

Kovács László

A sokarcú Békésy György

Bevezetés

Kellemes meglepetés éri a magyar turistát, ha az Amerikai Egyesült Államok ötvenedik tagállamába, a Ráktérítő közelében levő csendes-óceáni Hawaii-szigetcsoporthoz látogat. Az *Oahu* szigeten elterülő főváros, Honolulu északi szélén, az erdő fedte hegyek közé beékelve szerény külsejű, de jelentős épületet talál, az érzékszervi tudományok művelésére létrehozott Békésy Laboratóriumot. Eredeti nevén: Laboratory of Sensory Sciences, 1978 óta: Békésy Laboratory of Neurobiology, University of Hawaii, 1993 East-West Road.

Ezt a kutatóhelyet 1966-ban a Hawaii Teleföntársaság Békésy számára hozta létre. Alapítványi tanszékként, teljesen felszerelve adta át azt az egyetemnek.

Az előcsarnokban három Békésy-képet láthatunk: a szellemi alapító, a névadó hivatalos portréfotóját, valamint eszközei mellett a fehérköpenyes kísérletezőt az egykori kollégák fényképei közt; a tájékoztatást szolgáló, a jelenlegi munkatársak névsorát, szobabeosztását tartalmazó tábla felett pedig egy festményt.

Örömünkre szolgálhat, hogy kérés nélkül kezünkbe nyomnak egy különnyomatot az *Annual Review of Physiology* 1974. évi 36. kötetéből: *Some Biophysical Experiments from Fifty Years ago*. Ennek kéziratát 1972 áprilisában, két hónappal halála előtt küldte el a szerkesztőségnek Békésy. Ezen filozofikus emelkedettségű, anekdotikus írásában nemcsak az ötven év előtti biofizikai kísérleteiről, hanem egész életéről beszámol. Sokat fogunk idézni ebből az életrajzból.

A bevezetőben leírja, hogy sok kutató feleslegesnek tartja a tudománytörténetet, hisz a tudomány igen gyorsan és lineárisan fejlődik, nincs értéke a múltbeli tapasztalatoknak. Sajnos ez a nézet uralkodik ma Magyarországon is; az egyetemeken nincsenek tudománytörténeti tanszékek, nem lehet orvostörténészként, fizikatörténészként diplomát vagy PhD-fokozatot szerezni.

Az 1961. évi orvosi Nobel-díjas Békésy azt vallja, hogy a tudomány fejlődése spirális, olyan, mint az általa részletesen vizsgált belsőfül-képlet, a cochlea, a csiga. Érdeemes lenne megvizsgálni, hogy van-e annak jelentősége, vagy csak pusztán véletlen, hogy az ember belső fülében levő csiga kanyarulatainak száma:

2,7 igen közel esik a természetes alapú logaritmus alapszámának, az $e = 2,71\dots$ értékéhez. Az tény, hogy a hangmagasság érzékelésekor a fül *logaritmalást* végez: az exponenciálisan növekvő frekvenciájú hangokat a hatványkitevő növekedésének megfelelően csak lineárisan emelkedő frekvenciájúnak érzi. Ugyanez érvényes a hangerősségre is. A százszor erősebb hangot a tíz kitevőjének megfelelően ($100 = 10^2$) csak kétszer erősebbnek érzékeljük. Végül, amit maga Békésy mutatott ki: a csigában levő alapmembrán mentén logaritmikus skálának megfelelően oszlanak el azok a helyek, amelyek a különböző magasságú hangok észleléséért felelősek.

A művészet bűvöletében

Békésy György 1899. június 3-án Budán, az I. kerületben, a jelenlegi Pauler u. 1. számú toronyház helyén levő épületben született. A bérház falán márványtábla hirdeti, hogy itt állt az írók találkozóhelye, a Philadelphia kávéház, amelynek legrangosabb vendége Szabó Dezső volt.

A Szabó Ervin Könyvtár Budapest Gyűjteményében fellelhető épületfotón a Pauler utcára merőleges Alagút utca további részei: a Horváth Kert fái és a Budai Színkör timpanonos bejárata is látható. A Budavári Önkormányzat a születés 100. évfordulója tiszteletére Békésy későbbi lakhelyén, a Fő út 19. számú házon helyezett el márvány emléktáblát.

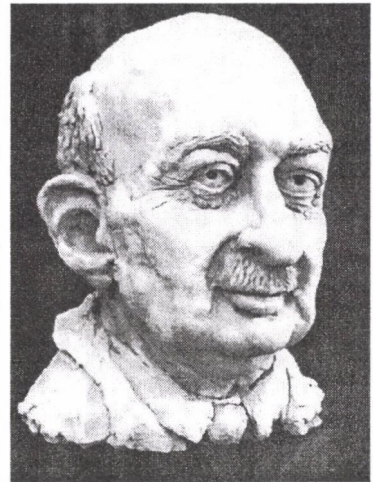
Az édesapa, dr. Békésy Sándor ismert diplomata, ipari szaktudósító volt, így György a munkahelyeknek megfelelően Münchenben, Konstantinápolyban és Bernben tanult.

A századfordulón München a festészet és szobrászat egyik európai központja volt, fejlett zenekultúrával, a kontinens első automata telefonközpontjával, szelektív szemétygyűjtéssel. „Formailag királyság volt, de jelenségeiben itt volt talán a legnagyobb demokrácia, amit valaha is láttam” — írja Békésy.

A család jelentős társadalmi kapcsolatai révén sok olyan művész és tudós megfordult náluk, akik az életvidám bajor kultúrát és könnyedséget képviselven jelentős hatással lehettek a 8–10 éves, igen értelmes gyermek szellemi fejlődésére.

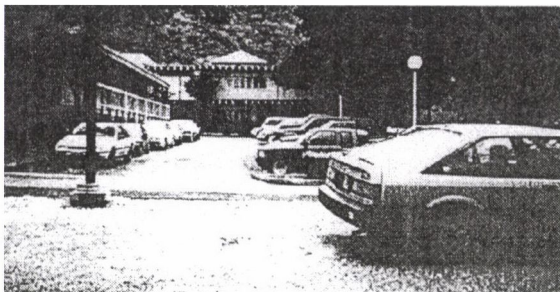
A konstantinápolyi évek is egzotikus, gazdag élményeket adtak, és az érzelmi fejlődés mellett az ottani tanulás következményeként a francia nyelv tökéletes elsajátítását eredményezték. Akkori francia jezsuita tanárával egész életében tartotta a kapcsolatot. Ezekkel szemben Svájcban a középiskolában és az egyetem kémiai fakultásán is szigorú fegyelmezettségre, rendszeretetre és a könyvek tiszteletére nevelték.

Képességeinek és a svájci iskolarendszer rugalmasságának köszönhetően az egyetemi felvételi korhatár előtt érettségizett. A várakozási időben finom-



Csiky László szoborkarikatúrája Békésyről

mechanikai műszerész tanonc volt egy igen öreg és nagyon precíz svájci mester kezei alatt. Legfogékonyabb éveiben megtanulta a precíziós gépek használatát, manuálisan is fejlődött, de alapos műszaki tudást, széles körű műszaki tájékozottságot is szerzett. Ennek óriási hasznát látta később a belső fül feltárása, kísérleteinek összeállítása és véghezvitele során. Az ügyesség hatványozódni tud, ha magas fokú értelem vezérli. A XX.



A Békésy Laboratórium a Hawaii Egyetemen (Puskás János felvétele)

század másik sikeres kísérleti fizikusánál, Bay Zoltánnál figyelhettük még meg az elméleti felkészültségnek és a kísérletezési ügyességnek ezt a tökéletes összhangját.

A temperamentum és a szellem által irányított kezűgyesség magasabbrendűsége mutatkozott meg Békésy György zongorajátékában is. A „svájci óra precizségével”, „az adóbehajtó szigorával” tanító és zongorázó svájci tanár kicsit irigyelte az egyéni, „magyaros” stílusban, lendületesen játszó tanítványát — emlékezik vissza zenei tanulmányaira Békésy a már említett, az Annual Review-ben megjelent írásában. Egy-két év tanulással koncertező zongoraművész lehetett volna, mint amilyen Farkas Gyula matematikus és elméleti fizikus, kolozsvári egyetemi tanár volt rövid ideig. De Farkas is, Békésy is a zene helyett a fizikát választotta.

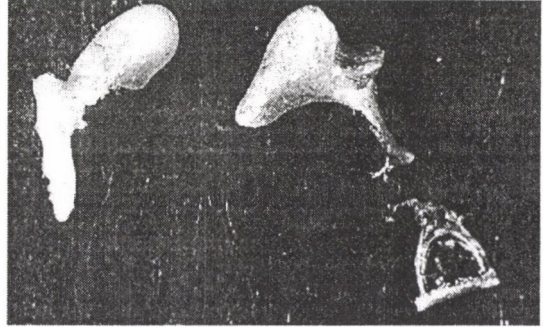
A zene kialakulásáról érdekes elméletet ír le John D. Barrow A művészi világegyetem c. könyvében. Barrow a szobrászat, a festészet, a színjáték, a tánc kialakulását mind-mind arra vezeti vissza, hogy birtoklásuk előnyt jelent gyakorlóiknak, segít a túlélésben. A hallás önmagában magyarázható ezzel, de milyen előnnyel járhat az, ha valaki kedveli, műveli a zenét.

1975-ben Richard Voss és John Clarke, berkeley-i fizikusok találtak egy olyan elemzési módot, amellyel valamennyi zene — a középkortól kezdve Beethoven szimfóniáin át a Beatles-muzsikáig, illetve a Ba-Benzele pigmeusoktól a klasszikus japán zenén át az amerikai bluesig — mind hasonlóságot mutat egymással és a természetes zajokkal. Az elemzés alapja a hangosság és a szünetek ábrázolása a hangmagasság reciprokának függvényében. Úgy tűnik, hogy a zene a természetes zajok statisztikai vonásaihoz való vonzódásunkból ered. Ezért művelése az alkalmazkodás szempontjából előnyös lehetett az ember fejlődésében.

Ha Voss és Clarke felfedezését nagyon tömören és nagyon leegyszerűsítve úgy fogalmazzuk meg, hogy „minden zene egyforma”, akkor elmondhatjuk, hogy ennek az általános tételnek a teremakusztikára vonatkozó speciális esetét Békésy György már a harmincas évek elején megtalálta. Békésy megállapította, hogy az optimális utözengési idő nem függ a zene stílusától. Az utözengési idő az az időtartam, ami alatt a hang intenzitása zárt térben a hallhatatlanság szintjéig csökken.

Matematikailag: ez az az időtartam, ami alatt a hang intenzitása milliomodrészére (a hangnyomás ezredrészére), azaz 60 dB-lel csökken.

Békésy nem a mérésekre, hanem az agy válaszára helyezte a hangsúlyt. Napokig ült a stúdiókban, és hallgatta a zenét. Kikérdezte a hallgatóságot is: mit éreznek. Mit érez a közönség — ez volt nála a döntő. Ugyanígy dolgozott az amerikai Wallace Sabine, aki a világ legjobb koncerttermének mondott Boston Symphony Hall akusztikai terveit készítette.



Kalapács, üllő, kengyel (Garas Kálmán felvétele)

Gondot okoz, hogy a magas hangokat a puha, szálás anyag, a vatta nyeli el jól, a mély hangokat pedig a lemezek, fóliák. A „Békésy-köteg” vagy „Békésy-csomag” úgy hidalja át ezt a nehézséget, hogy impregnált szövetbe csomagolt vattát tartalmaz, így jól nyeli el mind a magas, mind pedig a mély hangokat. A Magyar Rádió kiváló akusztikájú új stúdiójának falát Békésy-kötegekkel burkolták az 1930-as évek elején.

Békésyt zavarta, hogy a jó zenei melódiák „hozzátapadtak”, „lefoglalták az agyát”, napokig, hetekig dúdolta azokat. Ő a képzőművészeti alkotásokat szerette, azokat megnézte, lerajzolta, lefestette, azután néhány perc alatt fokozatosan „eltűntek belőle”.

Békésy kiváló érzéssel vásárolt igen értékes, eredeti ókori leleteket. Nagy szakértelemre tett szert a vizsgált kultúrákra vonatkozóan. Előfordult, hogy Gusztáv Adolf svéd királyt is meglepte széles körű, pontos tudásával. Régészeti, művészettörténeti gyűjteményét a Nobel Alapítványra hagyta. Nobel-előadásában is mutatott néhányat kedvelt szobrocskáiból.

„Neveltetésemben igen nagy szerepe volt sok ország múzeumának” — mondotta Stockholmban 1961. december 11-én. „Egy Krisztus előtt 1400-ból származó egyiptomi cerkófmajom-szobor a méltóságteljességnek, a magasztosságuknak ugyanazt az érzését kelti ma, mint tette saját idejében. Egy hettita majomszobrocska ugyanolyan segélykérően néz ma, mint 5000 évvel ezelőtt; és egy korai görög róka-ábrázolás egy feltörekvő, fontos nép minden éleselmjűségét hordozza.”

A Békésy-életmű

Békésy György 1921-ben a Berni Egyetemen kapott kémikusi oklevelet. Ezután a doktorátus megszerzése érdekében két évig folytatott a fizika tudomány területén elmélyült kutatómunkát Eötvös Loránd utódja, Tangl Károly irányításával Budapesten. Hogyan jutott el egy kémikus alapképzettséggű, fizikából doktorált fiatal tudós a belső fül vizsgálatához? Békésynek első munkahelyén, a Postakisérleti Állomás jól felszerelt laboratóriumában azt a kérdést kellett eldöntenie, hogy a telefonátvitel minőségének megjavítása érdekében mibe kell investálni a pénzt, a kábelhálózatba vagy a telefonkészülékekbe.

Békésy szerint csak a fül szolgáltathatja a helyes választ. Nobel-előadásában is bemutatott két rezgési ábrát. Ezekből az látható, hogy egy rövid kattanáskor a dobhártyán rövidebb idejű rezgés keletkezik, mint amikor a telefonhallgató membránjára hirtelen egyenáramot kapcsolunk. A fizikus részletesen feltérképezte a dobhártya azon részeit, amelyek azonos kitéréssel rezegtek. Két vékony fémszálból különleges kondenzátort készített. Az egyik szálat a dobhártyára erősítette, a másikat mellé tette a külső hallójáratba. A dobhártya rezgésekor változik a két fémszál távolsága, ezzel változik a belőlük képezett kondenzátor kapacitása. Ezt megfelelő áramköri kapcsolással pontosan ki lehet mérni.

Békésyt érdekelte, hogy hogyan halad a hangrezgés a dobhártyától a középfül három parányi csontocskáján, a kalapácson, üllön és kengyelen át a belső fül felé. A csontocskák mozgására, a kengyel energiaátadási módjára vonatkozóan sok új felfedezést tett. Kutatási eredményeire nagyon sok, ma is használatos, hallásjavító műtét épül.

Békésy 1940-től 1946-ig — kutatói állásának megtartásával — a budapesti Tudományegyetemen egykori mestere, Tangl Károly utóda lett. Ezzel nemcsak tartalmilag jutott olyan magaslatokra, mint kísérleti fizikus elődei, Jedlik Ányos és Eötvös Loránd, valamint kortársa, Bay Zoltán, hanem hozzájuk hasonló tanári posztot is kapott. Tartalommal töltötte meg a műhelygyakorlatokat. Ő maga mestere volt a kéziszerszámok használatának és ezt szerette volna elérni fizikatanár szakos hallgatóinál is. Ugyanakkor igen magas színvonalú előadásokat tartott, a laboratóriumi gyakorlatokon, a könyvtárhasználatnál túl nagy szabadságot biztosított a hallgatóknak: kutatótársként kezelte valamennyit.

Békésy György korszakalkotó kísérleteire támaszkodó, új halláseméletét, a hangmagasság érzékelésének hely szerinti elkülönültségét 1928—1930 között közölte a *Physikalische Zeitschrift* folyóiratban.

A világ szakmai véleménye nagyon hamar és élénken reagált. A Magyar Tudományos Akadémia egy napfolttvétekenységi ciklussal, azaz 11 évvel később, 1939. május 12-i ülésén „38 szóval 8 ellen” javasolta „Békésy György egyetemi magántanárt, postafőmérnököt” levelező tagjai sorába. A XCIX. akadémiai nagygyűlés „43 szóval 2 ellen” meg is választotta őt, aki „az akusztikai kérdések európai hírű vizsgálója. A porosz Akadémia a Leibniz-ezüstéremmel tüntette ki” (1937). Akadémiai székfoglaló előadását „A rezgésérzés technikai jelentősége és mérése” címmel 1940. február 19-én tartotta. Marek József osztályelnök üdvözölte a székfoglalón a „legfiatalabb tagok egyikét, akit a Groningeni Egyetem aranyéremmel tüntetett ki” (1939).

Az MTA a második világháború utáni második ülésén, a CV. nagygyűlésen, 1946. július 24-én választotta rendes tagjai sorába Békésyt „23 szóval, egyhangúlag”. A július 28-i „ünnepélyes közülesén” az újonnan megválasztott akadémiai elnök, Kodály Zoltán beszéde után a főtitkár, Voinovich Géza ismertette az 1945. és 1946. évi kintüntetéseket. „A biológia terén a Nagyjutalom érdmét Szent-Györgyi Albertnek ajánlotta fel az Akadémia (1946), a matematika terén Riesz Frigyesnek (1945), a Marczibányi-jutalom elismerő levelét Békésy Györgynek (1946) és Jáky Józsefnek (1945).”

Szent-Györgyi Albertet 9 évvel a Nobel-díja után, Békésyt azonban 15 évvel az 1961-es Nobel-díja előtt tüntette ki az MTA.

Gunnar Holmgren professzor, az *Acta Oto-Laryngologica* főszerkesztője Békésyt Budapestről Stockholmba, a Karolinska Intézethez hívta. 1930 táján

Bárány Róbert, magyar származású Nobel-díjas orvoskutató hívta már munkatársnak Békésyt Uppsalába; ő akkor — egészségét féltve — nemet mondott. Az 1946-os meghívást azonban elfogadta. Stockholmban a belső fül kiemelésének kényes műveletére tanította kollégáit. Mint tudjuk, a csiga szervezetünk legkeményebb csontjába, a sziklacsontra van beágyazva, kivétele ma is komoly feladat.

A Technikai Intézetben kutatásokat is végzett. Új, a páciens által kezelt hallásvizsgáló készüléket tervezett. Ez a készülék továbbfejlesztése a „Békési audiométernek”, amelyet még Magyarországon építettek meg Pulvári Károly hangmérnökkel közösen. Olyan új elvet alkalmazott, amelyet más érzékszervek vizsgálatánál is használni lehetett. Meg lehetett határozni például a galambok szemének érzékenységváltozását a sötétbe való alkalmazkodás közben.

Az érzékszervek közös tulajdonságainak vizsgálata kötötte le később a Harvard Egyetemen, majd Hawaiiiban is. S. S. Stevens professzor már 1937-ben kollégájával, Newmannal eljött Budapestre, hogy az Egyesült Államokba, az egyik legrangosabb egyetemre, a Harvardra (Cambridge/Boston) hívja Békésyt. Ő akkor nemet mondott.

1947-ben a Budapesti Tudományegyetem nem hosszabbította meg Békési külföldi kutatói státuszát. Ezért engedett Stevens újabb csábításának, és Bostonba költözött. Itt kezdte tanulmányozni a fül csigájának elektromos folyamatait. A sok alapvető felismerése, mérése közül egyetlen eredményét emeljük ki. Létezik a belső fülben egy igen vékony, úgynevezett hálópártya. Ennek két oldala között mintegy 0,2 volt egyenfeszültséget mért. Ez azt jelenti, hogy fülünknek ez a hártyája nagyon nagy elektromos ellenállást képvisel. Ha 1 cm-es szigetelőréteget képeznénk belőle, akkor arra 100 000 volt feszültséget kapcsolhatnánk az elektromos átütés veszélye nélkül.

Békési György eredményeit, módszereit szerte a világon használták, őt azonban magányos kutatónak kell tekintenünk. Mind a 160 tudományos közleményének ő az egyedüli szerzője. Cikkeiből, az előadásaiból E. G. Wever két könyvet állított össze: *Kísérletek a hallás területéről* (*Experiments in Hearing*, 1960) és *Érzékszervi gátlás* (*Sensory Inhibition*, 1967).

Békésynek a múltba tekintő, szép gondolatával zárjuk életművének ismertetését:

„Budapest története a rómaiaktól ível a modern időkig. Az elmúlt 2000 évben számos alkalommal lerombolták ezt a várost. De mindig ugyanazon a helyen építették fel újra. Sokszor kérdezték tőlem, mi lehet az oka annak, hogy a magyarok, különösen a természettudományok területén, más népeknél sikeresebbek. Az a benyomásom, hogy az egy helyhez és egy célhoz történő ragaszkodás a fő oka annak, hogy hosszú fennállása alatt Magyarország jelentősen hozzájárult ennek a világnak a kultúrájához.”