

Sejtmozgás és mintázatképződés

Beszélgetés Czirók Andrással

Az élő szervezetek tele vannak mintázatokkal. Gondoljunk a gerinc csigolyáira, a tüdő légjárataira, az ujjainkra vagy az élőlények külső jegyeire, a zebra csíkjaira és a pillangók szárnyaira. „De nem is kell, hogy többsejtű élőlényeket vizsgáljunk, már az egysejtű mikroorganizmusok is nagyon érdekes önszerveződő mintázatokot tudnak képezni” – mondja Czirók András, aki másodéves egyetemista kora óta figyeli őket. Úgyancsak jellegzetes mintázatok alakulnak ki szövetek képződésekor – ilyenkor egy embrió testi sejtei vándorolnak, hogy a kialakuló szervezetben jól definiált helyüket megtalálják. Czirók András, az ELTE fiatal kutatója a sejtek követésére szolgáló videomikroszkópos technika kidolgozásáért és alkalmazásáért 2006 decemberében Nemzetközi Gábor Dénes-díjat kapott.

– Mennyiben tér el a biológiai mintázatok leírása a szervesetlen mintázatokétól?

– Alapvető különbség, hogy szervesetlen mintázatok (kristályok, fraktálok) esetén nagyjából ismerjük azokat a mikroszkopikus szabályokat, amelyek a mintázatot létrehozzák. A mintázatok kialakulását egy reakció-diffúziós rendszerben sem ismerjük teljesen, de ott legalább azt tudjuk, hogy a molekulák mozgása és reakciói milyen szabályoknak engedelmeskednek, tehát az alapokat ismerjük. A sejtek viszont már önmagukban roppant összetettek, ezért arra is hipotéziseket kell tennünk, hogy egy bizonyos sejt különböző külső környezetekben hogyan viselkedik. Így az élő szervezetben fellépő kollektív rendszerek vizsgálata sokkal gyengébb alapokon áll, mint a fizikai rendszerek tanulmányozása.



– Sejteket, szöveteket vagy még nagyobb rendszereket vizsgál-tok?

– Három téma köré csoportosíthatók a kutatásaink. Az első, a mikroorganizmusok telepkepzése és mintázatképzése visszanyúlik a doktori iskolában végzett munkámhoz, amelyen Vicsek Tamás professzorral dolgoztunk. Ott az volt a kérdés, hogyan hat a külső, fizikai környezet ezekre az egymáshoz nagyon hasonló és egymással is kölcsönható élőlényekre. Például, ha a tápanyag egy gélen keresztül diffundál hozzájuk, akkor nagyon érdekes, fraktálszerű alakzatok alakulnak ki. Ilyenkor az egyes sejtek viselkedését alapvetően meghatározza egy fizikai diffúziós folyamat. Előfordulhat az is, hogy egy folyadék felszínén, a nagy oxigénkoncentráció miatt összegyűlnek a mikroorganizmusok. A folyadék sűrűsége ezen a helyen megnő, így hidrodinamikai instabilitások alakulnak ki. Ennek következtében az egész víztömeg áramolhat, ez a biokonvekció. Az is nagyon érdekes, hogy ha ezek a mikroorganizmusok elég nagy sűrűségben vannak jelen, akkor valahogy összehangolják a mozgásukat. Mindegyikük szeretne mozogni, de nem tudnak átmenni egymáson, így különleges áramlási mintázatok alakulhatnak ki, amelyek különböznek a jól ismert, folyadékok hidrodinamikája által leírt áramlási típusoktól.

Ennek a munkának a szerves folytatása lett a másik két téma, a sejtmozgás és az embriogenezis vizsgálata. Sejtmozgással azért kezdtünk el foglalkozni, mert a szöveti mintázatképződésnek az az egyik hajtóereje, hogy a sejtek mozogni tudnak. Másrészt ez egy nagyon érdekes biofizikai probléma, hiszen a sejt fizikai test, amelyben a sejtváznak, a citoszolnak és a sejtmembránnak eltérő mechanikai tulajdonságai vannak. Ahhoz, hogy a sejt haladni tud-

jon, ezeket meg kell változtatni, erőket kell rájuk kifejteni. A sejtmozgás tehát olyan probléma, ahol a biofizika szorosan kapcsolódik a biokémiához, a sejtbiológiához és maga a sejtmozgás az alapja sok más mintázatképző rendszernek is.

A harmadik témám, az embriófejlődés során kialakuló anatómia ugyancsak mintázatképzési probléma. A képződő szerkezet sokkal jobban meghatározott, mint a mikroorganizmusok telepei, elsősorban a sokrétű, génexpressziós mintázatokot is magukban foglaló visszacsatolások miatt. Speciális gének expressziója definiálja az embriók különböző részeit és ez egyben behatárolja a sejtek „viselkedését”. Azt gondoljuk azonban, hogy ezen felül léteznek ún. emergens mintázatok is, amiket nem közvetlenül génexpressziós mintázatok határoznak meg. Erre lehet jó példa a meleg vérvű gerincesekben megjelenő korai érhalózat: ezt körülbelül ezer endotél sejt alakítja ki az embriófejlődés első szakaszaiban. A sejtek kezdetben véletlenszerűen helyezkednek el, utána aggregálnak, nyúlványokat növesztenek, majd hálózatot képeznek. Ebből az elsődleges hálózatból később bizonyos helyeken főerek alakulnak ki, és ezekben már növekedési faktorokon keresztül génexpressziós mintázatok határozzák meg az alkotó sejtek számát. Mindenesetre úgy tűnik, hogy a különféle embriókban megjelenő változatos, elsődleges mintázat önszerveződő módon jön létre.

– Mit jelent az „önszerveződés” egy biológiai rendszerben?

– Az önszerveződés fogalmát a fizikusok előszeretettel használják. Nagyjából azt értjük alatta, hogy sok, nagyon hasonló alkotóelem kölcsönhatása egy nagyobb skálán olyan elrendeződést kelt, amely lényegesen különbözik attól, amit az alkotóelemek magukban, kölcsönhatás nélkül hoznának létre. Például, ha veszünk száz sejtet és jó messzire helyezük őket egymástól, akkor önmagukban csak bolyonganak. Ha nagy számban vannak jelen, akkor össze tudnak tapadni, sőt bizonyos sejtek nem kupacot, hanem hálózatot hoznak létre. Ehhez járulnak a különféle biológiai visszacsatolások, hiszen a kialakult struktúrát az embriónak vagy a fejlődő szövetnek kontrollálnia kell. A túl kevés sejtet tartalmazó részekre újabb sejtek vándorolnak vagy az ott lévő sejtek osztódnak, a túl sűrű helyekről pedig a sejtek elvándorolnak. Ezeknek a folyamatoknak a részletes mechanizmusát még nem nagyon értjük. Azt tudjuk, hogy felnőtt állapotban az oxigéngradiens „kemoattraktánsként” tud viselkedni érnnyúlványok benövéséhez. Ezenkívül vannak olyan növekedési faktorok, amelyeknek a gradiense szintén vonzhatja ezeket a csúcsokat. Például bizonyos tumorok termelnek egy VEGF nevű molekulát (vascular endothelial growth factor, vaszkuláris endotél növekedési faktor), ami a szövetben diffundálni képes, és az így kialakuló gradiensek vonzó irányokat jelelnek ki a sejtek számára. Embriókban viszont még nem tudjuk, hogy az erek kezdeti mintázatát pontosan milyen mechanizmusok hozzák létre. Feltehetően az embriókban is vannak rövid skálájú

gradiensek, amelyek orientálják a sejtek elrendeződését, de kísérletileg egyelőre nem sikerült bizonyítani, hogy ebben az esetben is a VEGF gradienséről lenne szó. Annyit lehet tudni, hogy ha megnezzük a szövetet, például tömegspektrometriával, akkor a VEGF eléggé egyenletesen oszlik el. Ugyanakkor lehetséges, hogy az extracelluláris mátrix csak bizonyos helyeken teszi a sejtek számára elérhetővé ezt a növekedési faktort.

Mi egy „minimalista” megközelítési módot használunk, tehát azt mondjuk, hogy elég sok olyan fizikai effektus lehetséges, aminek eredményeként egy hálózat önszerveződésre képes, nem feltétlenül szükséges a növekedési faktorokhoz fordulnunk. Azt találtuk például, hogy ha egy hálózat bizonyos részén kevés a sejt, akkor azok a sejtek nagyon elnyúltak. Az elnyúlt sejtek sejtvezáráról feltételezhetjük, hogy merevebbek, mert mechanikai feszültség alatt vannak. Számos sejttypusról ki lehet mutatni, hogy képesek érzékelni a környezet mechanikai tulajdonságait. Tehát például egy mechanikailag megfeszített sejt felszíne kedvező tapadási felszín lehet a környező sejtek számára.

– Néhány sejt véletlenszerűen megnyúlik, és arra épülnek a többiek?

– Igen, így képzeljük el egy sejtsoportokat összekötő, többsejtű „hid” létrejöttét és későbbi stabilizálását is. Azon a helyen, ahol kevés a sejt, a sejtek megnyúlnak, és az így létrejövő vonzó felszínre érkezők a többiek. Ezek persze elképzelések, amelyek a rendszer megértésére szolgálnak. Kísérleteket, majd ezek alapján modellszámításokat végzünk. A modell ahhoz szükséges, hogy kiderítsük: ez a mechanizmus legalább elviekben képes-e az általunk tapasztalt mintázatokat létrehozni.

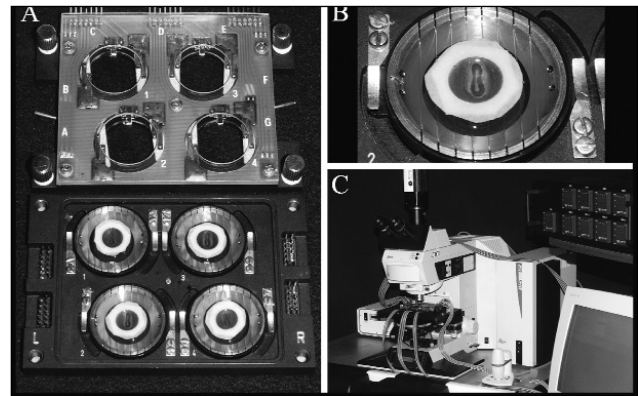
– Szükségszerű, hogy a biológiai rendszerek, például a sejtek leírhatók legyenek kizárólag fizikai összefüggésekkel?

– Egyáltalán nem! Az elsődleges érhálózat kialakulása az egyszerűbb jelenségek közé tartozik, az esetek zöme ennél bonyolultabb. Ha találunk egy példát, amelyet sikerül leírunk, akkor ez igazolja, hogy helyes volt a megközelítés. Persze az összetettebb folyamatokat is szeretnénk megérteni, de annál könnyebb a helyzetünk, minél kevesebb komplex sejtbiológiai tényezőt kell figyelembe venni. Természetesen olyan modellt igyekszünk keresni, amelyik jól leírja a teljes rendszert. A modelljeinkben mikroszkopikus részletekről alkotunk hipotéziseket – például az erek képződésénél feltételezzük, hogyan lépnek a sejtek kölcsönhatásba –, és más skálán nézzük az eredményt.

Nem gondolom tehát, hogy a fizika megoldja a biológia problémáit, de szükséges komponens lehet. Az erek kialakulása mellett másik példa a gasztruláció folyamata, ami szintén olyan komplex sejt- és fejlődésbiológiai kérdés, ahol nagy szerep jut a fizikai effektusoknak. Gasztrulációkor – a kezdeti embriófejlődés során – az embrióban kialakulnak a csíralemezek, miközben sejt-rétegek áramlanak egymás mellett, végül a sejtek a helyükre kerülnek. Ebben mechanikai tulajdonságokkal rendelkező szövetek vesznek részt, és az áramlásokat erők mozgatják, amelyeket szeretnénk megismerni. Ezeket az erőket persze a sejtek hozzák létre, de pusztán az a tény, hogy fizikai testekről van szó, befolyásolja a lehetséges mozgásformákat egy fejlődő embrióban. Végül, ha meg is ismerjük azokat az erőket, amelyek a folyamatot hajtják, még mindig külön feladatot jelent, hogy meg tudjuk magyarázni a kialakuló áramlási teret. Tehát fizikára mindenképpen szükség van a munkánkban.

– A szövetek felépülésének vizsgálatok mesterséges szövettenyésztetek kialakulását modellezték, vagy az eredmények vonatkoznak a természetes szövetek kialakulására is?

– Az egyszerűbb modellek *in vitro* tenyésztetekre vonatkoznak, de az embriogasztrulációt igazából *in vivo* körülmények között követjük. Van egy rendszerünk, ahol a korai embriót életben tudjuk tartani a mikroszkóp alatt, nagyjából egy napig. Ekkor az egyes sejteket sejtbiológiai módszerekkel megjelöljük, hogy követni tudjuk őket. (Jelölés lehet, ha zölden fluoreszkáló fehérjét termelünk velük, vagy valamilyen speciális sejt felszíni recep-



Inkubátor és videomikroszkóp madárembriók megfigyelésére. A tojásból kivett embriók egy tápoldat felszínén fejlődnek optimális optikai körülmények között

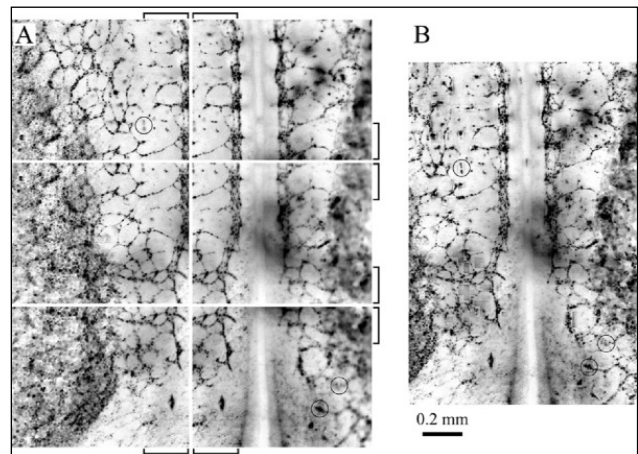
tor elleni ellenanyagot fluorofórokkal megjelölünk.) Így videomikroszkóppal követhetjük, hogy mi történik a fejlődő embrió sejtjeivel, ami végtelenül izgalmas dolog.

– Ez az a videomikroszkóp, amit te fejlesztettél?

– Igen, de sokan dolgoztunk rajta. Amikor még doktorandusz voltam az ELTE-n, elkezdtünk fejleszteni egy sejttenyésztetek követésére alkalmas videomikroszkópot. Hozzá kell tennem, hogy már 20 évvel ezelőtt is létezett hasonló készülék, de akkor még kevésbé voltak a sejtbiológia előterében a videomikroszkópos vizsgálatok, mert nem létezett kellő számú molekuláris marker, és a technika is nehezebb volt. Később, amikor már sokat dolgoztunk sejttenyésztetekkel, kimentem poszt doknának az Egyesült Államokba, ahol Charles Little professzor laborjában embriókkal kezdtem foglalkozni, és ott készítettük el a későbbi készüléket. Mikroszkópunk egy automatizált fluoreszcens mikroszkóp, ami kereskedelmi forgalomban is kapható. A mienkben az az egyedülálló, hogy egy embriót életben tarthatunk az objektív alatt, és írunk egy szoftvert is a kapott képek feldolgozására. A képeket hosszú ideig vesszük fel, sokszor egy napig, több optikai módban, különféle hullámhosszakon. Ezt az összeállítást így már nem lehet megvásárolni.

A legtöbb kutató csak a minta adott helyén nézi a képet három dimenzióban (pl. konfokális mikroszkóppal). Mi egy motorizált asztal segítségével pásztázzuk a szövetet. Így végigkövethetjük

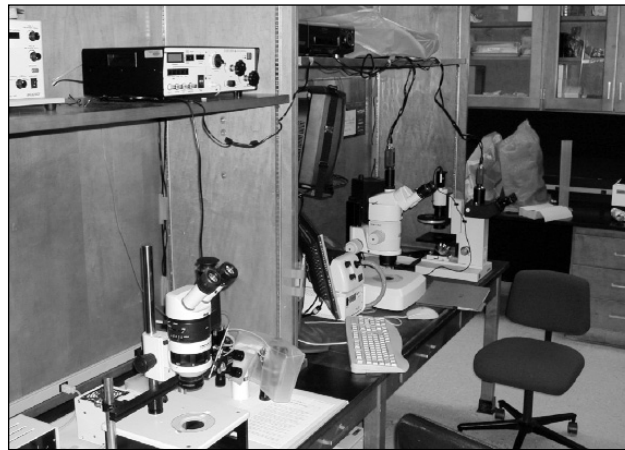
A mikroszkópos képeket egy algoritmus automatikusan mozaikká rendezi a fókuszban lévő részletek megkeresésével



az egész érhalózat fejlődését úgy, hogy az egyes sejteket is megfigyeljük.

– Ebben az állapotában még nem látszik, hogy madarat vizsgálsz.

– Nem, ez egy sejtréteg, amelyben már a gerinchúr és az érszögmenszkek kezdenek kialakulni, de keringés még nincs, szív sincs. Ezen a szöveten jól lehet követni az erek képződését, mert a sejtréteg szinte kétdimenziósra tűnik. Részben azért is vizsgálunk madárembriókat, mert ebben a korai stádiumban úgy néznek ki, mint egy nagy palacsinta. Széltében hosszában több milliméter kiterjedésűek, de a magasságuk csak 300 mikrométer. Tehát a mikro-



A videomikroszkópos laboratórium

szkópos rendszerünkkel egyrészt meg tudjuk mondani, hogyan alakítják ki az egyes sejtek a korai érhalózatot, másrészt fel tudjuk térképezni azokat a nagy szövetáramlásokat, amelyek a gasztrulációs időszak körül jellemzők az embriókban. Amikor rendelkezésünkre áll a rengeteg adat, akkor megpróbáljuk megérteni, miért pont olyan az áramlási kép, vagy miért pont olyan a sejtek eloszlása, mint ahogy látjuk.

Az áramlási tér esetében ezt biomechanikai modellel közelítjük, és eredményeink alapján arra gondolunk, hogy a korai embrionális szövet ún. nem-newtoni folyadékként viselkedik. Szilárd testek és folyadékok esetében nyírásakor mechanikai feszültség lép fel, de egy közönséges folyadékban, például vízben ez a feszültség a nyírás megszűnésekor azonnal eltűnik. A sejtek is hatékonyan tudják csökkenteni a kialakuló mechanikai feszültséget úgy, hogy odébb mennek és megbontják a sejt-sejt kapcsolatokat. Ehhez azonban több időre van szükségük, mint a vízmolekuláknak. Sejttaggregátumon végzett mérések arra utalnak, hogy a sejttaggregátumok (és a szövetek) nem-newtoni folyadéknak tekinthetők, olyasminek, mint egyes polimeroldatok.

A természetes szövetekkel kapcsolatban van egy tervünk is. Nagyon sokan dolgoznak a mesterséges erek létrehozásán. *In vitro* körülmények között, egy gélben endotél sejteket növesztenek, amiből megfelelő körülmények között ki tud alakulni egy csőszerű képződmény. Szeretnénk, ha ez a folyamat önfenntartó lenne és olyan állapotba tudná hozni a sejteket, mint a valódi ereknél: simaizom is körülvénné őket és meglenne a jó extracelluláris alaphártya.

– *Vannak még orvosi alkalmazási lehetőségek?*

– Persze, rengeteg kutató vizsgálja, hogyan reagálnak az endotél sejtek a környező kemoattraktáns faktorokra. Mi például együttműködünk egy kollégával a Scripps Intézetből, aki azzal foglalkozik, hogyan lehet megakadályozni az angiogenezist, vagyis a tumorsejtek érellátását. Ha egy tumorsejt VEGF-et termel, maga felé vonzza az érképző, endotél sejteket. David Cheresh professzor vegyülete az endotélsejtek válaszképességét csökkenti. Tehát gátolja azt a képességüket, hogy VEGF hatására a tumorhoz vándoroljanak, és ezzel jelentős mértékben hátráltatni lehet a rosszindulatú tumorok növekedését. Egészséges esetben az erek kialakulásának egyik lépése, hogy az endotél sejteken jelen lévő két molekula – a mátrix metalloproteáz 2 (mmp2) enzim és az $\alpha\beta 3$ integrin – kölcsönhatásba lépjen. Cheresh professzor molekulája ezt a folyamatot gátolja, mi pedig arra próbálunk rájönni, hogyan hat ez a vegyület és mennyire változtatja meg az aktívan mozgó endotélsejtek motilitását.

Egy másik kollégánk melanómatumorokkal foglalkozik. Nagyon agresszív melanómatumorok esetén a sejtek maguk is képe-

sek érszerű csöveket létrehozni, amelyek aztán csatlakoznak a normális, azaz az endotél érhalózatához. Tehát úgy tűnik, hogy a sejtek hálózatképző tulajdonsága kevésbé specifikus, mint ahogy hagyományosan képzeljük. Ez is arra utal, hogy érdemes megnézni, mik azok az általános fizikai, biofizikai mechanizmusok, amelyek biztosíthatják, hogy bizonyos körülmények között a sejtek csöveket képezzenek – hiszen tumorok esetén nem feltétlenül az endotél sejtek hozzák létre a hálózatot, hanem kevésbé differenciálódott tumorsejtek.

Az ELTE-n több kollégámmal *in vitro* körülmények között vizsgáltuk különböző agydaganat-

natokból izolált sejtek motilitását taxol és sugárkezelés esetén. Az agydaganatoknál sokszor kialakul egy diffúz „sejtköd” rosszindulatú sejtekből. Sajnos ilyenkor a tumor nemcsak a véráramon keresztül képez áttétet, hanem az agyszövetben is terjed. Mi tumorból izolált sejteken alkalmaztunk taxolkezelést és olyan dózisú besugárzásokat, amit terápiában is használnak. Elég nagy meglepetésünkre az derült ki, hogy ezek a szubletális dózisok sok esetben megnövelik a sejtek motilitását, valószínűleg azért, mert stresszválaszt váltanak ki. Azt találtuk, hogy ha egyszerre adunk taxolt és sugárkezelést, akkor ezek egymás motilitást serkentő hatását csökkentik, tehát optimalizálni kell a kettő arányát. Azt korábban is lehetett tudni, hogy a taxol radioszenzitiváló szer, de talán ennek a molekulának a működéséhez is közelebb jutottunk.

– *Dolgoztál az ELTE-n, a Kansasi Egyetemen, most megint itthon vagy, aztán terveid szerint újra Kansasban... Mi a véleményed, külföldön lehet/kell karriert csinálni vagy inkább itthon?*

– Ebben nem lehet tanácsot adni senkinek. Az biztos, hogy az Egyesült Államokban hatalmas, komoly géppark van, lézerdisszekciós mikroszkóp és minden, amit az ember el tud képzelni. A kutatási támogatás is sokkal nagyobb, mint Magyarországon. Kint hatalmas a piac, évente több száz, előre nem „leosztott” állást hirdetnek meg. Nagy a „motilitás”, minden évben elmennek emberek és új doktorandszok, posztdokok jöhetnek.

Élni viszont Magyarországon szeretünk, itt van a családnk. Egyelőre Kansasban részállásom van, de ott minden pénzem pályázatokból származik. Addig tudok kimenni, amíg kutatási pénz tudok szerezni. Itthon, az ELTE-n teljes állásom van, tehát ha évekre elmegyünk, akkor fizetés nélküli szabadságon vagyok, különben pedig a téli, nyári szünetben dolgozom kint. Ameddig lehet, megpróbáljuk úgy intézni, hogy mindkét helyen lehessünk.

– *Mindig ugyanahhoz a csoporthoz jársz?*

– Igen, Little professzor csoportjában dolgoztam, „research assistant professor” státuszban. Ez a gyakornoki státusz után következik, az ember már jogosult NIH-pályázat¹ beadására.

– *Tavaly el is nyertél egy 1,3 millió dollár költségvetésű pályázatot.*

– Igen, jó fejlemény, hogy most már vannak saját pályázataim, mert ott is előbb-utóbb függetlennednem kell. Ha az ember egyetemi professzor szeretne lenni, akkor elvárják, hogy felmutasson néhány korábban elnyert, hasonló pályázatot. Az NIH a kutatásfinanszírozás egyik „egysége”. Magyarországon leginkább az OTKA-hoz lehet hasonlítani: a kutató egyénileg pályázik – igaz, nem öt oldal a munkaterv, hanem húsz, de nem ötmillió forintot kap, hanem egymillió dollárt. Ebben benne van az emberek fizet-

¹ NIH: National Institutes of Health, Nemzeti Egészségügyi Intézetek.

tése – tehát ha doktoranduszt veszek fel, őt nekem kell fizetnem, nincs állami ösztöndíj, mint itt –, de ezzel együtt is lényeges a különbség. Az NIH-pályázat előnye még, hogy nem kell sok embernek összeállnia hozzá, mint a korábbi európai uniós pályázatok integrált projektjeihez. Igaz, a mostani európai uniós FP7-pályázat sem ilyen már, támogatják az egyéni kutatásokat is.

– *Mikor kezdte el kutatni?*

– Nagyon korán. Már elsős egyetemista koromban elmentem Vicsék Tamás professzor egyik speciális előadására, le is vizsgáztam, és utólag derült ki, hogy elsőéves vagyok. Ekkor felajánlotta, hogy dolgozzam vele, aminek nagyon örültem. Remek témavezető volt. Általa jutottam el különböző helyekre is: Ben Jacob professzorhoz Tel-Avivba, Stanley professzorhoz Bostonba, aztán volt diákjához, Barabási Albert-Lászlóhoz. A kutatás sokkal jobban érdekelt, mint az egyetemre járás.

Nem mondhatom senkinek, hogy tanulás helyett kutasson, mert tanulni is kell, de én nagyon élveztem, hogy az egyetemi éveim alatt is kutattam. Amióta itthon vagyok, két szakdolgozóm volt, egyikük másodéves korában kezdett TDK-munkát végezni, a másik harmadév végén. De ez nem általános, főleg azért nem, mert sok a kötelező óra. Nem hiszem, hogy most több az ideje egy másodéves hallgatónak, mint az én időmben. Pedig nagyon hasznos lenne, ha minél hamarabb látnák, milyen a kutatás.

– *Fizikusként nem riasztottak vissza a biológiai kísérletek?*

– Nem, mert a feladatok fokozatosan jöttek. Előbb a baktériumok, aztán a sejtek, majd az embriók. A kísérletek során sokat pipittáztam és megtanultam kiszedni a tojásból az embriót.

– *Külföldön és itthon is neves laboratóriumokban dolgoztál. Hogy látod, mi tesz sikeressé egy labort?*

– Inkább csak általánosságokat tudok mondani. Az a nagy különbség, hogy más a „kultúra” a fizikusoknál és más a biológusoknál. A fizikusoknál nagyobb a szabadság, nincsenek Journal Club-összejövetelek, de akikkel én találkoztam, azok inkább elméleti emberek, nincsenek is annyira ráutalva az együttműködésre. Egy jó biológuscsoportban pedig – úgy gondolom – erre szükség van: az ember pontosan tudja, mit csinál a mellette ülő. Az is fontos, hogy mindenkinek jól definiált projektje legyen, amit végigvihet. Nyilván mindenütt az a meghatározó, hogy milyenek az emberek: ahol lelkesek és pezseg az élet, ott jó dolgozni.

– *Mikor fordultál a biológia felé? Középiskolában inkább a matematika és a fizika érdekeltetted, hiszen a KÖMAL versenyen is meglehetősen jó eredményekkel szerepeltél.*

– Gimnázium után azért nem mentem biológusnak, mert visszariasztott, hogy meg kell tanulni a törzsfajlódási, a taxonómiai táblákat, de a sejtbiológia, a molekuláris biológia, amit távolról szemléltem, akkor is érdekelt. Az egyetemen fordultam a biológiai mintázatok felé, amikor Vicsék Tamás csoportjába kerültem.

– *Mit „tud” a miskolci Földes Ferenc Gimnázium, hogy annyi diákja nyer tanulmányi versenyeket?*

– Az én időmben Kálmán László tanár úr volt az igazgató, aki matektanár. Ő értékelte a versenyeken való részvételt és elég liberális volt ahhoz, hogy különböző privilégiumaink lehessenek: feljárhattunk szakkörre Pestre, így azokon a napokon nem kellett iskolába járnunk, de ehhez természetesen teljesíteni is kellett. Meg aztán voltak speciális matematikatagozatos osztályok, ahol a tanárok szintén ebben a szellemben dolgoztak. De a többi tanárom is nagyon jó volt, például a magyar- és a történelemtanár, csak én inkább a fizika iránt érdeklődtem.

– *Mikor szoktál maratont futni?*

– Csak félmaraton. Maratonit még nem futottam, a félmaraton a leghosszabb, amit be mertem vállalni. Gimnáziumban nem szerettem a testnevelést, csak a kollégiumban kezdtük el a futást, a feleségemmel meg a barátaimmal, azóta ezt többé-kevésbé rendszeresen üzzük. A maratonhoz komolyan kell készülni, de egy félmaratonra szerintem bárki képes.

Az interjút készítette: SIMON ÁGNES

ZEMPLÉN GÁBOR

Az akupunktúráról, ma és tegnap

– *Doki, fáj a fülem.*

Kr. e. 2000. *Nesze, rágd ezt a gyökeret!*

Kr. e. 1000. *A gyökér istentelen, mondd ezt az imát!*

1850. *Az az ima babonáság, idd meg ezt a főzetet!*

1930. *Az a főzet kígyóméreg, nyeld le ezt a tablettát!*

1970. *Az a tableta hatástalan, vedd be ezt az antibiotikumot!*

2000. *Az az antibiotikum mesterséges, rágd inkább ezt a gyökeret!*

(Internetes körlevél 1997-ből, ill. Jacalyn Duffin orvoslástörténeti könyvének mottója)

Az egészség hatalmas üzlet, hiszen az egészségre és a gyógyulásra a legtöbb ember és állam hajlandó komoly pénzeket áldozni. Ezért hatalmas küzdelem folyik az állampolgárok és az egészségbiztosítók pénzéért. Míg az asztrológia, a kreacionizmus vagy az UFOológia bizonyos jól körülhatárolt csoportokon kívül keveseket érint közvetlenül, az egészség mindnyájunk számára fontos. Ez talán a legbonyolultabb és legfontosabb terület, ahol ma a megbízható ismeretek kérdése közvetlenül befolyásolja mindennapjainkat.

Emiatt különösen fontos a tudomány-áltudomány kapcsán az alternatív gyógyítási lehetőségek megvizsgálása. Egyre több „tudomány-tanulmányokkal” – angolul *science studies* – foglalkozó kutató ismeri fel, hogy a legtöbb ember elsősorban a gyógyászat területén találkozik a tudománnyal. A sikeres kezelések, a meghosszabbított életek és a jobb életminőség éppúgy jellemzik ezt a kapcsolatot, mint a kiszolgáltatottság érzése, a gépesített medicina embertelensége, a műhibák, a folyamatosan változó kezelési módok és az ellentmondó orvosi diagnózisok. Míg a középiskolában tanított tudománykép alapja a fizika, addig az utca (vagy a hazai lakosság egészségi állapotát figyelembe véve: a rendelő) emberének tudományképére sokkal inkább a nyugati orvoslással vagy az ún. biomedicinával kapcsolatos tapasztalatok hatnak.

Mi a jelentősége ennek? Míg a tudomány hivatalos szervezetei viszonylag könnyen befolyásolják a tudományról az iskolában kialakult képünket, addig az állampolgárok biomedicináról szerzett tapasztalatai sokkal kevésbé kontrollálhatók. Egy példán keresztül a különbség könnyen megérthető. Középiskolában fizikát tanulunk, a példa kedvéért minden évben más tanártól. Mondjuk, a második anyagot már nem értjük, de valahogy átvergődünk a dolgozatokon, mert rájövünk, hogy a képletekből kis puskát kell készítenünk és mindig olyan képletet kell használni egy feladathoz, ahol egy ismeretlen kivételével mindent adat rendelkezésünkre áll. Ezek után nyilvánvaló, hogy a fizika bonyolult, de valami olyan igazságot ír le, ami független a tanártól, mert az előző évi puskák az ismétlődő dolgozatoknál nagyon jól használhatók egy új tanár esetében. Tehát a fizika nem olyan, mint az irodalom, ahol minden évben rá kell jönnünk, hogy mi a „stílus” az új tanárnak, mit szeret hallani – ha már a példa kedvéért e tárgyban is minden évben új oktatónk van. Az iskolai élmények alapján a fizikai tudás objektív, stabil, megingathatatlan, valódi, „tudományos”. Az irodalom ezzel szemben szubjektív, egyénfüggő és nem a világ valódi arcát írja le. Mivel a legtöbb tudomány ma is a fizikára hivatkozik, a „tudomány” a diák számára „valami olyan, mint a fizika”.