

Az üvegtűtől az elektronmikroszkópig

Mi az, amit a nem közvetlenül érdekelt, de érdeklődő ember megtud, illetve megtudhat a tudományos kutatás különböző területeiről? Az orvosi-biológiai kutatás vonatkozásában az ilyen természetű információ legtöbbször egyes kimagasló — hogy úgy mondjuk, szenzációs — eredmények ismertetésére szorítkozik. Az esetek túlnyomó többségében ilyenkor a gyakorlat eredményeiről van szó, a műtétek, a heroikus beavatkozások hőseiről. Nagyrítkán talán egy-egy úgynevezett „elméleti“ felfedezés vagy eredmény is bekerül a köztudatba. (Mint például a nukleinsavak szerepe az átöröklésben vagy az élő anyag szintézisének problémái.) Az azonban már igazán kivétel számba megy, ha a nem szakember a kutatás „laboratóriumába“ is betekintést nyer. Pedig a végső vagy részeredmény mindig sok, nagyon sok megelőző munka eredménye, és betetőzése egy olyan — rendszerint hosszadalmas és bonyolult — folyamatnak (végakkordja és egyúttal más kutatások kezdősora), amelyben a szubjektív és objektív tényezők, s a múlt, jelen és jövő sokrétű kölcsönhatása zajlik. Semmiképpen sem árthat, ha nem szakember is betekint a kutatás hétköznapjaiba, az ismeretek egyre növvő épületeinek technológiájába.

Gondoljuk el: nincs érdeklődő ember, aki ne hallott volna a capetowni szívátültetésről, ne ismerné Blaiberg kórtörténetét, ne aggódott volna sorsáért. (Ez jól is van így. Ilyen esetekben nyilvánul meg igazán, milyen nagy és igaz az ember). De vajon ártana-e, ha valamivel többet tudnánk arról, ami lehetővé tette a végső beavatkozást? Ha értesülnénk a számtalan állatkísérletről szerte a világon, a szövettan, immunológia, biokémia sok, nagyon sok neves és névtelen harcosáról, akiknek eredményei, ha mégoly kezdetiek is, már rést ütöttek az egyik legnehezebb probléma, az úgynevezett szöveti inkompatibilitás bástyáján.

De még ezen „elméleti“ eredményeknél is kevésbé ismeri a nem szakember azokat az eszközöket, módszereket, amelyek segítségével ezek az eredmények létrejöttek. Pedig — ha tartózkodunk is bármilyen túlzástól — gyakran éppen a kutatás eszközei és módszerei azok, amelyek új utakat nyitnak meg, új lehetőségeket tárnak fel. Szeretném ennek az aránylag kevésbé tárgyalt és vitatott, de igen figyelemre méltó területnek néhány „általános“ kérdését felvetni, majd pedig a valóság marxi értelemben vett konkrét voltából kiindulva egy bizonyos kutatási területen belül szemügyre venni a kérdések némelyikének „kézzelfogható“ vonatkozásait.

A tudományos kutatás dialektikája

A tudományos kutatásnak mint társadalmi jelenségnek összefüggései („belső” és külső”) egyaránt igen sokrétűek. Maga az alapvető összefüggés: az adott társadalmi fejlődési szakasz és a kutatás kölcsönhatása is sok különböző és egymásra ható síkon érvényesül. Kétségtelen mindenekelőtt, hogy a kutatás *iránya*, *problémafelvetése*, a tudományos erő kifejtés *szélessége* és *mélysége* a társadalmi gyakorlat felvetette „kérdésektől“, a társadalom közeli, azonnali vagy távoli szük-

ségeitől függ. Emellett azonban olykor igen nagymértékben az illető kutatás terület „előzménye“ — a már elért eredmények, a már kidolgozott módszerek, a már felvett irány — hat elhatárolóan a további munka mennyiségére és minőségére. A tág értelemben vett „tradíció“ ilyen hatása talán leginkább a művészetben és irodalomban megnyilvánuló hasonló jelenség mellé állítható, és nem más, mint a kutatás „belső dialektikájának“ érvényesülése.

A társadalom adott fejlődési szakasza azonban nemcsak mint „megrendelő“ befolyásolja a kutatást. Legalább olyan (vagy megközelítőleg olyan) mértékben függ a kutatás iránya és lehetősége a társadalom adott technikai színvonalától, ami — végső fokon — a kutatás eszközeinek színvonalát is meghatározza. Úgy hiszem, nem kell külön hangsúlyozni, hogy a társadalom és kutatás összefüggése semmi esetre sem egyoldalú, hanem kölcsönhatás (mint minden dialektikus összefüggés). Ebben az értelemben a kutatás színvonala és eredményei hatnak és visszahatnak a társadalom anyagi-technikai fejlődésére, és (amit talán kevésbé szokás hangsúlyozni) annak gondolati-ideológiai együtthatói. Ez nyilvánvaló (s ezért szükségtelen hangsúlyozni) a technikai tudományok esetében, de kevésbé nyilvánvaló (s ezért hangsúlyozni kell) például az orvosi-biológiai kutatás vonatkozásában.

Erre a vonatkozásra különben konkrét formában még visszatérünk. Itt csupán a szemléletesség céljából elég, ha arra a szerepre utalunk, amit például a mikroszkóp megszerkesztése (annak optikai, fémtechnikai, mechanikai együtthatóival) vagy — napjainkban — az elektronmikroszkóp létezése számos kutatási terület köztük az orvosi-biológiai kutatások szempontjából jelentett.

Ha már most — e néhány bevezető és általánosan ismert — összefüggés megemlítése után a kutatás *belső dialektikájának* más oldalaihoz fordulunk, akkor — különösen a modern orvosi kutatást elemezve — számos érdekes és fontos törvényszerűsége bukkanunk. Legyen szabad ezek közül — mintegy problémafelvetésként — néhányat megemlíteni. A modern tudományos kutatást talán mindennél inkább az egyre szélesedő „kooperáció“ jellemzi.

Az orvostudomány (egészében véve és tudományáganként) ma már elképzelhetetlen a biokémia, fizika, fizikokémia (és így tovább) szolgáltatata adatok nélkül. De ugyanígy lehetetlen lenne (s ez tulajdonképpen pleonazmusként is hathat) bármilyen orvosi vizsgálatot, meghatározást, kutatást a különböző „segédtudományok“ módszertani segítségével és megfelelő felszerelés mellőzésével elvégezni.

Jegyezzük meg mintegy zárójelben, hogy különösen az orvostudomány területén ez az egyre nagyobb függés a „segédtudományoktól“ és „segédeszközöktől“ nem értékelhető minden ízében pozitívnak. A röntgen-technika és radioaktív izotópok, az önműködő vérszámológép és az elektronikus agy révén diagnózisra képes számítógép — bármilyen sokat is nyújt és ígér — nem helyettesítheti teljesen az orvostudomány specifikus, saját módszereit! Ebben a kérdésben még tovább is mehetünk. Kétségtelen például — legalább az alapvető orvosi biológiai kutatásban — hogy a XIX. század *mindmáig* példátlan eredményei, előremutató hipotézisei aránylag egyszerű, kezdetleges kutatási eszközökkel jöttek létre. Itt a tőkés fejlődés gyors ütemű terebélyesedésének társadalmi keretében *aránylag* sokkal többet lendült előre a megismerés, mint bármely más korszakban (beleértve századunkat is!) Nem lehet és nem szabad letagadnunk, hogy napjaink számos kifinomult, bonyolult eszközökkel létrehozott megállapítása csírájában (olykor megdöbbentő tökéletességgel) már a múlt században létezett. A segédtudományok és eszközök túltengése nem régi keletű, különösen századunk vívmánya. A múlt században legalább az orvosi-biológiai kutatás területén, az egy mikroszkópon kívül vajmi kevés lényeges és bonyolult „idegen“ elem működött közre.

A kutatás dialektikája távolról sem merül ki a kölcsönhatások széles körű érvényesülésében. Legalább olyan fontosságú (s persze az előbbivel

szorosan összefügg) annak ismerete, hogy mi a fejlődés, az előmenetel legfontosabb tényezője a kutatásban. Erre a kérdésre nehéz leegyszerűsített feleletet találni. A tudományos kutatásnak az említett általános összefüggéseken belül számos objektív és szubjektív tényezője (összetevője) van, s ezek közül valamennyi — kisebb-nagyobb mértékben — hozzájárul a haladáshoz. Mégis, eltekintve a már felvetett általános tényezőktől (és távolról sem teljességre való törekvéssel), ilyen értelemben számításba jöhet egy vagy több „véletlen” felfedezés vagy új irányt kezdeményező (a fennálló ismeretek, adatok alapján kidolgozott) munkahipotézis, egy új, addig nem használt módszer vagy kutatási eszköz bevezetése és „standardizálása”. Mindegyikre számos példa létezik (hacsak az orvosi biológiai kutatás területén maradunk). Így a felsőbb idegműködésben annyira lényeges „külső gátlás” megismeréséhez döntő módon járult hozzá az az árvíz, amely miatt Pavlov kísérleti laboratóriumát ki kellett üríteni és amely — mint „zavaró” külső behatás — megszüntette a kutyákon kidolgozott feltételes reflexeket. Ugyanígy nehéz felmérni azt a hatást, amelyet a Watson és Crick kidolgozta dezoxiribonukleinsav-struktúra elmélet a modern genetikai és biokémiai kutatásra gyakorolt. Vagy elég, ha a máris halmozódó eredményekre gondolunk, amelyek a „gyorsított filmfelvétel” felhasználásával az orvosi biológiai kutatás legkülönbözőbb területein születnek.

Mindezek természetesen feltételezik a *mindennél fontosabb* szubjektív tényezőt, a kutató embert. Manapság nemegyszer halljuk vagy olvassuk, hogy előbb vagy utóbb a kibernetika vívmányai, a „gondolkodó” gépek még a kutatás bizonyos területein is helyettesíthetővé teszik az embert. Nem hiszem, hogy ez valaha is megtörténjék! Éppen úgy, ahogy a legtökéletesebb elektronikus agy sem fog (meggyőződésem szerint) még megközelítőleg sem olyasmit alkotni, mint Shakespeare egyetlen verssora, Beethoven egyetlen témája vagy Michelangelo egyetlen vésőnyoma, a kibernetika semminemű szüleménye sem lesz képes Arisztotelész, Harvey, Darwin, Pavlov vagy Spemann örökébe lépni. A gép mindig eszköz marad, segédeszköz, amely hihetetlen mértékben könnyítheti a kutatómunkát, növelheti a munka minőségét és termelékenységét, de a kutatás alapvető tényezője az ember volt és marad. Amikor emberről szólunk, nemcsak a kutatás kimagasló egyéniségeit értjük rajta. Ezek, koruk és körülményeik szülötteként (mint az emberi tevékenység más területein is), rendkívüli módon hozzájárulhatnak a megismerés elmélyüléséhez. De a kutatás nemcsak szintézisből, különleges ötletekből, elgondolásokból áll, hanem megvan a maga „technológiája”, megvannak a maga munkás hétköznapijai. Éppen ezért, különösen a korszerű, komplex kutatás körülményei között mindinkább előtérbe kerül a *kollektívák* szerepe és hozzájárulása (hogy egy ma elég közhasznú szóval éljünk: kollektív bölcsessége).

A helyesen vezetett és megfelelően dolgozó kollektíván belül érdekes és a kutatás szempontjából fontos kölcsönhatások alakulnak ki a kiemelkedő egyéniség és a vele együtt munkálkodók között.

A fejlődésbiológia példája

Tulajdonképpen, szűkebb értelemben vett kutatásról a legtöbb orvosi-biológiai tudományág esetében csak a kísérleti kutatás kezdeteitől beszélhetünk. Ez távolról sem akar a leíró fejlődési szakasz lebecsülése lenni. Sajnos, még mindig nem elég nagy azoknak a száma, akik következetesen a valóság formaleírását, analizisét tartják minden kísérleti kutatás alapjának. (Jegyezzük itt meg, hogy nem ártana orvostanhallgatóinkat és biológus diákjainkat külön terv szerint megtanítani arra, hogy szabatosan, plasztikusan s az objektív valósághoz minél hívebben *írjanak le!*). Klésztelen azonban, hogy az „oknyomozó” kutatás, a mecha-

nizmusok feltárása csak kísérleti úton valósítható meg. Ha tehát a következőkben a *fejlődéstan* kezdeteiről szólunk, tulajdonképpen a *kísérleti fejlődéstan*ról van szó, anélkül, hogy kisebbiteni akarnók a leíró fejlődéstan évszázados történetének eredményeit, jelentőségét és aktualitását.

A kísérleti fejlődéstan (vagy ahogy előbb nevezték: a *fejlődésmechanika*) a múlt század második felének szülötte (annyi más tudománnyal együtt!), de „klasszikus“ korszaka messzi behúzódik századunkba. Hiszen Wilhelm Roux alapvető kísérleteit a múlt század 90-es éveiben közölte és az utolsó „klasszikus“ (bár itt nehéz pontos határt húzni) Hans Spemann, 1935-ben kapta meg a Nobel-díjat. Ha végigtekintünk ezen termékeny négy-öt évtized munkáin, nem kerülheti el figyelmünket, hogy a fejlődéstan alapvető megállapításai meglepően egyszerű eszközök segítségével születtek. A mikroszkóp, az úgynevezett binokuláris lupe és néhány üvegtű, csipesz, íme az első nagy kísérletezők „kellékára“. Így születtek meg első ismereteink a korai embrionális fejlődésről, egy olyan rendkívül fontos jelenségről, mint az ún. embrionális indukció. Az embernek szinte az a benyomása, hogy az eszközök egyszerűsége szerencsésen párosul néhány kiváló kutató és munkaegyüttes nagytermékenységu munkájával. Hiszen ha jól utánagondolunk, egyes szövetrészek eltávolítása, mások átültetése, egyes részek egymástól való elválasztása vagy egymáshoz való illesztése nem is kíván különösebben bonyolult berendezéseket. Néhány egyszerű operáció, néhány kristálytiszta logikával végiggondolt hipotézis bizonyítása, és sok mindenre fény derül, ami előbb megfoghatatlannak tűnt. Persze, tévedés volna azt gondolni, hogy mindez könnyen ment. A ma már tan- és kézikönyvekben bárki által megtalálható „klasszikus“ tények mögött lelkes és tehetséges kutatók megszámlálhatatlan munkáiraja, átvirrasztott éjszakák, viták, tévedések és újrakezdekések rejlenek. Hiszen a kísérleti fejlődéstan mint morfológiai tudomány igen nagy *menyiségű* laboratóriumi munkát is követel.

Közben itt is, ott is egy-egy felvillanó gondolat, ötlet, munkamódszer, kísérlet lendíti meg a kutatás kerekét. Ragadjunk ki egyet a sok közül. Vogt német embriológus megteremti a *vitális festéssel való megjelölés módszerét*. Olyan festékanyagokkal, amelyek élő szöveteket festenek meg, bizonyos szövetrészeket meg lehet jelölni, majd „sorsukat“ követni az embrionális fejlődés során. Ez az egyetlen módszer lehetővé tette a korai fejlődés „feltérképezését“, az egyes szervek és szövetek eredetének tisztázását. Vagy: Spemann (ez a valóban zseniális kísérletező) vékony hajszállal leszorítja s ezáltal „kettéosztja“ a fiatal békaembriót, és kideríti, hogy csak az a rész fejlődik normálisan, amely egy bizonyos meghatározott szövetterületet tartalmaz (tudományos nevén az *összajnyílás felső ajkát*). Ezáltal felismeri az úgynevezett „organizátor“ létezését, és elindítja az egyik legfontosabb fejlődési mechanizmus, az *indukció* tanulmányozását (amely különben mint az egyéni fejlődés dialektikájának egyik pregnáns megnyilvánulása is figyelmet érdemel). Folytathatnánk, de nem célunk részletezni a „klasszikus“ kísérleti fejlődéstan hatalmas adattárát. Talán így is sikerült bepillantást nyújtani egy korszakba, amelyben ez a fiatal tudomány saját „határain“ belül fejlődik, a kutatók rendszerint maguk készítik eszközeiket, és (különösen kezdetben) maguk rögzítik rajzban, aprólékos gonddal, megfigyeléseiket.

Már utaltunk arra, hogy a kutatás módszerei és eszközei szempontjából nem lehet teljesen kronologikus sorrendben álló szakaszokra osztani az orvosi biológiai kutatás és ezen belül a fejlődéstan kutatás területét. Éppen ezért a következőkben más szemszögből szeretném — a bevezetőben felvetett problémákhoz

kapcsolódva — vázolni a fejlődésbiológiai kutatás néhány modern módszerét, illetve irányát.

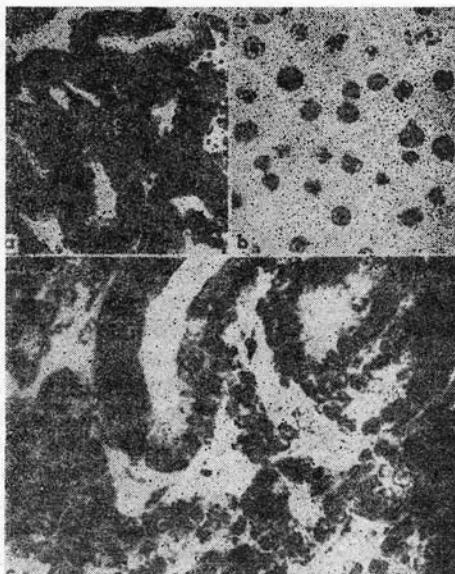
A fejlődéstan (mint már aláhúztuk) mindenekelőtt a kialakuló, a fejlődő *forma* vizsgálatának tudománya, tehát *morfológiai* tudomány. Ennek megfelelően a kutatás fejlesztése, mindenekelőtt a morfológiai vizsgálatok tökéletesítése, elmélyítése terén megy végbe.

A felhasznált új módszerek egy része természetesen nem a fejlődéstan kizárólagos „tulajdona“, hanem az összes morfológiai kutatások céljait szolgálja. Ilyen például a klasszikus szövetvizsgálatok továbbfejlesztéséből született, ma is állandóan fejlődő, terebélyesedő *szövet- és sejtkémia* és legmodernebb ága, a *szövet- és sejtenzimológia*. Lényege a különböző vegyi összetevők, komplex vegyületek lokalizációjának kimutatása a sejtekben és szövetekben. Létrejöttében és kifejlődésében döntő szerepe volt és van a vegytan, biokémia és optika eredményeinek, illetve ezek bekapcsolódásának a morfológiai kutatásba. Segítségével is-

mertük meg (persze még távolról sem kielégítően) a szövetek vegytanának fejlődési állomásait, a vegyületek fokozatos „fellépését“, a fermentumok „beérését“ az embrionális fejlődés során. Még mélyebbre nyúl a modern atomfizika morfológiai alkalmazása, az úgynevezett *radioautográfia*. Lényege a radioaktív izotópokkal „megjelölt“ vegyületek kimutatása szöveti metszeteken, egy módosított fényképtechnika segítségével. Nyilvánvaló, hogy ez a módszer lehetővé teszi a molekulák (köztük a döntő fontosságú *makromolekuláris* fehérjék, nukleinsavak stb.) *szintézisének* követését. Így például, megfelelően „megjelölt“ komponens befecskendezése után pontosan megállapíthatjuk, hol, milyen ritmusban képződnek a sejtekben és szövetekben nukleinsavak.

Egy fokkal „magasabb“ szervezettségi szinten vizsgáljuk az élő anyag és egyben — természetesen — a fejlődő sejtek, szövetek szerkezetét, morfológiáját az *elektronmikroszkóp* segítségével. Ha az előbb említett módszerek és eszközök a molekuláris elrendeződést, a molekulák mennyiségi és minőségi változásait teszik vizsgálhatóvá, az elektronmikroszkóp e molekulákból felépülő mikroszkopikus nagyságú elemeket közelíti meg (a sejt- és maghátyát, a protoplazma szerkezeti elemeit): Meg kell azonban mondanunk, hogy az elektronmikroszkóp *fejlődéstan*i felhasználása még csak a kezdet kezdeténél tart, és adatai még nem „állhatnak“ össze szintetikus egészzé!

A *mikroszkopikus szinten* végzett morfológiai vizsgálatok is új utakat keresnek az utolsó évtizedekben. A mikroszkóp-technika újabb és újabb vívmányai egyrészt arra képesek, hogy fizikai tulajdonságaik révén kimutassanak bizonyos különben nem látható sejt- vagy szövetelemeket (például az ibolyántúli, fluoreszcens, polarizált fény-mikroszkóp), másrészt hogy különböző optikai berendezések segít-



a) csirkeembrió veséje (szöveti szerkezet); b) sejtszuszpenzió az embrionális vese sejteiből; c) a sejtszuszpenzióból újráképződött vese szöveti képe.

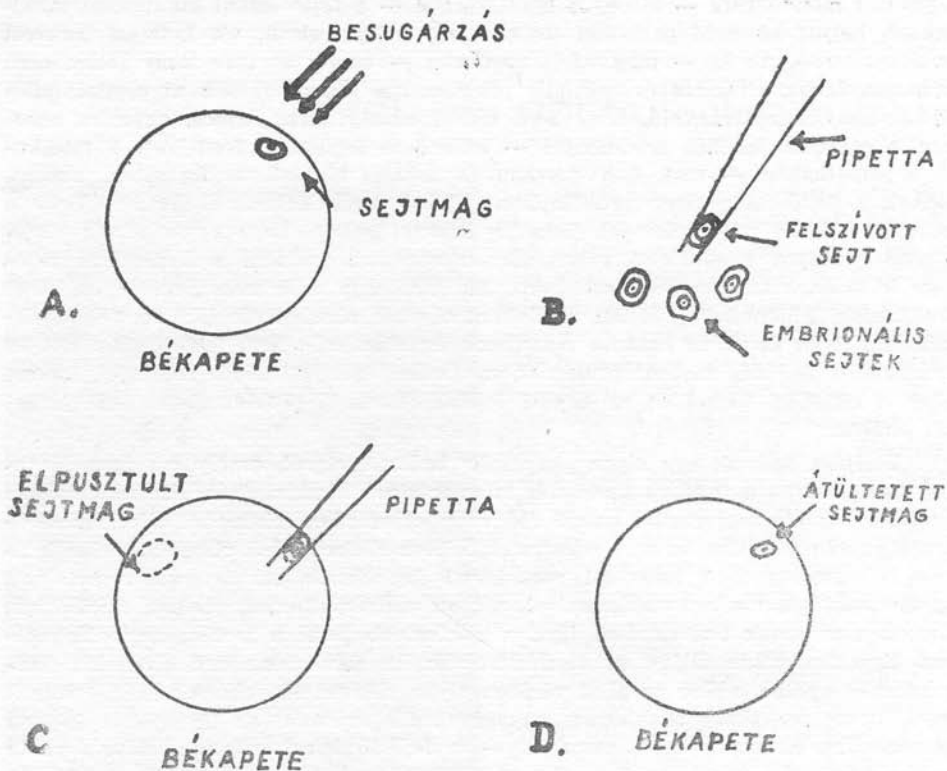
ségével döntő módon megjavítsák különösen az élő, nem megfestett sejtek vizsgálatának lehetőségeit (például a fáziskontraszt- vagy interferens-mikroszkóp). Az első csoportba tartozó mikroszkópok szintén hozzájárulnak a fejlődéstani kutatáshoz. Új, nagy lehetőségeket azonban különösen a fáziskontraszt-mikroszkóp nyit meg. Ez a mikroszkóp teszi lehetővé, hogy nemcsak a sejten belüli mozgásokat, változásokat figyeljük meg, hanem hogy nyomon kövessük a szervezeten kívüli élő fejlődő sejtek és szövetek életjelenségeit. Ez pedig már döntő fontosságú a fejlődéstan számára.

Meg kell állnunk egy pillanatra. Ahhoz, hogy az elmondottakat megértsük, utalnunk kell két olyan módszerre, illetve eszközre, amely ugyancsak nem a kísérleti fejlődéstan monopóliuma, de amely nélkül ez a tudomány már el sem képzelhető. Az egyiket csak megemlítem, mivel különböző problémáit részletesen elemeztük egy előbbi tanulmányban (*Korunk*, 1967. 12). A sejtek, szövetek, szervek és szervezetek *tenyésztéséről* van szó. Nyugodtan állíthatjuk: a fáziskontraszt-mikroszkóp tette lehetővé, hogy folyamatos élő állapotban kövessük a szövet- és sejtenyészetek sorsát. Ez persze csak pillanatképek sorozata. A mozgó, fejlődő, alakuló sejtek igazi dinamikus vizsgálatát csak egy másik modern kutatási módszer, a *gyorsított filmfelvétel** „társulása” tette lehetővé. Ilyen módon a tenyésztett, rendszerint embrionális sejtek és szövetek számos tulajdonsága vált ismertté. A *gyorsított film* technikájának alkalmazása azonban nem merül ki — még fejlődéstani vonatkozásban sem — a sejtenyészetek filmezésében. A kísérleti, sőt a modern, leíró fejlődéstan számos megállapítása fűződik ehhez a módszerhez. Így sikerült megállapítani az emlőspete megtermékenyítés utáni osztódását és továbbfejlődését, a csirkeembrió korai fejlődésének folyamatos képét, a termékenyítés egyes fázisait (mindez természetesen tápfolyadékban, tehát szervezeten kívül).

Nem kell külön hangsúlyoznunk, hogy valamennyi említett módszer valamilyen úton-módon összefügg a termelés, a technika, a társadalmi szervezés tökéletesedésével. A szövettémia és különösen a szövetenzimológia rendkívül tiszta vegyszereket, az elektronmikroszkópia, az új típusú mikroszkópok a komplex finomtechnikai ipar fejlődését, a szövet-, szerv- és szervezetenyésztés rendkívül komplex, szintetikus tápanyagok előállítását, a filmezés speciális felvevőberendezések gyártását tételezi fel.

Van a kísérleti fejlődéstanak néhány olyan új kutatási iránya (lényegében új módszere is), amely ezen tudomány specifikus szükségleteiből fejlődött ki, és nem annyira komplex technikai berendezésekre, mint különlegesen fontos munkahipotézisekre épül fel. Az első ilyen kutatási irányról, az embrionális szövetek sejtekre való felbontásáról és a szöveti (szervi) szerkezet újból való „összeállításáról” szintén alkalmunk volt részletesebben szólni (*Korunk*, 1967. 12). Mint azt ott is hangsúlyoztuk, ez a nemrég kezdeményezett és erőteljesen fejlődő módszer máris jelentős lépéseket tett a tulajdonképpeni „morfogenezis”, a szövetek és szervek létrejöttének megértése felé. Már a másik ilyen „saját” módszer, illetve kutatási irány az ún. *sejtmagátültetés*. Kezdeményezői: Briggs és King amerikai kutatók, de számos laboratóriumban, többek közt Sladeček professzor prágai intézetében folynak ilyen irányú vizsgálatok. A sejtmagátültetés lényege a következő: egy kétéltű (például béka) olyan petéjébe, amelyből előzőleg eltávolítottuk a sejtmagot, egy, az illető (vagy másfajú) embrió sejtjéből származó sejtmagot juttatunk. A mód-

* A gyorsított filmfelvétel (és általában a filmtechnika) alkalmazása az orvosi-biológiai kutatásban olyan terjedelmes probléma, amelyet nem merithetünk ki e tanulmány keretében.



A. a békapete sejtmagját besugárzással elpusztítjuk; B. korai békaembrió (blasztula vagy gasztrula) sejtjei közül egyet finom pipettába szívunk; C. a sejtet befecskendezzük a „magtalanított” petébe; D. a pete az átültetett sejt-maggal fejlődik tovább.

szer természetesen finom üvegműszereket kíván, amelyek elkészítése és kezelése csak egy speciális készülék, az ún. mikromanipulátor segítségével lehetséges. Miért fontos ez a kutatási irány? Segítségével vizsgálható, milyen hatással van a fejlődésre, ha a petesejt „fejlettebb” sejt-maggal kezd osztódni. Általában tisztázható, hogy mikor és milyen szerepe van a sejt-magnak és sejt-plazmának (illetve a kettő közti relációnak) az egyéni fejlődés korai stádiumaiban.

A kísérleti fejlődéstan munkájának elmélyülése azonban nemcsak a tulajdonképpen morfológiai vizsgálatok módszereinek fejlesztésével valósul meg. Számos „segédtudomány” (amely maga is fontos „főtudomány”!) kapcsolódott bele szervesen — az utolsó néhány évtized során — a fejlődéstan kutatásba. Említsünk meg hármat a sok közül, azt a hármat, amely ma már a fejlődéstan önálló kutatási irányát alapozza meg. Az első a *biokémia*. Kapcsolatait az egyéni fejlődés vizsgálatával már több ízben érintettük. Az *embrio-biokémia* egyre nagyobb adattárral rendelkező tudományág, megállapításai nagyban hozzájárultak például a petesejt struktúrájának megértéséhez. Mégis meg kell mondanunk, hogy a vizsgálatok hatalmas mennyiségéhez viszonyítva a megállapítások heurisztikus jelentősége még nem kielégítő. A részadatok, a mennyiségi és minőségi vegyi meghatározások még nem adtak alapvető *magyarázatot* a fejlődés folyamatait, mechanizmusait illetően.

Ugyanezt mondhatjuk — bizonyos fenntartással — a fejlődéstani kutatásban mindinkább helyet követelő *genetikai* (örökléstani) módszerekről, sőt kutatási irányról is. Nem térhetünk ki — még vázlatosan sem — ennek az igen nagy jelentőségű tudományágnak általános és speciális problémáira. Összefüggésük az egyéni fejlődéssel annyira nyilvánvaló, hogy nem szorul bizonyításra. Sajnos, egyelőre azonban a genetika jelentős eredményei — különösen legújabb „frontján“, a molekuláris genetikában — csak szórványosan és inkább hipotetikus formában kapcsolódnak a fejlődéstan nagy problémáihoz. (Lásd erről *Korunk*, 1966. 11). Tudjuk, szemmel, illetve mikroszkóppal látszólag bizonyíthatjuk, hogy egyes gének elváltozásai bizonyos morfológiai változásokhoz vezetnek (például a *Drosophila* nevű légy különböző testrészeinek esetében). Tudjuk, hogy a kromoszóma egyes kóros elváltozásai különböző fejlődési rendellenességeket okozhatnak (illetve velük társulnak!). Ilyen és ehhez hasonló részadatok azonban még nem jelentenek sokat az embrionális fejlődés mechanizmusának megértése szempontjából. A jövő feladata, hogy a genetika tényei és az egyéni fejlődés konkrét problémái közti tényleges ürt kitöltse.

Utoljára szólunk egy olyan „kapcsolt“ tudományágról, amely ma igen lényeges részt követel a fejlődés finomabb folyamatainak tisztázásából. Az *immunológia* általában az élő szervezetbe hatoló élő vagy egyszerűen fehérjéből álló, ún. *antigének* és az ezek ellen termelt *ellentestek*, illetve *ellenanyagok* vizsgálatával, általánosabb szemszögből a szervezet reakcióival foglalkozik. Az *immuno-embriológia* az immunológia modern módszereivel, sőt az antigén-ellentest reakció fejlődésben játszott szerepének tisztázásával igyekszik közelebb jutni a morfogenezis lényegéhez. Egyetlen példa álljon itt szemléltetésül: ha szív-izomszövet kivonatát fecskendezzük nyúlba, akkor az állat vérében olyan ellentestek jelennek meg, amelyek specifikusan reagálnak a szívizom anyagával. Ha mármost az ily módon képzett ellentesteket összehozzuk — mondjuk — a fejlődő korai csirkeembrióval, akkor meg a szívkezdemény látható megjelenése előtt kimutatható a szívizom építőanyagának megjelenése az ellentestekkel való reagálás alapján. Ily módon szervkialakulásának igen korai stádiumait sikerült tisztázni.

„Befejezés“ helyett még egy megjegyzés: szeretném, ha a felvetett kérdéseket elsősorban *problémafelvetésnek* is tekintenék. A tudományos kutatás dialektikájának számos érdekes vonatkozása érdemel figyelmet és megvitatást, különösen napjainkban, amikor a tudomány rendkívüli jelentőségre tett szert a társadalom alakulásában.

