

## Az izom problémája

Irta Szent-Györgyi Albert

**M**IKOR mint egyetemi hallgató először léptem egy élettani könyvtárba, nagyon csodálkoztam, látva, hogy az élettani irodalomnak körülbelül fele az izommal foglalkozik. Sehoggy sem tudtam megérteni az életbúvároknak ezt a nagy szerelmét az izommal szemben. Az én érzésem szerint az izom szerveink közül a legunalmasabb, mert működése egyszerű mechanikai. Az izomnak ugyanis nincs más feladata, minthogy az ideg parancsszavára összehúzódjon és megrövidüljön. Ezáltal mozgattja csontjainkat és így egész testünket. Ez a működés a máj, vagy az agy működéséhez hasonlítva igen érdektelennek látszott. Míg a máj a legkülönbözőbb reakciók ezreit végzi, az izom csak *hosszát változtatja*.

Most, miután életemnek legutóbbi hat esztendejét egészen az izomnak szenteltem, jobban

meg tudom érteni bűvár-elődeimet. Az hogy az izom működése mozgás, rendkívül megkönnyíti a bűvár helyzetét, mert a mozgás könnyen látható és mérhető, de ezenkívül az izom munkát is végez és így működése közben igen gyors energiaváltozások lépnek fel, melyeket hasonlóan gyors, szinte robbanásszerű kémiai reakciók kísérnek. Az ilyen hirtelen, gyors változások sokkal jobban mérhetőek, mint a májnak, vagy az agynak egyenletesebben lefolyó reakciói. Hogy az izomban milyen viharos kémiai és energetikai változások folynak le, arról könnyen alkothatunk magunknak képet, ha elgondoljuk, hogy sok rovar repülőizma másodpercenként hatszázszor húzódik össze és ernyed el és minden egyes húzódással olyan erőt kell kifejtenie, amely az egész test súlyát a levegőben tudja tartani.

Ma, sokévi tapasztalat után állíthatom, hogy az izom az élet bűvárának legsodálatosabb kísérleti anyaga, nemcsak azért, mert a reakciók ilyen hevesek, hanem azért is, mert az izomroston jóformán minden alapvető életjelenséget a többlettől térben és időben elkülönítve vizsgálhatunk. Ez az izom szerkezetéből következik. A testünket mozgató izmok igen vékony és igen hosszú rostocskákból vannak felépítve. Ha főtt marhahúst két darabra tépünk szét, az elszakadó részek között igen vékony, hajszálnál is vékonyabb fonalakat látunk. Ezek az izomrostok, melyek vastagsága  $\frac{1}{10}$  mm, az izomnak egyik végétől a másik végéig futnak és így akár  $\frac{1}{2}$  méter hosszúak is lehetnek. Éz az izomrost az ideg parancsszavára húzódik össze. Az ideg egy bizonyos ponton lép be az izomrostba, s ezen a ponton adja át parancsait az összehúzóásra. A parancs azután végigszalad az egész izomroston és erre bekövetkezik az összehúzóadás. Azt a változást, ami az izomban az ideg hatására létrejön, amelyet aztán az összehúzóadás követ, ingerületnek nevezük. Az izom ingerületi állapota után a szervnek különleges működése, összehúzóadás következik, az összehúzóadást pedig elernyedés követi.

Mindezt kísérik vagy követik a nagy energia-termelő folyama-

matok, különböző kémiai hasadások, amelyeket erjedés néven szoktak összefoglalni, meg a biológiai égés, az oxidáció. Ezek a folyamatok termelik azt az energiát, amelyre az izomnak szüksége van, hogy működni tudjon. Az energia végeredményben táplálékunkból jön, mely az energiát kémiailag kötött állapotban tartalmazza. A kémiai energiának mechanikai munkává való alakítása egyik legnagyobb problémája a tudományoknak. Az izmon ez is nagyszerűen tanulmányozható. Így látjuk, hogy az összes alapvető életjelenségek szép sorjában működésbe lépnek és szinte egyenként tanulmányozhatók.

De van talán még egy másik ok is, amiért a kutatók szívesen áldozzák életüket az izom problémájának. Tulajdonképpen mindegy, hogy melyik szervet vizsgáljuk, az agyat, a vesét, vagy az izmot. Hiszen mindegyikben ugyanaz az élet lüktet a maga alaptörvényeivel és hogy egy szerv gondolatot termel-e, vagy vizeletet, vagy mozgást, az nem is olyan lényeges különbség. Ha akárhol kezdünk lyukat ásni a földbe, mindenütt a Föld középpontjához érkezünk el, ha elég mélyre hatolunk. Így van ez a biológiában is. Akármelyik szervet vizsgáljuk, mindegyik az élet legmélyebb titkaihoz kell, hogy vezessen, hacsak elég mélyen szánt a kutatás. Ha

pédig választanunk kell, legjobban azt a szervet választjuk, amely a legkönnyebben tanulmányozható, mert még ott is elég nagyok a nehézségek. De a mozgást sem szabad mint életjelenséget lenéznünk, hiszen kétségtelenül a legősibb életjelenségek egyike. Ősidők óta a mozgást tekintik az élet jelének és a halált a mozgás megállásából állapítják meg.

Mint ahogy előbb említettem, életem utolsó éveit annak a vékony kis izomrostnak szenteltem, amely ép a láthatóság határán van, de kutatásaimnak tulajdonképpen nem is ez volt a tárgya, hanem az a még sokkal vékonyabb rost — a *fibrillum*, — amely az izomroston belül fut. Az izomrostocska, melyet szabadszemmel éppencsak láthatunk, sokezer vékony  $\frac{1}{1000}$  milliméter vastagságú fibrillum-ból épült fel. Az izomrost ezeknek egy kötege, s az izomrost azért húzódik össze, mert a *fibrillum* rövidül meg benné. Ezt a fibrillumot akartam én tanítványaimmal együtt megérteni. Milyen mechanizmust kell feltételeznünk, hogy megérthessük ennek a fibrillumnak rövidülését, ez volt a központi probléma. A vegyész eszközei, amelyekkel egy ilyen problémát megközelíthet, eléggé korlátozottak. Először megpróbálja a szóbanforgó kémiai apparátust darabjaira felbontani és az egész gépezetet

a darabokból megérteni. Azután, ha ezzel a munkával eljutott valamire, megpróbálja a gépezetet darabjaiból újra felépíteni.

Mikor vizsgálataimat elkezdtem, egy igen fontos adat állott rendelkezésemre. Már félévuszad óta ismeretes, hogyha az egészen friss izmot megdaráljuk és valamilyen tömény sóoldatba áztatjuk, belőle egy fehérjeszerű anyag oldódik ki, mely a fibrillumnak főalkatrészét tartalmazza. Ezt az anyagot *myozinnak* nevezték el. Ennek az anyagnak egyik tulajdonsága, hogy töményebb sóoldatban feloldódik, de az oldatból újra kiválik, ha az oldatot vízzel felhígítjuk.

A myozinnak ez a tulajdonsága *Webert*, a königsbergi fiziológust egy igen szellemes módszer kidolgozására vezette: erős sóoldattal myozinoldatot készített, azt azután vékony csövön vízbe fecskendezte. A víz a só kivonja és a myozin vékony szálacska alakjában merevedik meg, mely hasonlít az eredeti izomrosthoz. Ilyen szálakon igen jól tanulmányozhatók az izom sajátságai.

Kutatásainkat ezeknek a kísérleteknek a megismétlésével kezdtük. *Banga Ilonával* együtt végzett kísérleteinkben feltűnt, hogy a myozin-oldatok nem mindig egyformák. Ha a kivonást lassan végeztük, sokkal sűrűbb-

nek látszottak. Weber nekem személyesen elmondta, hogy ezt ő is sokszor látta és egyszerűen azzal magyarázta, hogy „a myozin elromlott, és kidobta. Mi azonban nem hagytuk ennyiben a dolgot, Straub Bruno doktor hamarosan kiderítette, hogy a lassan kivont myozin azért sűrűbb, mert benne még egy második fehérjeszerű anyag is van, melyet *aktinnak* nevezett el. Ez az aktin a myozinnal *akto-myozinná* egyesül. Ha ilyen akto-myozinból készítünk szálat és beletesszük az izomszövet vizes kivonatába, a szálak hirtelen összehúzódnak, egészen rövidre. Hosszas kutatói pályafutásomnak az akto-myozinszálnak ez az összehúzódása volt a legmegdöbbentőbb élménye. Ez az összehúzódás ugyanis azt jelentette, hogy sikerült a mozgást — ezt a misztikus életjelenséget — egy mesterségesen összeállított anyagból készült rostban a szervezeten kívül is létrehozni, egy olyan rendszerben, amelyben csak az izom saját anyagait hoztuk össze.

A rostoknak ez az összehúzódása a problémáknak egész sorát vetette fel. Első kérdés az volt, hogy milyen anyagok vannak a vizes kivonatban, amelyek az akto-myozinszálat összehúzódnásra bírják. A kérdésre aránylag könnyű volt felelni. A kísérletek hamarosan kimutatták, hogy három anyag összjátékáról

van szó, melyek közül az egyik a kálium, a másik a magnezium, a harmadik egy szerves vegyület, melyet ATP-nek nevezünk (adenosin-tri-phosphát). Ha ez a három anyag megfelelő töménységben van jelen, az akto-myozinszálcscák összehúzódnak. Ha aztán megfelelően fekozzuk a töménységet, az összehúzódtott izomrost megnyúlik, elernyed, épúgy, mint ahogy az izomrost is elernyed, ha nincs többit szükség összehúzódnására.

A következő kérdés az volt, hogyan lehet megmagyarázni azt, hogy egy fehérjéből készült szál ennyire összehúzódnjon. A vizsgálatok erre is egyszerű feleletet adtak, mely összefüggésben van a mindennapi életnek egy elég közönséges tapasztalatával. Mindenkit bosszantott már a deszkáknak az elgörbülése. A deszka meggörbülésének az az oka, hogy két oldala nem egyformán tágul, vagy húzódik össze a nedvesség hatására. A deszkát ebben az esetben úgy tekintethetjük, mintha két, lapjával összeragasztott deszkából készült volna. Ha most egy ilyen dupla lap, vagy akár dupla bot egyik fele jobban húzódik össze, mint a másik, akkor meg kell görbülnie a geometria legegyszerűbb szabályai szerint.

A mi vizsgálataink azt mutatták ki, hogy aktin és myosin egymáshoz tapadva dupla botocskát alkotnak. Eb-

ben a dupla botocskában csak a myozin tud zsugorodni és ő görbíti meg a rendszert. Ha erősen meggörbül, természetesen sokkal rövidebb is lesz. és ez az izom működésnek alapja. A kálium, magnezium és az ATP hatására a myozin kicsit összezugszorodik, ez meggörbíti az egész szálacskát, amely ilyen módon erősen megrövidül. Ha a myozin megint kitég, a részecské kiegyenesedik, az izom elernyed.

A további vizsgálatok aztán kimutatták azt is, hogy az aktin- és a myozinrészecskék nem egyszerűen fekszenek egymás mellett, mint két botocska, hanem egymás körül csavarodnak és ha a myozinrészecske zsugorodik, az egész hosszú fonál dugóhúzó alakúra kunkorodik össze. Ez a szerkezet adja meg a megoldását egy régi rejtélynek. A mikroszkóp alatt ugyanis az izomrost harántcsíkozatot mutat, olyan, mintha apró korongokból lenne felépítve. Hasonlíthatnám egy pénztetkereshez, melyben vannak sötét és világos pénzdarabok, mint mondjuk vas- és rézkrajcárok. Az előbb említett spirális szerkezet teljesen megmagyarázza ezt a harántcsíkozatot, mert egy spirálisokból épült rendszer ilyen csíkozatnak látszik.

A tudományos kutatásban sohasem érünk célhoz és sohasem állhatunk meg, mert a haladás-

nak minden lépése csak kiindulópontja a további haladásnak. Ezek a fent vázolt vizsgálatok, melyeknek a német megszállás vetett véget, számos további vizsgálatot indítanak meg. A Szegeden abbahagyott kutatásokat most pesti intézetem folytatja a fiatal kutatók egész gárdájával.

Dr. Rózsa Györgynek sikerült mélyen belevilágítania az ingerület problémájába. Varga László az energia-változások ősi problémáját hozta egész közel a megoldáshoz. Dr. Székesyné Hermann Vilma és dr. Lajtha Ábel a kálium szerepét kutatják, tudva, hogy az minden élő anyag felépítésében alapvető szerepet játszik. Dr. Gerendás a spirális struktúrát tanulmányozza, míg dr. Guba Ferenc nemrég fedezett fel egy egészen új anyagot, melynek, úgy látszik, igen nagy jelentősége van az izom összehúzódásban. Ijj. Szent-Györgyi András és dr. Bíró Endre az energia forrásának és átvitelének problémájára próbálnak fényt deríteni.

Az olvasó talán azt kérdezi magában, hogy miért mindez a munka, mi haszna van mindennek? Miért csináljuk mindezt? A felelet egyszerű: a tudásért, a megismerésért, a tudományért dolgozunk, nem a haszonért. Az igazi tudóst mindenkor a megértés, a megismerés gyönyörűsége vonzza és hajtja.

Hogy lesz-e haszna vizsgálatainak vagy se, nem is igen kérdezi és ez így van jól. A tudománynak valamennyi nagy eredménye, amelyen egész mai jólétünk nyugszik, mind olyan felfedezéseken nyugszik, melyek alkotói idejében egész haszontalanoknak látszottak és ha felfedezőjük azt kérdezte volna, hogy mi a haszna munkájának, akkor abbahagyta volna kutatását. Természetes, hogy a modern orvostudomány felépítéséhez először a szervezet normális működését kell ismernünk és értenünk. Egy elromlott gépezetet csak az tud megjavítani, aki ismeri annak a gépnek a működését. Így minden új adat, mely közelebb visz a szervezet megértéséhez, újabb építőkö

modern orvostudomány nagy épületében. Az ilyen alapvető vizsgálatok azonban gyakran szoktak váratlanul gyakorlati sikerekhez is vezetni. Így például az én régebbi elméleti oxidációs vizsgálataim is váratlanul vezettek a C-vitamin felfedezéséhez, amely ma igen sok életet tesz boldogabbá, vagy ment meg a pusztulástól. Az izom vizsgálatai is hoztak ilyen eredményt, kimutatva azt, hogy egyes kínos, sőt halálos betegségek oka az ATP hiánya, amiből aztán magától következik, hogy ezeket a betegségeket ATP-vel gyógyítani is lehet. Így zárult be a kör és így hoz most az aktin- és a myozinmolekulák elvont kutatása enyhülést, vagy gyógyulást szenvedő betegeknek.

**A**SZOVJET tudománynak nagy gyásza van. Meghalt Vladimir Leontyevics Komarov, a világhírű orosz botanikus és utazó. Komarov 1869-ben született Szentpétervárott. Egyetemi tanulmányai elvégzése után beutazta a Távolkeletet: Kamcsatkát, Mandzsuriát és Mongóliát és hatalmas növénytani anyaggal tért vissza Szentpétervárra. A Távolkelet flórájának tudományos ismertetése megalapozta Komarov hírnevét. Rengeteg új növényt fedezett fel és fontos geológiai és meteorológiai megállapításokat is tett. Nem elégedett meg a növények egyszerű rendszerezésével, hanem igyekezett Darwin evolúciós elméletét a növényvilágra is kiterjeszteni. Élénken foglalkoztatta a növényvilág kifejlődésének, a növényfajok keletkezésének a problémája. Ugynevezett migrációs elmélete szerint a növények idők folyamán vándorolnak, azaz más és más területeket borítanak be. A cári kormányzat nem adott neki lehetőséget arra, hogy tudását kellőképpen gyümölcsöztesse. Az októberi forradalom után azonban rögtön elfoglalta a leningrádi egyetem botanikai tanszékét. 1920-ban a Szovjet Tudományos Akadémia tagjai sorába választotta s 1930-ban alelnöke, majd pedig 1936-tól csaknem haláláig elnöke lett a Szovjet Tudományos Akadémiának.