmal lehet kifejezni. Hogyan választhatja ki valaki a sok lehetőség közül a helyes sorrendet?

A válasz a papírkromatográfia segítségével könnyebbnek bizonyult, mint ahogyan várni lehetett volna. Az inzulinmolekulát (amely csupán mintegy ötven aminosavból tevődik össze) vizsgálva,

Frederick Sanger (1918-) angol biokémikus nyolc évet fordított a módszer kifejlesztésére. Az inzulinmolekulát részlegesen úgy bontotta le, hogy a keletkező rövid aminosavláncok érintetlenek maradjanak. Ezeket a rövidláncú aminosavakat kromatográfia útján szétválasztotta, majd az egyes láncokat felépítő aminosavakat azonosította, valamint mindegyik láncban meghatározta az aminosavsorrendet. Ez nem volt könnyű feladat, mivel már egy négy egységből álló töredék is huszonnégy különböző sorrendben kapcsolódhat egymáshoz, de ugyanakkor a feladat mégis megoldhatónak látszott. Lassanként Sanger le tudta vezetni, milyen hosszabb láncokból jöhetnek létre éppen azok a rövid láncok, amelyeket felfedezett, és nem másfélék. Lépésről lépésre hosszabb és hosszabb láncok szerkezetét építette fel, míg 1953-ban már az egész inzulinmolekulát felépítő aminosavak pontos sorrendjét kidolgozta.

Vincent du Vigneaud (1901-) amerikai biokémikus az eljárás értékét úgyszólván rögtön demonstrálta. Sanger technikáját az „oxitocin” igen egyszerű molekulájára alkalmazta. Az oxitocin egy hormon, amely csupán nyolc aminosavból épül fel. Amikor már sorrendjüket meghatározták, az a tény, hogy mindössze nyolc aminosavról van szó, ésszerűvé tette, hogy az egyes aminosavakból a vegyületet szintézissel előállítsák. Ez 1954-ben megtörtént, és a szintetikus oxitocin minden tekintetben pontosan olyanak bizonyult, mint a természetes hormon.

Mind Sanger elemzését, mind du Vigneaud szintézisét azóta nagyobb arányokban megismételték. A „ribonukleáz”-nak nevezett enzimben levő aminosavak elrendeződését 1960-ban fedezték fel. A molekula 124 aminosavból tevődik össze, két és félszer annyi aminosavból, mint az inzulinmolekula. Utána a ribonukleáz-molekula töredékeit sikerült szintetizálni, majd megvizsgálták, hogy ezek mutatják-e az enzimi hatást. Ilyen módon fedezték fel 1963-ig, hogy a sorrendben a 12. és 13. aminosav („hisztidin” és „methionin”) a molekula működése szempontjából alapvető fontosságú. Ez nagy előrehaladást jelentett annak a pontos meghatározásához, hogy miként végzi feladatát egy meghatározott enzim-molekula.

Ilyen módon, amint a század közepét elhagytuk, ismereteink bővülésével együtt fokozatosan kezelhetővé váltak a fehérjemolekulák is.

XIV. fejezet

Molekuláris biológia: nukleinsav

Vírusok és gének

Amint a fehérjemolekula ismertté vált, hamarosan és teljesen váratlanul egy másik anyag váltotta fel mint az életet hordozó vegyület típus. Ennek az új anyagnak a jelentőségét mindenekelőtt az a kutatási vonal érzékelteti, amelyet a szűrhető vírus természetének a kérdése indított el.

A vírus természete egy generáción át rejtély maradt. Tudták róla, hogy betegségeket okoz, módszereket dolgoztak ki, hogy ebben a vonatkozásban leszámoljanak vele, de maga a vírus - a hatásaitól eltekintve - ismeretlen maradt.

Végül olyan szűrőket alkalmaztak, amelyek elég finomak voltak ahhoz, hogy a vírust visszatartsák, és ennek alapján sikerült megállapítani azt, hogy a vírusrészecskék sokkal kisebbek még az ismert legkisebb sejtnél is, de még mindig nagyobbak, mint a legnagyobb fehérjemolekulák. Ilyenformán a vírusok olyan struktúráknak bizonyultak, amelyek valahol a sejtek és a molekulák között vannak.

Végül a vírusok az elektronmikroszkóp segítségével váltak érzékelhető objektumokká. Kiderült az is, hogy nagyságuk igen széles határon belül mozog, kis pontoktól kezdve, amelyek nem sokkal nagyobbak, mint egy nagy fehérjemolekula, egészen a szabályos geometriai alakú és nyilvánvalóan belső szervezettel rendelkező terjedelmesebb struktúráig. A bakteriofágok a legnagyobb vírusok közé tartoznak, noha igen kis szervezetekre leselkednek, és közülük egyeseknek olyan farkuk van, amely a kis ebihalakéhoz hasonlít. A vírusok nagyságrendje felett vannak, de még mindig kisebbek, mint akár a legkisebb közönséges baktériumok, a „rickettsiák” (Rickettsia-ról elnevezve, a mikroorganizmusoknak ez a típusa okozza a „Sziklás-hegység lázat”) Ily módon felmerült a kérdés, hogy vajon az organizmusoknak ez a csoportja, amelyek mérete a legkisebb sejtek és a legnagyobb molekulák között van, élő-e vagy sem. A meglepő fejlemény, ami az ellen látszott szólani, hogy a vírusok élnek, 1935-ben következett be. Wendell Meredith Stanley (1904-) amerikai biokémikus, aki akkor a dohánymozaik-vírus kivonataival dolgozott,

finom, túszerű, kristályokat állított elő. Amikor ezeket a kristályokat izolálták, kiderült, hogy a vírus összes fertőző tulajdonságaival rendelkezik, mégpedig nagy töménységben. Más szóval, Stanley kristályos vírusokhoz jutott, és az élő kristály olyan fogalom volt, amit nehezen lehetett elfogadni.

Másfelől azonban vajon nem lehetne-e arra is gondolni, hogy a sejtelmélet nem kielégítő, és a sejtek végül is az életnek mégsem oszthatatlan egységei? A vírus sokkal kisebb, mint a sejt, és a sejtektől eltérően, nem rendelkezik azzal a képességgel, hogy minden körülmények között önállóan éljen. Mégis, ha sikerül bejutnia valamilyen sejt belsejébe, és ha már ott van, akkor szaporodik, és bizonyos alapvető szempontokból úgy viselkedik, mintha élne.

Nem lehetséges-e talán, hogy a sejtben bizonyos szerkezet, valami sejten belüli alkatrész található, amely az élet igazi lényege; valami, ami úgy szabályozza a sejt többi részét, mint saját eszközeit? Vajon a vírus nem lehet-e a sejtnek ilyen, de valamilyen módon szabaddá vált része, amely csak arra vár, hogy behatoljon egy sejtbe, és azt jogos „tulajdonosától” elvegye?

Ha ez így van, akkor az ilyen sejten belüli alkatelemeknek jelen kell lenniük a normális sejtekben, és erre a tisztségre logikusan a kromoszómák látszottak jelölteknek. A XX. század első éveiben nyilvánvalóvá vált, hogy a kromoszómák a testi tulajdonságok öröklődését szabályozó tényezők hordozói, és így ellenőrzik a sejt többi részét, mint ahogyan azt a kulcsfontosságú sejtalkatrészekről várni lehet. A kromoszóma azonban sokkal nagyobb, mint a vírus.

Ámde sokkal kevesebb kromoszóma van, mint amennyi az átörökíthető jellemző tulajdonságok száma, úgyhogy csak arra lehetett következtetni, hogy mindegyik kromoszóma sok egységből épül fel, talán több ezerből, amelyeknek mindegyike egy-egy jellemző tulajdonságért felelős. Ezeket az individuális egységeket Wilhelm Ludwig Johannsen (1857-1927) dán botanikus 1909-ben „géneknek” nevezte el.

A XX. század első évtizedeiben az egyes géneket, az egyes vírusokhoz hasonlóan, nem lehetett látni, de mégis hasznosan lehetett dolgozni velük. Thomas Hunt Morgan (1866-1945) amerikai genetikus 1907-ben új biológiai kísérleti objektumot talált: a kis gyümölcslegyet, a *Drosophila melanogasteri*. Ez egy kis rovar, amelyet könnyűszerrel lehet nagy számban tenyészteni. Sejtjeinek azonfelül mindössze négy pár kromoszómája van.

A gyümölcslegyeket nemzedékről nemzedékre vizsgálva, Morgan a mutációk számos esetét fedezte fel, és így kiterjesztette az állatvilágra azt, amit de Vries a növények között fedezett fel. Kimutatta továbbá, hogy a különböző tulajdonságok egymáshoz kapcsolódnak, vagyis együtt öröklődnek. Ez azt jelentette, hogy az ilyen tulajdonságokat szabályozó gének ugyanabban a kromoszómában találhatóak, és ez a kromoszóma, természetesen, egy egységként öröklődött.

De a tulajdonságok kapcsolata nem örökös. Néha előfordult, hogy az egyik öröklődött a másik nélkül is. Ez azért történhet meg, mert a kromoszómapárok alkalmanként kicserélik részeiket („átkereszteződés”), úgyhogy egy egyedi kromoszóma integritása nem abszolút. Az ilyen kísérletek még azt is lehetővé tették, hogy megjelöljék a kromoszómán azt a helyet, ahol egy meghatározott gén foglal helyet. Minél nagyobb a kromoszómán az a távolság, amely a két gént elválasztja egymástól, annál nagyobb annak a valószínűsége, hogy egy véletlen helyen bekövetkező átkereszteződés elválasztja a két gént. Két kapcsolt tulajdonság különválásának

gyakoriságát tanulmányozva, a gének viszonylagos helyzete meghatározható. A gyümölcslegynél az első „kromoszóma térképeket” 1911-re készítették el.

Morgan egyik tanítványa, Hermann Joseph Müller (1890-) amerikai genetikus olyan módszer után kutatott, amellyel a mutációk gyakoriságát növelni lehet. 1919-ben azt találta, hogy a hőmérséklet emelése ilyen hatású. Továbbá, ez nem a gének valamilyen általános „felkavarásának” az eredménye. Mindig kiderült, hogy csak egy gént érintett, míg ugyanennek a génnek a megfelelő párja a kromoszómapár másik tagján nem változott. Müller úgy vélte, hogy molekuláris szinten bekövetkező változásokról van szó.

Legközelebb röntgensugarakkal próbálkozott. Ezek nagyobb energiájúak, mint a gyenge melegítés, és egy egyedi röntgensugár a kromoszómát érve, bizonyára egy ponton fejt ki hatását. Müller 1926-ban világosan bizonyította, hogy a röntgensugarak valóban erősen növelik a mutációk arányát. Albert Francis Blakeslee (1874-) amerikai botanikus 1937-ben kimutatta, hogy a mutáció aránya speciális vegyszerek, „mutagének” segítségével szintén emelhető. Az ilyen mutagénekre a legjobb példa a „colchicin”, egy alkaloida, amelyet az őszi kikiricsből nyertek. Az 1930-as évek közepén már mind a vírusok, mind a gének elvesztették titokzatosságukat. Mindkettő megközelítően azonos nagyságú molekula, és gyorsan kiderült az is, hogy megközelítően azonos a kémiai természetük is. Lehet, hogy a gének a sejt szelíd vírusai? Lehet, hogy egy vírus nem más, mint egy „elvadult” gén?

A DNS jelentősége

Ha már sikerült a vírusokat kikristályosítani, lehetővé vált kémiai elemzésük is. Természetesen fehérjéből épülnek fel, ámde a fehérjék egy különleges fajtájából, amelyet „nukleoprotein”-nek hívnak. A festési módszerek tökéletesítése lehetővé tette az egyes sejten belüli struktúrák kémiai természetének a meghatározását is, és kiderült, hogy a kromoszómák (és ennél fogva a gének is) nukleoproteinek.

Egy nukleoprotein-molekula fehérje és egy „nukleinsavként” ismert foszfortartalmú anyag kapcsolódása révén jön létre. A nukleinsavakat először 1869-ben egy svájci biokémikus, Friedrich Miescher (1844-1895) írta le. Azért kapták ezt a nevet, mert először a sejtmagokban mutatták ki jelenlétüket. Később, amikor rájöttek arra, hogy a sejtmagon kívül is léteznek, már késő volt ahhoz, hogy megváltoztassák az elnevezést.

A nukleinsavakat először egy német biokémikus, Albrecht Kossel (1853-1927) tanulmányozta részletesen, aki az 1880-as években és később kisebb építőkövekre bontotta le őket. Ezek foszforsavat és egy olyan cukrot tartalmaztak, amelyet nem tudott azonosítani. Ezekon kívül két, a „purinok” osztályába tartozó vegyületet talált. A „purinok” két összekapcsolódott gyűrű alakú molekulája négy nitrogénatomot tartalmaz. Ezt a két vegyületet Kossel „adeninnek” és „guaninnak” nevezte el (olykor egyszerűen úgy hivatkozunk rájuk, mint A és G). Három „pirimidint” is talált (ezekben a vegyületekben egyetlen gyűrű van, amely két nitrogénatomot tartalmaz), és ezeket „citozinnak”, „timinnek”, valamint „uracilnak” (C, T és U) nevezte el.

Egy orosz származású amerikai kémikus, Phoebus Aaron Theodor Levene (1869-1940) Kossel

vizsgálatait az 1920-as és 1930-as években tovább folytatta. Kimutatta, hogy a nukleinsav-molekulában egy foszforsav molekula, egy cukormolekula és egy pirimidin- vagy purinmolekula három részből álló egységet képez, amelyet „nukleotidnak” nevezett el. A nukleinsav-molekulát a nukleotidokból álló láncok építik fel, ugyanúgy, ahogyan a fehérjéket felépítik az aminosavakból álló láncok. A nukleotidlánc úgy jön létre, hogy az egyik nukleotid foszforsavcsoportja a szomszédos nukleotid cukorcsoportjához kapcsolódik. Ily módon egy „cukor-foszfát”-gerinc épül fel, egy olyan gerinc, amelyből kinyúlnak a purinok és a pirimidinek egyes csoportjai.

Levene azt is kimutatta, hogy a nukleinsavakban található cukormolekulák két típusba sorolhatók: „ribóz” (amely a hat szénatomot tartalmazó ismertebb cukrokkal szemben csupán öt szénatomot tartalmaz) és „dezoxiribóz” (éppen olyan, mint a ribóz, de molekulája eggyel kevesebb oxigénatomot tartalmaz). Minden egyes nukleinsav-molekula tartalmazza az egyik vagy a másik típusú cukrot, de sohasem a kettőt együtt. Ilyenformán a nukleinsavaknak két típusát lehetett megkülönböztetni („ribonukleinsav”, használt rövidítése: RNS és „dezoxiribonukleinsav”, használt rövidítése: DNS). Mindkét nukleinsav-típus a purinok és pirimidinek mindössze négyféle változatát tartalmazza. A DNS-ből hiányzik az uracil, és megvan benne az A, G, C és T. Viszont a RNS-ből hiányzik a timin, viszont van benne A, G, C és U. Robert Alexander Todd (1907-) skót kémikus az 1940-es években szintézissel előállította a különböző nukleotidokat, és ezzel megerősítette Levene következtetéseit.

A biokémikusok nem tulajdonítottak azonnal különös jelentőséget a nukleinsavaknak. A fehérjemolekulákhoz kapcsolódva, végül is számos nem fehérje természetű vegyületet találtak már, köztük cukrokat, zsírokat, fémeket vagy vitaminokat stb. tartalmazó csoportokat. Mindegyik esetben a fehérjét tartották az egész molekula lényeges részének és a nem fehérje résznek csak alárendelt szerepet tulajdonítottak. A nukleoproteinek megtalálhatók a kromoszómákban és a vírusokban, de bizonyítottan vették, hogy a nukleinsavrész mellékes, és csak maga a fehérje számít.

Kossel azonban az 1890-es években olyan megfigyeléseket is tett, amelyekre visszapillantva azt kell mondanunk, hogy rendkívül fontosak voltak. A spermiumok majdnem teljes egészükben szorosan összezsúfolt kromoszómákból állnak, ugyanakkor hordozói ama vegyi anyagoknak, amelyek révén az öröklött tulajdonságoknak az apát illető része átmegy a leszármazottba. Mégis, Kossel úgy találta, hogy a spermiumok nagyon egyszerű fehérjéket tartalmaznak, sokkal egyszerűbbeket, mint azok, amelyek a szövetekben vannak. Ugyanakkor a nukleinsav-tartalom látszólag nem mutatott a szövetek nukleinsavaitól eltérő jellegzetességeket. Ez sokkal valószínűbbé tette, hogy az öröklődő tulajdonságokra vonatkozó „utasítások” inkább a spermium változatlan nukleinsav-molekuláiban foglaltatnak, mintsem annak rendkívül leegyszerűsített fehérjéiben.

A biokémikusok azonban ezzel nem törődtek. Az 1930-as években nemcsak a fehérjemolekulába vetett hit maradt rendíthetetlen, hanem valamennyi rendelkezésre álló adat is azt látszott bizonyítani, hogy a nukleinsavak egészen kicsi molekulák (mindegyikük mindössze négy nukleotidból van felépítve), és ennél fogva túlságosan egyszerűek ahhoz, hogy a genetikai utasításokat hordozzák.

A fordulópont 1944-ben érkezett el, amikor Oswald Theodore Avery (1877-1955) amerikai bakteriológus vezetésével a kutatók egy csoportja a pneumococcus (tüdőgyulladást okozó

baktérium) törzseivel dolgozott. Némelyek ezek közül „sima” törzsek (S) voltak, ezekben a sejtekben egy külső burokkal rendelkeztek, ugyanakkor egyéb törzsek „rögös” törzsek (R) voltak; ezeknél a baktériumoknál hiányzott a külső burok.

Nyilvánvalóan az R törzs elvesztette azt a képességet, hogy a sejthártyát felépítse. Az R törzshöz adagolt S törzsből készített kivonat azonban az R törzset átalakította S törzssé. A hártaképződést nem a kivonat egyedül hozta létre, hanem nyilvánvalóan olyan változásokat okoz az R törzsből, amelyek magukat a baktériumokat teszik képessé e feladat elvégzésére. Ez a kivonat tartalmazta azt a genetikai információt, amely a baktériumok sejteinek egyik jellegzetes tulajdonsága megváltoztatásához szükséges. A kísérlet teljesen megdöbbentő része a kivonat analízisekor következett be. Ez a kivonat nukleinsavat, mégpedig egyedül nukleinsavat tartalmazott, oldva. Semmiféle fehérje nem volt jelen.

Legalábbis ebben az egyetlen esetben tehát a nukleinsav és nem fehérje képviselte az öröklési anyagot. Ettől a pillanattól kezdve be kellett látni, hogy az élet elsődleges és kulcsfontosságú anyaga végül is a nukleinsav. Mivel szintén 1944-ben vezették be a laboratóriumi munkába a papírkromatográfia technikáját, ezt az évet méltán lehetne 1859 óta - amikor *A fajok eredete* megjelent - a biológia legnagyobb évének tekinteni. Az 1944-et követő években a nukleinsavakról alkotott új felfogást szilárdan alátámasztották a víruskutatók eredményei. A vírusokról kimutatták, hogy a felületüket beborító fehérjeköpeny egy, a belsejükben elhelyezett nukleinsavmolekulát takar. Heinz Fraenkel-Conrat (1910-) német származású amerikai biokémikus 1955-ben szét tudta választani egy vírusnak ezt a kétféle részét, majd ismét összeillesztette őket. A fehérjerész önmagában egyáltalán nem mutatott fertőzőképességet; halott volt. A nukleinsavrész önmagában csekély mértékben volt fertőzőképes, ez a rész még „élt”, bár ahhoz, hogy a leghatékonyabban fejtsse ki képességeit, szüksége volt a fehérjerészre is.

A radioaktív izotópokkal végzett kísérletek világosan megmutatták, hogy amikor például valamelyik bakteriofág behatol egy baktériumsejtbe, csupán a nukleinsavrész lép be, a fehérjerész a sejten kívül marad. A sejt belsejében a nukleinsav nemcsak önmagához (és nem a baktériumsejt saját nukleinsavához) hasonló nukleinsavak további szintézisét végzi el, hanem olyan fehérjemolekulák előállítását is, amelyek a vírus burkát szolgáltatják, olyan fehérjemolekulákat tehát, amelyek a vírusra és nem a baktériumsejtre jellemzőek. Többé semmi kétség sem lehetett afelől, hogy a nukleinsav-molekula és nem a fehérje hordozza a genetikai információt.

A vírusmolekulák vagy DNS-t vagy RNS-t tartalmaztak. A sejten belül azonban a génekben kizárólag DNS-t lehetett találni. Mivel a gének az öröklés egységei, a nukleinsavak jelentősége a DNS jelentőségére szűkölt.

A nukleinsavak szerkezete

Avery felfedezése után azonnal elkezdődött a nukleinsavak intenzív kutatása. Hamarosan kiderült, hogy óriásmolekulákról van szó. Az a látszat, hogy a nukleinsavak kis molekulák, azért keletkezhetett, mert a kivonásukra korábban használt módszerek eléggé durvák voltak ahhoz, hogy a molekulák kisebb töredékekké bomoljanak le a kivonás során. A finomabb technika alkalmazásával az extrahált nukleinsav-molekulák éppen olyan nagyok vagy még nagyobbak

voltak, mint a legnagyobb fehérjemolekulák.



Watson

Erwin Chargaff (1905-) osztrák származású amerikai biokémikus lebontotta a nukleinsav-molekulákat, és a kapott fragmentumokat papírkromatográfia segítségével szétválasztotta. Az 1940-es évek vége felé kimutatta, hogy a DNS-molekulában a purincsoportok száma megegyezik a pirimidin-csoportok számával. Közelebbről, az adenin (egy purin)-molekulák száma rendszerint megegyezett a timin (egy pirimidin)-molekulák számával, ugyanakkor a guaninmolekulák száma

(tehát a másik purine) egyenlő volt a citozin-molekulák számával (ami ismét egy pirimidin). Ezt az összefüggést így lehetett röviden kifejezni: $A=T$ és $G=C$.

Az új-zélandi születésű angol fizikus, Maurice Hugh Frederick Wilkins (1916-) az 50-es évek elején a röntgensugár-elhajlás (diffrakció) technikáját alkalmazta a DNS-molekulára, és a cambridge-i egyetemen dolgozó két kollégája, Francis Harry Compton Crick (1916-) angol, valamint James Dewey Watson (1928-) amerikai biokémikusok megpróbálták megszerkeszteni egy olyan molekulamodellt, amelyik megmagyarázná a Wilkins által nyert adatokat.



Crick

Pauling nemrég fejtette ki elméletét a fehérjék spirálszerkezetéről, és Cricknek és Watsonnak úgy tűnt, hogy egy spirális DNS-molekula pontosan megfelelne a Wilkins-féle adatoknak. Ahhoz azonban, hogy a Chargaff-féle eredményeknek is megfeleljen a modell, kettős spirálra volt szükség. Úgy képzelték el a DNS-molekulát, hogy két cukorfoszfát-gerincből áll, amelyek fel vannak csavarodva egy közös tengely köré, és egy henger alakú molekulát képeznek. A purinok és a pirimidinek a gerincről erednek, és a molekula belsejébe nyúlnak, megközelítve a henger közepét. Ahhoz, hogy a henger átmérője állandó maradjon, egy nagy purincsoportnak mindig egy kis pirimidinnel kell szomszédosnak lennie. Pontosabban: egy A-nak mindig T-hez és egy G-nek mindig C-hez kell kapcsolódnia, és ilyenformán Chargaff eredményeit is meg lehetett magyarázni.

Továbbá magyarázatot kapott a sejtosztódás kulcslépése, a kromoszómák megkettőződése (és egyúttal egy rokon problémára is megadta a választ) nevezetesen arra, hogyan reprodukálódik egy vírus valamely sejtben.

Minden egyes DNS-molekuláról másolat (replica) készül, ez a folyamat (a replikáció) a következő: A két cukor-foszfátgerinc kitekeredik, és mindegyik modellként szolgál egy új, „komplementer” DNS-szál szintéziséhez. Ahol a gerincben adenin volt, oda az új szálaban a sejtben mindig meglévő purin- és pirimidin-nukleotidok közül egy timint tartalmazó nukleotid kerül és fordítva, másrészt, ahol egy guanin-molekula volt, oda egy citozintartalmú nukleotid jut és fordítva. Ilyenképpen az 1-es számú gerinc egy új 2-es számú gerincet épít fel, míg a 2-es számú gerinc egy új 1-es számút. Rövidesen ott, ahol eddig egy kettős spirál volt, most két kettős spirált lehet találni.

Ha ugyanez a kromoszóma (vagy vírus) DNS-molekulája mentén történik, akkor ott, ahol eddig egy kromoszóma (vagy vírus) létezett, most kettőt fogunk találni. A folyamat nem mindig megy tökéletesen végbe. Amikor a replikáció folyamatába egy kis hiba csúszik, az új DNS-molekula kissé eltér a saját „ősétől”, és mutációval állunk szemben.

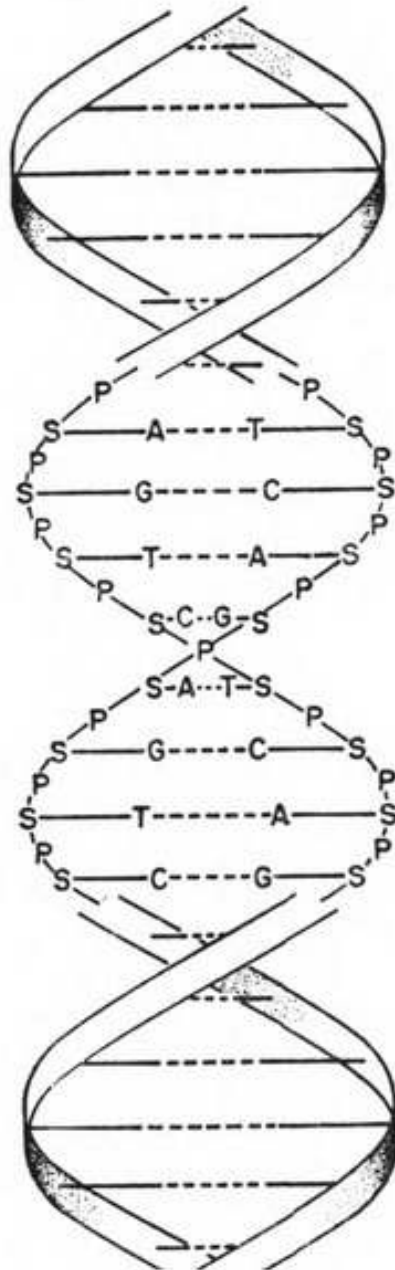
Ezt a Watson-Crick-féle modellt 1953-ban hozták a világ tudomására.

A genetikai kód

De hogyan továbbítja a nukleinsav-molekula a testre jellemző tulajdonságokra vonatkozó információt? A választ erre a kérdésre George Wels Beadle (1903-) és Edward Tatum (1919-) amerikai genetikusok adták meg. A kísérletet 1941-ben kezdték el egy *Neurospora crassá*nak nevezett gombával, amely aminosavakat nem tartalmazó táptalajon is szaporodik. A gomba valamennyi aminosavát szintetizálni tudja, egyszerűbb, nitrogéntartalmú vegyületekből.

Ha azonban a gombákat röntgensugarak érték, mutációk keletkeztek, és a mutánsok közül néhányan nem rendelkeztek már azzal a képességgel, hogy az összes aminosavakat saját maguk állítsák elő. Az egyik mutáns törzs például nem volt képes a lizin nevű aminosavat előállítani, és ahhoz, hogy növekedjék, ennek az aminosavnak jelen kellett lennie a tápoldatban. Beadle és Tatum ki tudta mutatni, hogy egy olyan speciális enzim hiánya okozza a növekedés leállítását,

amely a rendes, nem mutált törzsekben megtalálható.



A DNS-molekula kettős spirálja. A gerincét alkotó szálak váltakozó cukor- (S) és foszfát- (P) csoportokból vannak felépítve. Az adenin- (A), a guanin- (G), a timin- (T) és a citozin- (C) bázisok befelé nyúlnak. A szaggatott vonalak a szálakat összekapcsoló hidrogénkötéseket jelölik. A replikáció során a fenti két szál közül mindegyik a saját kiegészítő (komplementer) szálát hozza létre a sejtben mindig jelenlevő purinokból és pirimidinekből (A, G, C, T stb.). (A Scientific American ábrája után)

A - adenin

C - citozin

G - guanin

P - foszfát

T - timin

S - cukor

Ebből arra következtettek, hogy egy meghatározott gén jellemző feladata az, hogy ellenőrzi egy meghatározott enzim képződését. Azok a nukleinsav-molekulák, amelyek a spermiumban és a petesejtben vannak, magukban hordozzák azt a képességet, hogy meghatározott enzimeket termeljenek. Ezeknek az enzimeknek természete szabja meg a sejt kémiai arculatát, és a sejt kémiai arculatából következnek mindazok a jellemző tulajdonságok, amelyeknek öröklődése a tudósokat érdekli. Ilyenformán a DNS-től eljutottak a testet jellemző tulajdonságokhoz.

A gének enzimtermelése azonban nyilvánvalóan közvetítők segítségével történik, mivel a gének DNS-e a magon belül marad, míg a fehérjeszintézis a magon kívül megy végbe. Az elektronmikroszkóp birtokában új és sokkal bonyolultabb részletekbe menően tanulmányozták a sejteket, és a fehérjeszintézis pontos helyét is megtalálták.

A sejten belül nagy számban találtak olyan rendezetten elhelyezkedő szemcséket, amelyek sokkal kisebbek, mint a mitokondriumok, és ezért ezeket „mikroszómáknak” (görög szó, jelentése „kis testek”) nevezték el. Az egyik legkitartóbb elektronmikroszkópusnak, a román származású amerikai George Emil Paladénak (1912-) 1956-ra már sikerült kimutatnia, hogy a mikroszómák gazdagok RNS-ben. Ezért ezeket újrakeresztelték, „riboszómáknak”, és bebizonyosodott, hogy a riboszómák a fehérjeszintézis helyei.

A genetikai információnak a kromoszómáktól el kell jutnia a riboszómákhoz, és ez RNS egy különleges fajtájának közreműködésével történik, amelyet „hírvívő” RNS-nek neveztek el. Ez átveszi a kromoszómán belül egy meghatározott DNS-molekula szerkezetét, és ezzel a szerkezettel kivándorol a magból az egyik riboszómához, amelyre rátelepszik. Ezután a „szállító” RNS kis molekulái, amelyeket először Mahlon Bush Hoagland (1921-) amerikai biokémikus tanulmányozott, speciális aminosavakhoz kötődnek, majd az aminosavakat hordozva, a hírvívő RNS-ben levő illeszkedési helyekhez kapcsolódnak.

A hátralevő fő probléma annak a megállapítása volt, hogy a hírvívő RNS meghatározott molekulája hogyan jut kapcsolatba egy-egy meghatározott aminosavval. A legegyszerűbb megoldás az lett volna, ha azt képzeljük el, hogy egy aminosav a nukleinsav egy purinjához vagy pirimidinjéhez kapcsolódik, vagyis mindegyik purinhoz vagy pirimidinhez egy-egy különböző aminosav kötődik. Körülbelül húsz különféle aminosav létezik, ámde összesen csak négy purin és pirimidin van egy nukleinsav-molekulában. Ezért világosnak látszott, hogy legalább három nukleotid kombinációjának kell megfelelnie minden egyes aminosavnak. (Három nukleotidnak 64 különböző kombinációja lehetséges.)

A trinukleotid kombinációk és az aminosavak kapcsolata volt az 1960-as évek elején a nagy biológiai probléma, és erre rendszerint úgy utalnak, mint a „genetikai kód megfejtésére”. A kutatók, köztük a spanyol származású amerikai biokémikus, Severo Ochoa (1905-) nagy energiát fektettek ezekbe a vizsgálatokba.

Az élet eredete

A molekuláris biológiában a XX. század közepén elért haladás a mechanista álláspontot oly erőssé tette, mint amilyen ez korábban sohasem volt. Az egész genetika kémiailag értelmezhető

olyan törvények alapján, amelyek mind az élőkre, mind az élettelen világra érvényesek. A jelek szerint még az agyműködés is utat enged a megismerés új módszereinek. Úgy tűnik, hogy a tanulás és az emlékezés folyamata nem az idegpályák létesítésén és fenntartásán, hanem speciális RNS-molekulák szintéziséen és fenntartásán múlik. Valóban, a laposférgekről, az élet eme igen egyszerű formáiról kiderült, hogy képesek feladatokat úgy megtanulni, hogy megesznek olyan laposférget, amelyek már megtanulták a feladatokat. Feltehetően ilyenkor változatlan formában építik be saját testükbe az elfogyasztott RNS-molekulákat.

A biológiában csak egy van, ami a XIX. századi vitalista álláspont tiszta győzelmét jelenti: az ősnemzés cáfolata. A XX. században azonban ez a cáfolat abszolút értelemben már nem sokat jelentett. Ha azonban az élet nem fejlődhet ki az élettelenből, akkor hogyan kezdődött el? Természetesen feltételezhető, hogy az életet valami természetfeletti tényező teremtette, de ha ezt elvetjük, akkor mi a megoldás?

Svante August Arrhenius (1859-1927) svéd vegyész 1908-ban a természetfeletti segítsége nélkül próbálta az élet eredetét megmagyarázni. Azt állította, hogy a földön az élet akkor kezdődött el, amikor a világűrből spórák jutottak el bolygókra. Úgy képzelte, hogy az élet részecskéi, a csillagok fényenergiájától hajtva, keresztülhatoltak a világűrön, közben itt és ott leszállva, megtermékenyítik ezt vagy azt a bolygót. Arrhenius elmélete azonban a problémát nem oldotta meg. Ha az élet nem keletkezhetett a mi bolygónkon, akkor hogyan keletkezett ott, ahonnan származik, akárhol legyen is ez a hely?

Még egyszer végig kellett gondolni, vajon az élet nem származhat-e élettelen anyagból? Pasteur lombikját korlátozott ideig sterilen tartotta, de tegyük fel, hogy egymilliárd éven át marad úgy? Vagy tételezzük fel, hogy nem egy lombiknyi oldat marad állva egymilliárd éven át, hanem egy egész tengernyi oldat. És tegyük fel, hogy a tenger körül olyan viszonyok uralkodnak, amelyek teljesen különböznek a maiaktól.

Nincs semmi okunk azt gondolni, hogy az élet alapvető vegyületei a földtörténeti korok során megváltoztak volna. Valójában teljesen valószínű, hogy változatlanok maradtak. Egy kis mennyiségű aminosav maradt fenn némelyik több tízmillió éves kőületben, és azok, amelyeket ilyen kőületekből izoláltak, azonosak azokkal az aminosavakkal, amelyek ma az élő szövetekben fordulnak elő. Mindamelllett, általában véve, a világ kémiai összetétele valószínűleg megváltozott. A világmindenség kémiájának egyre növekvő ismerete arra készítette a kutatókat, így Harold Clayton Urey (1893-) amerikai vegyészt is, hogy elképzeljék, milyen volt a Föld légköre kialakulása idején; feltételezték, hogy ez a légkör „redukáló” természetű volt, hidrogénben és hidrogéntartalmú gázokban - metánban és ammóniában - gazdag, viszont hiányzott belőle a szabad oxigén.

Ilyen viszonyok között nem volna a légkör felső részében ózonréteg (az oxigén egyik formája). Ilyen ózonréteg most létezik, és a nap ultraibolya sugarainak legnagyobb részét elnyeli. A redukáló atmoszférán át viszont ez az erőteljes sugárzás elérné a tenger szintjét, és olyan reakciókat váltana ki benne, amilyenek jelenleg ott nem mennek végbe. Lassan bonyolult molekulák képződnének, és mivel a tengerben még nem volna élet, ezeket a molekulákat nem fogyasztaná el senki, ezért felhalmozódnának. Végül olyan nukleinsavak keletkeznének, amelyek elég bonyolultak ahhoz, hogy replikálódó molekulákként szerepeljenek, és ez lenne az élet keletkezésének a lényege.

A mutáció és a természetes kiválasztódás hatásai révén, a nukleinsav egyre hatásosabb formái jönnének létre. Ezek végül sejtekké fejlődnének, amelyek közül néhány klorofillt kezdene termelni. A fotoszintézis (esetleg életet nem igénylő egyéb folyamatok segítségével) az eredeti atmoszférát átváltoztatná olyanná, amilyenek mi ismerjük, azaz szabad oxigénben gazdaggá tenné. Az oxigén-atmoszférában és egy élettel tele világban a leírt típusú „ősnemzés” már nem volna többé lehetséges.

Mindez igen nagy mértékben csak spekuláció (mindenesetre gondosan megindokolt spekuláció), de Urey egyik tanítványa, Stanley Lloyd Miller 1953-ban elvégzett egy kísérletet, amely híressé vált. Nagy gonddal megtisztított és sterilizált víz felett hidrogénből, ammóniából és metánból álló „atmoszférát” létesített. A lezárt berendezésben elektromos kisüléseket hozott létre, ezzel utánozva a nap ultraibolya sugarainak a hatását. A kísérletet egy héten át végezte, majd a vizes oldat alkotórészeit papírkromatográfiával szétválasztotta. Talált köztük egyszerű szerves vegyületeket, sőt még néhány aminosavat is.

Hasonló kísérletet ismételtek meg a kaliforniai egyetemen 1962-ben, és ezúttal etánt (kétszénatomos szénhidrogén, amely nagyon hasonló az egyszénatomos metánhoz) adtak hozzá a mesterséges légkörhöz. A szerves vegyületek még több változatát nyerték. És 1963-ban az adenzin-trifoszfátot, a kulcsszerepet játszó nagyenergiájú foszfátok egyikét szintetizálták hasonló módon.

Ha ezt el lehet érni egy kis berendezésben egy hét alatt, akkor mi minden mehetett végbe egymilliárd év alatt egy egész óceánban és a környező légkörben?

Ezt még megtudhatjuk. Nehéz dolognak látszik ugyan a Föld történetének hajnaláig visszanyúlva a fejlődés folyamatát nyomon követni, de ha el tudunk jutni a Holdra, akkor képesek leszünk azoknak a kémiai változásoknak a menetét is feltárni, amelyek magának az életnek a megjelenése előtt mentek végbe. Ha eljutunk a Marsra, feltehetően módunk lesz azokat az egyszerű életformákat tanulmányozni, amelyek a földön levőktől teljesen különböző feltételek mellett fejlődtek ki, és az ott tanultak is alkalmazhatók lesznek esetleg néhány földi problémánkra.

A saját bolygónkon is minden évvel többet tudunk meg az óceán mélységeiben a miénktől eltérő feltételek között létező életformákról, mivel 1960-ban az emberek már a legmélyebb tengerek fenekéig is eljutottak.

Maga az emberi elme is feltárhatja titkait a molekuláris biológia kutatásainak. A kibernetika és az elektronika egyre gyarapodó ismeretei segítségével, képesek lehetünk az értelem olyan formáinak a kifejlesztésére is, amelyek nem kötődnek az élőhöz.

De minek találgassunk, amikor csak várunk kell? A tudományos munkában talán az a legszebb, hogy akármekkora haladtunk is és akármennyire meglepő és lenyűgöző a tudás térhódítása az ismeretlennel szemben, ami a jövő számára marad, az mindig még nagyobb, még izgatóbb, még csodálatosabb. Ki tudja, mi mindenre fog még fény derülni azoknak az életében, akik ma élnek?!

Utószó

Az olvasónak bizonyára feltűnt, hogy Asimov stílusa a könyv egyes fejezeteiben fokról fokra változott. A könyv elején még részletes, mindenre kiterjedő elemzését adja a biológia története egyes fontos eseményeinek. Az egyes felfedezések mögött mindig bemutatja a felfedező tudóst, a felfedező embert. A könyv utolsó fejezetében már szinte feldolgozatlanul, kapkodva ömlik a sok új vizsgálati irány, tudományos eredmény ismertetése. Fontos eredményekre is csak egy-két sor jut, mindinkább összekuszálódik az író körültekintő, elemző, lényegkiemelő stílusa. A tudósokat már csak egy-egy név és évszám jelzi. A molekuláris biológiáról szóló rész pedig már inkább hasonlít tartalomjegyzékhez, mint tudománytörténethez.

Asimov kitűnő író, világhírű Sci-Fi-k és kitűnő tudományos népszerűsítő könyvek tanúsítják ezt. A biológia rövid története is szinte lehetetlen vállalkozást oldott meg, néhány ívnyi terjedelemben sűrítette az egyik legizgalmasabb, az embert legközvetlenebbül érintő tudomány történetét. A könyvben észlelhető stílusváltozás oka nem az író hibája, a történet *tárgya* változott meg az utolsó évtizedekben. Hipokratésztől Mendelig a biológia története könnyen kezelhető, jól áttekinthető terület, ahol könnyen meg lehet jelölni az „útjelző” objektumokat, a nagy felfedezéseket és a nagy felfedezőket. A Mendel utáni biológia fortyogó, zűrzavaros katlan, ahol az események, felfedezések, ideák gyorsan váltják egymást, a szép, rendszerező feltérképezés lehetetlenné válik.

A biológia történetének utolsó 20-25 évéről, mint a „biológia forradalmáról” beszélnek. Talán sikerül érzékeltetni valamit ebből a forradalomból, ha röviden összefoglaljuk azokat az eredményeket, felfedezéseket, amelyek Asimov könyvének megírása, tehát körülbelül 10 év alatt születtek a biológiában.

A molekuláris biológia eredményei megalapozták és felépítették a modern biológia egy új *szemléletét*, amely az élő sejteket és a magasabb rendű organizmusokat is bonyolult, többszintű fizikai, kémiai, biológiai szabályozórendszereknek tekinti. A sejtek szintjén ennek a szabályozórendszernek főbb elemei, és ezen elemek hierarchiája jól ismert. A hierarchia tetején találjuk a sejtekben levő dezoxiribonukleinsavat, a DNS-t. A DNS molekulái hordozzák magukban mindazokat az információkat, amelyek a sejtekben levő anyagok szintéziséhez szükségesek. A DNS-molekulák egyes szakaszai, a gének irányítják a sejt kémiai reakcióit katalizáló fehérjék bioszintézisét. A gének egy része meghatározza az egyes fehérjemolekulák aminosav-sorrendjét és ezáltal pontos kémiai szerkezetét, más részük szabályozó funkciót lát el. Irányítja az egyes fehérjék szintézisének mennyiségi viszonyait.

A hierarchia következő alsóbb polcán található a ribonukleinsavak. A legfontosabb a vezérlő (messenger) RNS, ez a molekulafajta közvetlenül irányítja a fehérjeszintézist, a többi RNS-fajta, a riboszómák RNS-e, az aminosavszállító RNS, egy-egy részfunkciót lát el a biológiai fehérjeszintézis bonyolult folyamatában.

A fehérjeszintézis célja a fehérjék kellő mennyiségben és minőségben való szintézise. A molekula-hierarchia fehérjetagja talán a legsokoldalúbb, legfontosabb eleme a sejtek szabályozórendszerének. Minden érte és általa történik. A sejtekben lezajló valamennyi kémiai reakciót, beleértve a DNS-szintézist és magát a fehérjeszintézist is, enzimek irányítják. Egy

egyszerű baktériumsejtben 3-5 ezer fajta kémiai reakció folyik egyidejűleg, valamennyi kémiai reakciót e fehérjék gyorsítják. A fehérjék egy másik újabban felfedezett nagy csoportja a szabályozófehérjék, amelyek egy-egy kémiai reakció mennyiségi viszonyát befolyásolják, végül nagyszámú olyan fehérjét ismerünk, amelynek „építőkö” szerepe van, belőlük épülnek fel a sejtek vázai, a sejtmembránok.

A hierarchia legalján találjuk az egyszerűbb szerves vegyületeket, cukrokat, aminosavakat, lipideket, amelyek nagyrészt a fehérjék, nukleinsavak, membránok felépítéséhez szükségesek, vagyis itt a hierarchia köre bezárul. A DNS-molekula hordozza mindazokat az információkat, amelyek a saját szintézisét lehetővé tevő kémiai rendszer, a sejt felépítéséhez, működésben tartásához szükségesek. A különböző élőlények sejtjei, bár teljesen azonos alapelven működnek, és az imént vázolt hierarchia minden élő sejtben megtalálható, a megoldás egyes lépéseiben különböznek egymástól. A biológus, amikor az egyes élőlényeket „tulajdonságaik” alapján megkülönbözteti, osztályozza, lényegében azonos mechanizmusú, de részleteiben különböző rendszereket sorol osztályokba. Az egyes „tulajdonságok”, egy-egy anyag szintézisének képessége vagy képtelensége, egy-egy bonyolult anyagcseresor megléte vagy hiánya, mind visszavezethetők a fehérjékre, ezeken keresztül a nukleinsavakra, vagyis a DNS-ben levő génekre.

A biológia jelen problémái, legújabb eredményei is e hierarchia körül forognak.

Kezdjük talán a DNS-sel!

1968-ban Kornberg és munkatársai sikeresen szintetizálták egy egyszerűbb vírus, a Φ X 174 összes tulajdonságainak információit hordozó DNS-molekulát, kémcsőben. A Φ X 174 a kólibaktériumon élősködő vírus, DNS-e mindössze 5500 nukleotid egységből álló molekulagyűrű. Ez a molekula a vírus teljes életciklusát irányítja, megtalálhatók rajta olyan szakaszok, gének, amelyek a vírus burokképződését irányítják, azok, amelyek magának a DNS-nek a szintéziséhez szükséges speciális enzimek aminosav-sorrendjét határozzák meg. Ez a vírus valószínűleg egyike a világon ismert legegyszerűbb élőlényeknek. Különböző enzimek, nukleinsav építőanyagok, valamint a vírusból kivont DNS segítségével, élő sejten kívül, kémcsőben sikerült az 5500 nukleotidot szintetizálni. A mesterséges vírus biológiailag aktív volt, ugyanolyan tulajdonságokkal rendelkezett, mint a természetben található.

Ezzel az eredménnyel megnyílt az út az egyéb élőlényekben található DNS-részletek, a természetben előforduló gének „in vitro” szintézisé felé. A bonyolultabb élőlények DNS-e sokkal több nukleotidot tartalmaz, szintézisük nyilvánvalóan sokkal nehezebb feladat, de elvi nehézséget már bizonyosan nem tartalmaz. Kornberg eredménye bizonyította, hogy a molekuláris biológia kémiai szemlélete alapjaiban helyes.

Nem sokkal Kornberg eredményeinek közzététele után egy nagyobb angol kutatócsoport 1969-ben bejelentette egy baktériumgén izolálását. A kérdéses gén a kólibaktérium tejcukorbontó enzimjének szerkezetét megszabó gén. Ennek a génnek működéséről közvetett genetikai, biokémiai kísérletekből elég sokat tudunk már, a gén izolálása lehetővé teszi a génműködés legapróbb részleteinek kémcsőben történő tanulmányozását, ami eddig igen nagy nehézségekbe ütközött, másrészt megkönnyíti a gén mesterséges szintézisét, amelyhez az alapot éppen Kornberg eredménye szolgáltatta.

A gének izolálása, mesterséges szintézise nyitja meg az utat az ember szolgálatában álló állatok, növények tulajdonságainak előre meghatározott módon, kémiai úton történő megváltoztatásához. Asimov könyve végén említi a genetikai kód problémáját és az azzal kapcsolatos kísérleteket. Nos, az azóta eltelt idő alatt a genetikai kód problémáját lényegében megoldották, részben az Asimov által is említett Ochoa, de leginkább Nirenberg kutatásai nyomán. Pontosan ismerjük a genetikai kód „szótárát”, vagyis azokat a nukleotid kombinációkat, amelyek egy-egy meghatározott aminosavnak a fehérjemolekulában történő beépüléséért felelősek. Tíz évvel ezelőtt a szakértők évtizedekre terjedő munkát láttak a genetikai kód megfejtésében. A valóságban a munkát néhány év alatt elvégezték.

A kódszótár megfejtése tette lehetővé, hogy az elmúlt évtizedben egészen pontosan felderítsék a fehérjeszintézis mechanizmusát is. Sikerült pontosan tisztázni az egyes fontosabb anyagok, a vezérlő RNS, a szállító RNS-ek (nem egynek pontos nukleotid-sorrendjét állapították meg az elmúlt évek során, többet kristályosan is sikerült előállítani) szerepét, kimutattak több enzimet szabályozó fehérjét, amelyek a vezérlő RNS és a riboszómák összekapcsolásában az egyes aminosavakat szállító RNS-ek megfelelő helyre történő illesztésében működnek közre. Tisztázódott nagy vonalakban a fehérjemolekulák szintézisét indító és befejező folyamatok mechanizmusa is.

Igen előrehaladott állapotban van a fehérjeszintézis központjainak, a riboszómák szerkezetének, működésének felderítése. Ezek a sejtstruktúrák parányi, mintegy húsz fehérjéből és két ribonukleinsav-molekulából álló gömböcskék. Az egyes riboszóma-fehérjék szerepe a fehérjeszintézis folyamataiban, a riboszóma-struktúra és funkció vizsgálata a terület jelenlegi legizgalmasabb témái. Továbbra is központi témája a modern biológiának a különböző fehérjék kémiai biológiai tulajdonságainak vizsgálata. Azt már az ötvenes években tudtuk, hogy a fehérjeszerkezet legfontosabb meghatározó eleme az aminosav-sorrend. Az inzulin, a ribonukleáz aminosav-sorrendjének meghatározásáról Asimov is beszámol. Azóta számos más enzim aminosav-sorrendjét ismerték meg. Jelenleg a legizgalmasabb kérdés a fehérjék térbeli szerkezete és funkciója közötti összefüggések vizsgálata. Az aminosav-sorrend meghatározásának nehézségei eltörpülnek a fehérjemolekula térbeli szerkezetének pontos megismerése útjában álló nehézségek mellett. Az aminosav-sorrend meghatározása tisztán kémiai feladat, amelyet ma már nagymértékben automatizáltak. A térbeli szerkezet, a fehérjelánc csavarodásának, egyes részei egymáshoz való illeszkedésének, az egész szerkezet működésének megismeréséhez nemcsak kémiai, hanem más, főleg fizikai módszerek röntgendiffrakciós mérések és meglehetősen bonyolult, csak számítógépekkel uralható matematikai apparátus igénybevétele szükséges. Ezekről a vizsgálatokról várják azoknak a törvényszerűségeknek a megismerését, hogy az egyes aminosav-építőelemekből milyen módon lehet előre meghatározott tulajdonságú, előre meghatározott kémiai funkció ellátására alkalmas fehérjéket felépíteni. Ennek a problémának a megoldása óriási ipari jelentőségű. Hiszen mesterséges enzimek segítségével a kémiai nagyipar olyan olcsó, „mindenre képes” katalizátorokhoz jutna, amelyek használata a felismerhetetlenségig megváltoztatná ezt az ipart.

Ha a szintetikus enzimek kívánatos szerkezetét ismernénk, aminosav elemeikből történő felépítésük már nem jelentene olyan nagy problémát. Az elmúlt évtizedben két fehérjét sikerült szerves kémiai módszerekkel, tehát a biológiai fehérjeszintézistől alapvetően különböző módszerekkel előállítani.

Az egyik az inzulin volt, amelyet egy német, egy kínai és egy amerikai kutatócsoport állított elő szintetikusán. A másik fehérje már egy valódi enzim volt, a ribonukleáz. A ribonukleáz a ribonukleinsavat bontó enzim előállítását, egy elvileg új módszer, a szilárd fázisú fehérjeszintézis tette lehetővé. Az amerikai kutatók által előállított mesterséges ribonukleáz biológiai aktivitást is mutatott. Előállításával, a kémiaiag rendkívül bonyolult probléma elegáns megoldásán kívül, sikerült bizonyítani, hogy a biológia legbonyolultabb vegyületeit, az élet „anyagát”, a fehérjéket ugyanúgy elő lehet laboratóriumi körülmények között állítani, mint bármely más szerves vegyületet. Ennek az eredménye talán Wöhler urea-szintézisének jelentőségéhez hasonlítható, amely a „vis vitalis” elvét döntötte meg. A gének, a fehérjék izolálása, kémiai szintézise, biológiai szintézisük felderítése volt az elmúlt évtizedek legjelentősebb eredménye. Ezen eredmények legtöbbjét az utolsó évtizedben érték el; a biológia hallatlanul gyors fejlődése, amelyet Asimov könyvében bemutatott, nem lassult le, sőt még el nem képzelt ütemben fokozódott.

Mit várunk a következő évtizedtől?

A molekuláris biológia eredményei lehetővé teszik, hogy olyan eddig megoldatlan és az ember számára létfontosságú kérdések is megoldódjanak, mint a rák, a vírusok elleni védekezés, a sejtdifferenciálódás szabályozása és az idegrendszer működése molekuláris alapjainak problémája. A molekuláris biológia eddig „alapkutatásokat” végzett, a biológia alapkérdéseit vizsgálta, és ehhez a legmegfelelőbb kísérleti objektumokat igyekezett választani. Most egy új szakasz következik, a molekuláris biológia a gyakorlati élet felé fordul, olyan problémák megoldásához fog, amelyek már közvetlen gyakorlati értékkel bírnak.

Csányi Vilmos

Tartalom

I. fejezet

Az ókori biológia

- A tudomány kezdete
- Iónia
- Athén
- Alexandria
- Róma

II. fejezet

A középkor biológiája

- A „sötét kor”
- A reneszánsz
- Az átmenet

III. fejezet

A modern biológia születése

- Az új anatómia
- A vérkeringés
- A biokémia kezdete
- A mikroszkóp

IV. fejezet

Az élet osztályozása

- Az ősnemzés
- A fajok rendszerezése
- Az evolúcióelmélet kezdetei
- A geológiai háttér

V. fejezet

Vegyületek és sejtek

- A gázok és az élet
- A szerves vegyületek
- A szerves anyagok
- A szövetek és az embriók

VI. fejezet

Az evolúció

- A természetes kiválasztódás
- Harc az evolúció körül
- Az ember származása
- Az evolúció mellékhatásai

VII. fejezet

A genetika kezdete

A darwini elmélet hézagai
Mendel borsói
Mutáció
A kromoszómák

VIII. fejezet

A vitalizmus bukása

A kalóriamérés
Az erjedés
Az enzimek

IX. fejezet

Harc a betegség ellen

A himlőoltás
A betegség csíraelmélete
A bakteriológia
Rovarok
A táplálkozási tényezők
A vitaminok

X. fejezet

Az idegrendszer

A hipnotizálás
Az idegek és az agy
A magatartás
Az idegi potenciál

XI. fejezet

A vér

A hormonok
A szerológia
A vércsoportok
A vírusbetegségek
Az allergia

XII. fejezet

Az anyagcsere

A kemoterápia
Az antibiotikumok és a peszticidek
Az anyagcsere közbülső termékei
A radioaktív izotópok

XIII. fejezet

A molekuláris biológia: a fehérje

Enzimek és koenzimek
Az elektroforézis és a röntgensugár-elhajlás
A kromatográfia

Az aminosavak elrendeződése

XIV. fejezet

Molekuláris biológia: nukleinsav

Vírusok és gének

A DNS jelentősége

A nukleinsavak szerkezete

A genetikai kód

Az élet eredete

Utószó

Kiadja a Gondolat, a TIT Kiadója

Felelős kiadó a Gondolat Kiadó igazgatója

Felelős szerkesztő: Auer Kálmán

Műszaki vezető: Kálmán Emil

Műszaki szerkesztő: Szvoboda Gabriella

A borító és kötéstervezés Kende Frigyes munkája

Megjelent 5000 példányban, 14 (A/5) ív terjedelemben

Ez a könyv az MSZ 5601-59 és 5602-55 szabványok szerint készült

71.0255/1-3311 Zrínyi Nyomda, Budapest.

Felelős vezető: Bolgár Imre igazgató