

Kapcsolatok

Két béka véletlenül beleesik egy üveg tejbe. Kétségbeesetten kezdenek el kapálózni, hogy a felszínen maradjanak. Végül a pesszimista úgy dönt, úgymint reménytelen vállalkozás kimászni, abbahagyja a vergődést és elsüllyed. Az optimista béka viszont tovább tapossa a tejet addig, amíg az vajjá nem változik; ekkor kiugrik belőle, és elmegy.

(Apám egyik kedvenc anekdotája)

Ahogy hátradőlök és eltöprengek életemen, rá kell jönnöm, közvetlenül vagy közvetetten, de hihetetlenül sok ember befolyásolta. Hasznosan töltöttem, és nem kívánom, hogy bárcsak más forgatókönyv szerint rendeződtek volna a dolgok. Még abban sem vagyok bizonyos, vajon csupán „életem jötevői” érdemlik-e ki hálámat. Például megtörtént, hogy egy fiatal baloldali matematikus megvétoztta Gombás professzor fizikatanszékére való kinevezésemet csupán azért, mert úgy gondolta, felső-középosztálybeli származású vagyok – ez a sztálinista érásban Magyarországon hatalmas bűnnek számított. De ha nem akadályozta volna meg a kinevezést, most talán egy másodrangú fizikus lennék. Ha tehát jobb dolog élvonalbelinek számítani egy kevésbé kultivált területen, mint átlagosnak egy igen nagy presztízzsel rendelkezőn, akkor úgy vélem, még köszönettel is tartozom neki.

Most, hogy végigolvastam e bekezdést, kezd az idegeimre menni saját feleségem – és sokkal komorabb témák jutnak eszembe. Életem talán minden egyes napján a családomra, tanáraimra, volt osztálytársaimra, jötevőimre és közeli barátaimra gondolok, akik mind elpusztultak fiatalságom tragikus éveit alatt. Sokan közülük már akkor is sokkal többet értek el, mint én, a túlélő. Az én érdemeimben tehát nekik is van osztályrészüket.

Ha a jötevőimről és példaképeimről van szó, meg szeretnék köszönni mindent öreg szüleimnek és nagybátyámnak, Julesz Miklósnak (Nicholas Jul neuro-endikronológia professzorának, aki a tudományok és művészetek szenvedélyt nevelte belém. Szerencsére mindannyian túléltek a II. világháborút. Különösképp hálás vagyok szüleimnek azért, hogy oly sok nyelvet elsajátíthattam tőlük, amelyek később hatalmas szellemi tőkének bizonyultak. Szintén csak elismeréssel tudok nyilatkozni egészen különleges tanáraimról, akik a kiváló magyar iskolarendszer keretein belül oktattak, illetve a mindig kiegyensúlyozott tanmenetű Budapesti Műszaki Egyetem előadóinak. A legnagyobb benyomást fiatalkoromban mégis Péter Rózsa korai barátsága tette rám, aki bevezetett a matematika szépségeibe. Hatalmas és érdekes tapasztalatokra tehettem szert, amikor tizenhat évesen Gödel elméletéről tanultam tőle. Ám nem csupán a tanításért vagyok neki hálás; még inkább köszönettel tartozom neki, hogy oly sok tevékeny matematikust mutatott be nekem – miáltal rá kellett döbbernem: a ma-

tematika nem nekem való dolog.

Ezen kívül köszönettel tartozom az Akadémiai Kommunikációs Kutató Intézet szívélyes hangulatáért (különös tekintettel Bognár Géza kutatási igazgatónak vagyok hálás), ahol a rideg politikai légkör közepette 1951 és 1956 között szabadon folytathattuk független tudományos kutatásainkat a kommunikációs rendszerek és képkódolás (image encoding) területén. (Ez a hely volt egyébként annak a Magyar Posta Kutatási Intézetének az utódja, amely Békésy Györgynek sok éven át otthont adott.) A jó atmoszféra eredményeképp befejezhettem az vizuális képkódolásról írt doktori disszertációm, és elnyerhettem a Magyar Tudományos Akadémia fokozatát (ez valamivel magasabb, mint a magyar egyetemek által odaítélt doktori rang). Feltehetőleg rendszermérnökként folytattam volna, ha közbe nem jön az 1956-os magyar forradalom. Így viszont – feleséggel, és kétszázezer honfitársammal egyetemben – menekülni kényszerültünk. Soha nem hittem volna, hogy az eszméket, melyekért azokban az időkben harcoltunk, végül a szabad Kelet-Európa egyszer magáévá teszi.

A new jersey-i Camp Kilmerbe való érkezésünk után – ahova a legtöbb házánkbeli menekült első útja vezetett – meglátogatott a Bell Labor képviselőiben Sergei A. Schelkunoff, a matematika részleg igazgatóhelyettese. Ugyan még soha nem hallott rólam, de megtudta, hogy érkezett egy kutató, aki disszertációjában az információelmélettel foglalkozik, és látni szeretné a Bell Labort. Miután bemutatkoztunk, megkérdeztem, vajon ő-e a mikrohullámú antennákról szóló könyv szerzője. Kellemes meglepetés érte, hiszen nem sejtette, hogy ismerem a művét. Még inkább meghökkent azonban, amikor elmondtam, le is fordítottam magyarrá, és mikor szó szerint idézni kezdtem az előszavát, azonnal elvitt Murray Hillbe. Itt tartottam egy kötetlen előadást a TV szignálok optikai korrelációs technikákkal való kódolásáról. 1956. december 31-én kezdtem dolgozni a technikai részlegben. (Dr. Schelkunoff 1992. májusában halt meg 95 évesen.)

Felajánlották, hogy választhatok: vagy a mikrohullámú rendszerek kutatásával foglalkozom, vagy folytatom munkámat a TV-sáv szélesség redukciós rendszereiről, mely problémával itt egy egész részleg foglalkozott. Ez utóbbi mellett döntöttem, részben azért, mert egy, a vasfüggönyön túlról érkezett idegen még mindig nem számított minden gyanú fölött állónak, és a Bell Labor igen tekintélyes biztonsági előírásokkal dicsekedhetett... Szerencsémre a Szputnyik megtörte a jeget, így boldog és produktív életemet olyan tudományos légkörben kezdhettem, mely még az akadémiai intézetekéhez képest is párját ritkította. Tudós-hőseim közül többen tevékenykedtek itt, többek között Claude Shannon, John Pierce és John Kelly. Bár munkatársaim közül talán igen sokan hallottak már Shannonról, az információelmélet alapítójáról, és szenzációs bölcsességéről, vagy Pierce-ről, aki a Telstar kommunikációs szatellit és az utazóhullám-továbbító egyik feltalálója, valamint egy új zenei skála kiagyálója volt, azonban csak kevesen ismerték a fiatalon elhunyt John Kellyt, a texasi zsenit, akinek hatása minden vele kapcsolatban álló kollégájánál érződött. A negyedik

dialógusban esik szó eredeti, az információs értékről szóló elméletéről (Kelly 1956). Ha valaha meg fogom írni önéletrajzomat, biztos igen nagy részt fogok benne szentelni az ő színes személyiségének és alkotó géniuszának. Itt csak annyit jegyeznek meg, hogy Kelly és Mohan Sondhi – egy másik, páratlanul tiszta elméjű mérnök-barátom – voltak azok, akik lefektették az „echo-suppressor” áramkörök alapjait, mely forradalmasította később a hosszútávú telefóniát.

Azon olvasók számára, akiket a Bell Laborban töltött korai éveim és a random-pont sztereogram feltalálása érdekel, tudom javasolni a *Three Degrees Above Zero (Három fokkal nulla fölött)* című könyvet. Ez tartalmazza az én, és még számos itt dolgozó kutató életrajzát. Szintén ajánlom az irodalomjegyzékből a Julesz 1986a, Julesz 1990a és Julesz 1990b műveket is.

Jótevői és ellenségei furcsa módon járulhatnak hozzá a tudós munkásságához. A Bell Laborba kerülésem után a pszichológiai irodalmat kezdtem el tanulmányozni, és találkoztam is a legelső kísérleti pszichológusok némelyikével. Meglepődve kellett tapasztalnom, hogy a pszichológia érvényes nézetei szerint a sztereopszis igen rejtélyes problémának bizonyult, melynek itt a monokuláris alakfelismerés képezte alapjait, szemantikai homály vette körül, és ezt még csak tovább bonyolította számos – ehhez kapcsolódó – kulcs is, mint például egy arc felismerésének képessége. Volt radarmérőkként viszont tisztában voltam azzal, hogy a monokuláris felismerés nem fontos, hiszen a légi felderítésben is kijátszható a monokuláris álcázás, ha a légi felvételeket sztereoszkopikusan szemléljük; így az álcázott objektumok hirtelen előugranak. A valós életben természetesen lehetetlen a tökéletes álcázás, ezért amikor az első nagy számítógépek megérkeztek a Bellbe, elkészítettem velük az első, ideálisan álcázott sztereoszkopikus ábrákat, melyek már nem rendelkeztek törésvonalakkal, vagy különböző binokuláris diszparitásból fakadó területek közötti szakadási vonalakkal. És ahogy arra számítottam is, az összefüggő területek hirtelen élénken elkülönültek egymástól. E kísérlet élesen szembeszállt a sztereopszis vezető szaktekinetékével, Kenneth Ogle-nek (1964) elméletével, aki meg volt győződve a sztereopszis előtti monokuláris kontúrok szükségességéről. (Álláspontja nem is változott felfedezéseim publikációja után évekkkel sem – annak ellenére, hogy ellenvetéseit megcáfolták) Idézem Szó szerint (Ogle és Wakefield 1967, p. 90): „Az a benyomásunk támad Julesz érdekes kísérleteinek láttán, hogy bizonyos objektumok sztereoszkopikus mélységet mutatnak, ám a kontúrok fél szemel észrevehetetlenek. A középső területen tapasztalható sztereoszkopikus mélységet egy olyan, a háttérhez képest proximálisan vagy disztálisan kirajzolódó négyzet adja, melyet szigorúan az általa a mindkét sztereogram véletlen módon elhelyezkedő részleteinek háttérmintázatába „vágott vonalak” határoznak meg. Nehéz elhinni, hogy e random-mintázat „kivágása” és elmozdítása – hacsak egy felülmúlhatatlanul részletes mintázatról nincs szó – a vágás mindkét oldalának véletlenszerűségét eredményezi. A pontok egy részénél esetleg rés keletkezhet. Lehet, hogy a monokulárisan szemlélt kontúrokat nehéz észrevenni, ám kétlem,

hogy teljesen lehetetlen is.”

Ogle valamiért helytelenül azt feltételezte, hogy egy számítógéppel készített RPS ugyanolyan, mint az, amit egy mintás papírból kivágott forma valódi elmozgatásával kapunk. Ez utóbbinál ugyanis tényleg fennáll a lehetősége, hogy halványan bár, de monokuláris kontúrokhoz jutunk. A számítógép által generált RPS-eknél viszont a diszparitás-eltolódás minden esetben a pixel nagyságának egész számú többszöröse; épp ezért nincs is benne észrevehető monokuláris kontúr, hiszen egyetlen pontot (pixel) sem vágunk ki! Ezt az egészet csupán azért meséltem, mert utólag rá kellett jönnöm, fiatal és ismeretlen tudósok számára sokkal kifizetődőbb, ha van egy híres riválisuk, mint ha rámenős pártfogójuk lenne. (Persze nem árt, ha a fiatal kutató az igazság oldalán áll!) Miután cikkeimben mindig bemutattam az RPS-eket, munkatársaim közvetlenül ellenőrizhették az eredményeket. A köztem és Ogle között kialakult vita így felfedezésemre terelte a figyelmet, és meggyorsította tudományos elfogadtatásukat. Ennek a történetnek természetesen nem az a tanulsága, hogy a pártfogók nem fontosak. Különösen hálás vagyok John Pierce-nek, aki akkoriban a Bell Labor kutatási területének ügyvezető igazgatója volt. Az idők folyamán közeli barátom lett, és ma, nyolcvanas éveiben kreativitása, tudományos kíváncsisága és életöröme még mindig inspirálóan hat rám. Amikor a *Journal of the Optical Society of America* (Az Amerikai Optikai Társaság Lapja) első cikkemet visszadobta, ő segített nekem megjelentetni azt a *Bell System Technical Journal*-ben (*Bell Rendszer Technikai Lapja*-ban) – még hozzá változtatás nélkül. Az ő révén szerezttem be a Fresnel-prizmákat is, melyeket sztereoszkópként használtam fel. Köszönettel tartozom D. B. Juddak is, aki az *AOTL* szerkesztőjeként biztosította, hogy a következő cikkem (a sztereopsis szerepéről – Julesz 1963) az ő lektorálásával megjelenhessen lapjában.

A CPA megírása előtt egyedül szerettem dolgozni (kivéve, ha bizonyos akusztikai témákról volt szó – lásd a Tizenharmadik dialógust), vagy esetleg pár megbízható asszisztenssel. Nagyon hálás vagyok első asszisztensemnek, Richard (Dick) Payne-nek, a mechanikai és elektronikai varázslónak, akivel több, mint tizennyolc éven keresztül folytattuk intellektuális kalandozásainkat, és akivel együtt publikáltam első cikkemet a küklpsz-random-pont kinematogramokról (Julesz és Payne 1968).

1964-ben kineveztek a látás és a neuropszichológia terén folytatott kutatások vezetőjének egy újonnan kialakított *Érzékelési és perceptuális folyamatok* elnevezésű részlegben. Akkoriban William Baker töltötte be a Labor kutatási ügyvezető igazgatóhelyettesi tisztét, Ed Davis volt az ügyvezető igazgató (akit hamarosan Bob Prim követett), és Max Mathews vezette az én részlegemet. E hely adott otthont azoknak a pszichológusoknak, akik az emberi látást, és neurofiziológusoknak, akik a békák akusztikus tectumát, oldalszerveit, és a halak hallószervének evolúcióját tanulmányozták. A korai időkben George Sperling és Jack Levinson voltak a csoportunk tagjai; pár évvel később aztán meghívtam John Krauskopfot és Walter Kropfl-ot is. E kiváló munkatársaim a

későbbiekben is sok éven át velem maradtak, míg önállósodva már híres professzorok nem lettek. A neurofiziológiai csoportot Wilhelm van Bergheijk, Larry Frischkopf, Bob Capranica és Gerard Harris alkották.

Évekig képtelen voltam dönteni a neurofiziológia és a pszichofizika között – annál is inkább, mert Jerry Lettvin, az MIT híres neurofiziológusa (aki 1989-től 1993-ig a Rutgersen dolgozott), valamint David Hubel és Torsten Wiesel évtizedeken keresztül a csoportom tanácsadói voltak. Néhány sikertelen kísérlet után (például a béka alacsony- és magasfrekvenciára hangolt hallószervének és a szinaptikus vezikulumok méretváltozásainak vizsgálata elektronmikroszkóppal és a mélyhűtés módszerével) rá kellett jönnöm, hogy ez a „nedves” pszichobiológia sokkal több türelmet és szerencsét követel meg, mint a pszichofizika. Sajnos az AT&T érdeklődési köre igen távol állt a békák és halak tanulmányozásától, és amikor Anthony Robertsont arra szerettem volna felkérni, hogy mint idegélettanász, foglalkozzon a macskák vizuális kérgének vizsgálatával, hamar kiderült, ez a program nemigen egyezne meg a vállalat részvényeseinek elképzeléseivel. Csoportunk így feloszlott, de csupán azután, hogy volt munkatársaim mindegyike, aki távozni kívánt a Laborból nem talált valahol professzori állást. Én továbbra is a pszichológiai részlegemmel maradtam, de amikor csak tehettem, a szokásos tanulmányútjaim során ellátogatok az egyetemek neuroanatómusaihoz és neurofiziológusaihoz is.

Hans-Luke Teuber meghívásának jóvoltából az MIT pszichológia tanszékén tölthettem fél évet, ahol igen élvezetes eszmecsere folytattam pár híres kollégámmal (többek között részt vettem Walle Nauta neuroanatómiai kurzusán is), valamint egy speciálkollégiumi előadás keretében kipróbáltam az FCP-t a közönség előtt is, melynek tagjai között Whitman Richards, David Lee és Charles Stromeyer foglaltak helyet.

A Bell Laborban igen sok, más részleghez tartozó kutatóval is együttműködtem. Harry Frischt, a neves elméleti kémikust például érdekelni kezdték a mintafelismerés és a figurális-alapú percepció terén végzett munkáim, és ki is dolgoztunk együtt e problémára random-geometriai technikákat (Frisch és Julesz 1966).

1968-ban, az FCP írása közben találkoztam Steve Johnsonnal (a jól ismert számítástechnikussal). Közösén alkottuk meg az első, nemperiodikus kétértelmű RPS-t. (Az FCP-ben egy egész fejezetet szenteltem az effajta RPS-eknek.) Ezen a területen igen sok tehetséges programozó dolgozott, és többnyire független kutatókként is tevékenykedtek később. Ilyenek voltak: Joan Miller, Rosanne Hesse, Jerry Spivack, Caroll Boshe és Ellen Gritz.

Ez idő tájt nyílt alkalmam együttműködni a Caltech-en kutató Derek Fenderrel, akivel a binokuláris retinális stabilizáció területén folytattunk kísérleteket. Ezekben szemre helyezhető kontaktlencsákat alkalmaztunk, és később e munkák adták az alapját a sztereopszis hízterézis-hatásának, és vezettek a kooperativitás koncepciójának kidolgozásához (Fender és Julesz 1967). Két évtizeddel később Piantanida és Hyson (1983) ismételték meg és fejlesztették to-

vább e kísérleteket a mieinknél egyszerűbb módszereket alkalmazva.

Munkatársaim között felbukkantak néha olyanok is, akikkel egy-két hónapig dolgoztam együtt. John Frisby-vel a random-vonalas sztereogramok egy új osztályát tanulmányoztuk, és fel is fedeztük a plaszticitás pár érdekes megnyilvánulását. Frisby már pszichológiaprofesszorként a sztereopszis számos AI modelljének felállításához járult hozzá. Colin Blakemore azért keresett fel pár napra, hogy az első küklpsz-utóhatás elkészítésével demonstrálhassa a binokuláris-diszparitásra hangolt neuroncsoportok létezését. A macskák térlátásáról szóló elméleti dolgozata már előrevetítette neurofiziológiai érdeklődési körét; jelen pillanatban ő az oxfordi egyetem Sherrington katedrájának birtokosa. Az öreg Fergus Campbell, a cambridge-i egyetem oktatójaként szintén ellátogatott a tanszékemre, ahol – a világon elsőként előállított „látható” lézersugarak segítségével – Young-diffrakciós kísérleteket végzett a szem rendellenességeinek kiküszöbölésével, meghatározandó az idegrendszer MTF-ét. Igen mély benyomást tett rám, hogy kiderült, a diagonális hatás már a kiindulástól kezdve szigorúan idegi alapú.

Eredetileg úgy gondoltuk, a kooperativitás csupán a húzóhatás eredményeképpen léphet fel (Julesz 1964). Egy igen fontos – a hozzám 1975-ben csatlakozott Jih Jie Changgal együtt folytatott – kísérlet során viszont a térlátás húzóhatásáról is bebizonyosodott, hogy kooperativitást eredményez. Ez az eredmény sokkal meggyőzőbben támasztotta alá a térlátás kooperatív természetét, mint ahogyan tette azt a hiszterézis hatása (Chang és Julesz 1975). Chang és én igen sok, szórakoztató kutatásba vágunk bele, különösen, ami a rövid- és hosszú távú mozgásérzékelés területét illeti (Chang és Julesz 1984). Nagy tapasztalattal rendelkező rendszerprogramozóként indult mellettem, de hamarosan doktoranduszhallgatóm lett. Az évek során a vizuális percepció önálló kutatójává vált, az utóbbi időkből pedig számos nagy hatású cikket publikált. A legmesszebbmenőkig hálás vagyok neki azért, hogy együtt hívhattunk életre egy új tudományos életet a Rutgersen. A 65. születésnapom tiszteletére rendezett konferencia előtt szereztem tudomást nyugdíjba vonulásáról, és igen boldog vagyok, hogy megünnepelhettük az övét is.

Mély elismerésemet szeretném kifejezni Walter Kropfl-nak, aki a Walter Reed Kórházból érkezett a tanszékemre – korábbi munkahelyén Hubel és Wiesel munkatársa volt korszakalkotó kísérleteik során. Azon kevés szakemberek egyike, akik amúgy programozóként tevékenykednek, ám arra is képesek, hogy ha nem találnak számukra megfelelő programnyelvet, szétszerelik a gépet, és céljaikhoz illően átalakítják magát a hardvert. 1974-ben például olyan speciális hardvert fejlesztett ki, mely egy közönséges, üzletekben is kapható gép teljesítményét annak tizenhatszorosára növelte. Ezzel – elektrosztatikus monitorok segítségével – pár milliszekundum alatt összetett mintázatok és maszkol ábrák váltak megjeleníthetővé.

Kropflnek a dinamikus RPS-ek generációjának megjelenését lehetővé tevő hardverkonstrukciói előtti időkből közvetlenül egymás után csupán két, korrelá-

latlan sztereogram vizsgálatára nyílt lehetőségem (Julesz és Payne 1968). Seymour Papert (1964) talált egy zseniális módot arra, miként lehetne létrehozni egy-két speciális dinamikus RPS-t, habár ezek egy általános, háromdimenziós alak megjelenítésére még képtelenek voltak. A valósidejű, dinamikus RPS-ek létrehozásának problémája tehát igen nehéz, technikai jellegű akadálya volt annak, hogy a küklopsz-technika a tér-idő stúdiumok része lehessen. Így aztán nem is kevésbé lélegeztem fel, amikor 1973-ban értesültem arról, hogy John Ross a University of Western Australia-n elkészítette az első ilyeneket. Kiderült, miután a NASA felszámolta az ausztrál követőállomásait, a nagy számítógépek jó részét az ottaniak szétkapkodták. Rossnak sikerült megszereznie néhányat, melyeket RPS-ek generálására használt aztán fel – igen ügyesen, hiszen ezt még az anyagilag igen jól álló Bell Labor sem engedhette meg magának. Ross szívélyes meghívásának jóvoltából két igen sikeres éven keresztül többször töltöttem heteket pszichológia tanszékén, ahol nagy élvezettel vetettük bele magunkat a dinamikus RPS-ek és RPC-k tanulmányozásába (Hogben et. al. 1976). Szerencsére a következő évben Kropfl-nak sikerült kidolgoznia új eljárását, melyek korábbi próbálkozásainknál sokkal hatékonyabbnak bizonyultak – ettől fogva a többi kutató bennünket keresett fel, hogy a küklopsztechnikával dolgozhasson.

1971-től 1982-ig tartott az a legproduktívabb időszak, mely alatt a fent említett munkatársaimmal és a „régí” Bell Labor doktoranduszaival működtem együtt.

E függelék bevezetőjében, melyben fiatal éveimet elevenítettem fel sokkal nagyobb hangsúlyt kaptak tudományos életem korábbi alakjai, mint a későbbiek. Igaz, voltak sokan kollégák, munkatársak, diákok, barátok, adminisztrátorok vagy „életem tanúi” (róluk e bekezdésben teszek említést), akiknek segítségével nélkül kutatási tevékenységem nem bontakozhatott volna ki egészében. Különösképp köszönettel tartozom az (AT&T) Bell Laboratóriuma vezetésének, a California Institute of Technology-nak, és a Rutgers Egyetemnek. Köszönöm a MacArthur Alapítvány bizottságainak és azon a névtelen „tehetséges cserkészinek”, akik a kritikus időszakban (1983-1989) – amikor is a Bell Labor és az AT&T az alapkutatás radikális irányváltására határozta el magát –, hogy nagyszerű díjakkal kitüntettek. Itt egészen pontosan William O. Bakernek, az AT&T Bell Labor korábbi vezetőjének, és Arno Penziasnak, a kutatási igazgatóhelyettesnek vagyok hálás folyamatosan támogatásukért és jóakaratukért. Szintúgy hálával tartozom Felix Browdernek, a korábbi kutatási igazgatónak, és Alexander Pondnak a Rutgers Egyetem korábbi alelnökének, amiért meghívtak engem és részlegemet, hogy csatlakozzunk a Rutgers „kitűnő intézményéhez”, és különösképp a Vizuális Kutatólaboratórium 1989 januári megalapításáért. Köszönöm a Rutgersnek a folyamatos támogatást. Igen sokféle díjjal honorálták munkámat, többek között a Royal Netherlands Academy Heineken Díjával (1985), philadelphiai Filozófiai Társaság Lashley Kitüntetésével, és köszönettel tartozom kitűnő bizottságunknak, hogy kiemelték munkáimat.

Nagy elismerésemet szeretném kifejezni a Caltech menedzsmentjének, amiért kétszer is meghívtak a Fairchild Ösztöndíj keretein belül, és 1983-tól egészen mostanáig szponzorálták professzori kinevezésemet a biológiai részlegben, ahol sok kutatást végezhetem, valamint szemináriumot vezethetem és előadásokat tarthattam. Szintén el szeretném ismerni a Hajózási Kutatások Irodájának (Office of Naval Research), hogy David Van Essennel együtt anyagilag támogatták a majmok és emberek textúraérzékelésre irányuló kutatásokat. E díj és támogatás tette lehetővé, hogy hozzájussak egy további PhD pozícióhoz. A Caltechben töltött időszak részben egybeesett a Bell Laborban és a Rutgersen töltöttel, és így az ottani kollégáimmal és diákjaimmal folytatott eszmecsere-k tagították tudományos rálátásomat.

Elsősorban köszönettel tartozom munkatársaimnak – matematikusoknak, neurofiziológusoknak és pszichológusoknak. Az alábbiakban kronológiai sorrendben azon kivételes matematikai tehetségek neveit sorolom fel, akik komolyan vették az izo-másodrendű textúrákról szóló paradigmámat, és segítettek a sztochasztikus folyamatok kidolgozásában: David Slepian, Mark Rosenblatt, Harry Risch, Edward Gilbert, Larry Shepp, Terry Caelli, Jonathan Victor és Persi Diaconis. Terry Caellinek különösen hálás vagyok, akivel együtt fedeztük fel az első textonokat, ezáltal kimutatva texturális szegregáció helyi-folyamat jellegét. Ezen kívül lekötelezettnek érzem magam S. Brodienak és A. Gagalowicznak az izo-másodrendű paradigmához való hozzájárulásukért.

Miután az AT&T-től 1982-ben elkerültem, az Érzékelési és Perceptuális Folyamatok Részlegében kisebb átszervezésre volt szükség, melynek során elvesztettem Walter Kropfl-t. A MacArthur díj elnyerését követően Arno Penzias létrehozta a számomra a Vizuális Percepciókutatás Részlegét. Itt ért az a szerencse, hogy csatlakozott új részlegemhez Thomas Paphomas, a gyér mátrixok sajátértékszámítási problémáinak szakembere, aki a Columbián szerezte elektromérnöki és számítástudományi PhD-jét. Rövidesen kialakította és felállította azt a gyors és nagyfelbontású színes grafikus rendszert, amelynek segítségével nagy adatbázisokon (például a hosszú távú meteorológiai előrejelzés Cray-féle modelljein) lehet emberi heurisztikákat futtatni – ez régi vágyaim egyike volt. Ezután áttértünk arra a kérdésre, hogy a fókuszált figyelem miként befolyásolja a térfrekvencia-csatornák működését. Ezt követően a Konnektív Gépen végeztünk teljesítménytesztet, a 64 ezer számítógép mindegyikére az affín transzformációkhoz tartozó Lie csírákat telepítve. Később egy másik munkatársammal, Andrei Goreával dolgozott, és kidolgozta egy új paradigmát, ami lehetővé teszi, hogy több tulajdonság, köztük a szín, az irányultság (polaritás) és a mozgásirány (orientáció) sztereopszisban valamint mozgás-, és textúraészlelésben játszott szerepét elkülönítsük. Paphomas, aki közben elnyerte a biomedikális mérnöki tudomány professzori címét, a Látáskutató Laboratórium társigazgatójaként dolgozik mellettem a Rutgersen.

Végül Itzhak Hadani csatlakozott hozzám a haifai Technionról – őt a térlátás és a perceptuális konstanciák matematikai alapjai érdeklik. Hadaninak érde-

kes elgondolásai vannak, és az ő nevéhez fűződik egy nagy jelentőségű sötétítő szemüveg feltalálása is. Jelenléte ráirányította figyelmemet arra a régi kérdésre, vajon létezik-e abszolút mélységérzékelés – ami az autokinetikus hatás problémájához is kapcsolódik. Az emberi navigációról és az autokinetikus mozgásról végzett kutatásaiban számtalan eredményt tudott felmutatni a velünk töltött négy év során. Közös kutatásunk az interokuláris parallaxis térlátásban és a mozgási konstanciáknál játszott szerepét vizsgálta (Hadani és Julesz 1992).

A CPA megírása után szokásommá vált, hogy tehetséges doktoranduszokkal vegyem körbe magam. Legtöbbjük azóta sikeres önálló kutatóvá nőtte ki magát. Itt most időrendi sorrendben szeretnék megemlékezni munkámhoz való hozzájárulásukról, amiért mindannyiuknak hálával tartozom.

Első doktoranduszom, Charles Stromeyer III (a Harvardról) különleges érzékkel ötlötte ki az újabb és újabb sikeres kísérleteket, és nagy örömmel tölt el, hogy a Harvard ugyanazzal a kinevezéssel méltatta, amellyel egy generációval korábban példaképemet, Békésy Györgyöt is megtisztelték. A kritikus maszkoló-sávval végzett kísérletünk alapötletét (Stromeyer és Julesz 1972) azóta is széles körben idézik. Azóta már tíznél is több doktoranduszhallgatóm volt, közöttük olyan is, akit díjazás nélkül vállaltam el: az az Enrico Chiarucci, aki megalkotta a CPA-hoz kapcsolódó küklpszmozit és az ekhoikus memória látásban játszott szerepéről folytatott velem közös úttörő kutatást (Julesz és Chiarucci 1973). Chiarucci legfőbb érdeklődési területe a számítástechnika volt, és számtalan érdekes problémán dolgozott, a UNIX olaszországi elterjesztésétől egy marokkói adatbankon keresztül a Korán különböző Arab dialektusokra való lefordításáig. Váratlan halálát megdöbbenéssel fogadtam.

Második doktoranduszom Bruno Breitmeyer volt, aki a Stanfordon végzett. Közös felfedezésünk a felülről lefelé (tehát nem balról jobbra) irányuló asszimmetria a sztereopszisban (Breitmeyer, Julesz és Kropfl, 1975). Tőle tanultam a metakontraszt jelentőségét, amit később a textúraészlelés kutatása során felhasználtam. Együttműködésünket dicséri az alacsony és magas térfrekvenciájú csatornákról végzett úttörő kutatás is (Breitmeyer és Julesz, 1975). Többi doktoranduszomhoz hasonlóan ő is felkeresett a későbbiekben, és megpróbáltunk kidolgozni egy ötletes módszert a retinotopikus és egotopikus koordinátákon alapuló perceptuális folyamatok elkülönítésére (Breitmeyer, Julesz és Kropfl, 1982). Az alap gondolatot nem befolyásolja, hogy azóta kiderült, a foszfor időbeli konstansai miatt az eredményeket át kell értelmezni. Breitmeyer később elismert monográfiát írt a metakontraszt jelenségéről.

Harmadik doktoranduszom, Christopher W. Tyler már tapasztalt önálló kutató volt, amikor hozzám került. A térlátás több izgalmas részterületét kutattuk közösen, de igazán jelentősnek a sztereopszis entrópiára emlékeztető jelenségének, a neurontrópiának a felfedezése és a binokuláris diszparitás negatív korrelációban játszott szerepének felismerése (Julesz és Tyler 1976, Tyler és Julesz 1976) bizonyult – két nem várt eredmény, amely csak két nagy elme együttműködésének köszönhetően születhetett meg. A szinuszosan hullámzó görbék irán-

ti érdeklődése Tylert később a diszparitásgrádiens elvének megfogalmazásához vezette.

Negyedik doktoranduszommal, Peter Burttel volt alkalmunk a Panum-féle fúziós terület tiltott zónáinak elvét és a diszparitásgrádiens határának jelenségét először megfogalmazni (Burt és Julesz 1980). Burt, aki egyébként a számítástudomány és a gépi látás területén igen eredeti gondolkodónak bizonyult, kevés számú alsóbbéves diákjaim egyike is volt (akikért nem járt külön díjazás), Michael Arbib javaslatára fordult hozzám.

Burtön kívül három hasonló alsóbbéves diákom volt. Lloyd Marlowe, aki Lorrin Riggs ajánlására került hozzám, egy évet töltött a Bellnél, mielőtt a Harvardra ment át, ahol tragikusan korán érte a halál. Az ő random vonal sztereogramjai szerepelnek a CPA-ban. A másik kettőt a zürichi ETH-ban való tartózkodásom során szereztem be. Benno Petrig és Hans-Peter Oswald Max Anlickernél tanult, de előadásomat hallva úgy döntöttek, doktoranduszként a küklöpszpercepciót kívánják kutatni. Petrig később doktoranduszhallgatóm is volt.

A Zürichben töltött év (1976) termékeny időszaknak bizonyult. Elismert neurológus és látáskutató barátom, Günther Baumgartner hívott meg, és így lehetőségem nyílt rá, hogy (egy másik régi barátommal, Dietrich Lehmannal közösen) a dinamikus randompont sztereogramok és korrelogrammok által kiváltott idegi potenciál mérési módszerét kialakítsam. A módszer lehetővé tette, hogy a küklöpszlátás legkorábbi szakaszait gyermekeknél és majmoknál is vizsgálni tudjuk.

Negyedik doktoranduszom – még Peter Burt előtt – Terry Caelli volt, egy ausztráliai matematikus, aki irányításom mellett a perceptuális állandókat akarta a Lie algebra segítségével tanulmányozni (ennek a témának egy egész fejezetet szenteltem a CPA-ban). Erről a tervéről azonban lebeszéltem, és tanácsomra inkább a figyelem előtti textúradiszkriminációval kezdett foglalkozni, ahol az izomásodrendűség paradigmájának felhasználásával sikerült az első textonokat felfedezni. Együttműködésünk intellektuális fejlődésem szempontjából meghatározónak bizonyult.

Burt (és Walter Kropfl) a GENTEX-program kidolgozásában segített, lehetővé téve későbbi doktoranduszhallgatóim számára, hogy igen változatos és pontos ábrákat és textúrákat készítsenek. A képfeldolgozás témájához visszatérve Burt számtalan eredeti elképzelést fogalmazott meg, így például a Laplace-piramis fogalmát.

Benno Petrig, akit már korábban említettem, doktori disszertációját a csecsemőkön végzett VEP-mérésekről írta. Kropfl közreműködésével először a csecsemők vizsgálatának fejlesztésével kísérleteztünk, nagy felületekre vetített mozgó randompont korrelogramokkal véve körbe őket. A módszer és a tizenkét normális csecsemőn Oliver Braddickkel, Janet Atkinsonnal, Ivan Bodis-Wollnerrel és másokkal közösen elvégzett kontrollvizsgálat segítségével Benno Petrig megállapította, hogy a funkcionális binokularitás minden előzmény nél-

kül három és fél hónapos korban jelenik meg. Petrig és az utókövetés vizsgálat a térlátás kritikus időszakának meghatározását komolyan előmozdították, és az eredmények révén lehetővé vált a kancsalsággal járó látásvesztésből származó tompalátás („lusta szem”) kiküszöbölése is.

A következő doktoranduszom Rob Schumer volt, akit Leo Ganz irányított hozzám, a Stanfordinál. Rob a szinuszosan barázdált RPS-felületek utóhatásainak vizsgálatával foglalkozott. Barázdált RPS-t használva többek között mértük a ciklopsz MTF -et (Schumer és Julesz, 1984). Közösen írtuk az 1981-es Annual Review of Psychology (Pszichológia Évkönyv) korai látásra vonatkozó fejezetét is.

A következő doktorandusz a matematikában járatos Jim Bergen volt, aki Hugh Wilsonnál végzett. A texturális figura-háttér megkülönböztetést összekapcsoltuk a fókuszált figyelem jelenségével. Azt is megmutattuk, hogyan történik a megkülönböztetés izoharmadrendű textúrapárok esetén, egy lineáris majd nemlineáris szűrő révén (Julesz és Bergen 1982). Bergen és Burt most Princetonban, a Stanford Kutatóintézetben (az egykori Sarnoff Központban) dolgoznak.

Következő doktoranduszom Dov Sagi volt, aki a Bellnél eltöltött hosszabb időszak után a Caltechhez is követt. Több tanulmányunkban (Sagi és Julesz 1985a, b, 1986, 1987) is felvetettük – a Burttel és Bergennel kidolgozott maszkolási paradigmát követve –, hogy a látást feloszthatjuk figyelem előtti és figyelmi szakaszokra. Sagi, akiből később a Weitzmann Intézet professzora lett, gyakran meglátogat, és nemrég egy egész évet töltött az LVR-nél.

Őt követte Bart Farell, aki korábban a kognícióval foglalkozott. Együttműködésünk gyümölcse annak a többé-kevésbé globális „halraj-detektornak” a felfedezése, amely a szomszédos kvázi parallel irányultságú elemeket (például nyilakat) képes észlelni (Farell és Julesz 1989).

A Bellnél következő munkatársam egy elismert franciaországi pszichofizikus, Andrei Gorea volt. Együttműködésünket az autóbalesetem sajnos félbeszakította, de a baleset előtt még megtehetjük azt a váratlan közös felfedezést, hogy az emberi arcot formázó pálcikarajzokat még akkor is könnyebben észleli a megfigyelő, mint a pálcikák véletlenszerű halmazát, ha tudatosan nem ismeri fel, hogy emberi arcról van szó (Gorea és Julesz 1990).

Ugyanebben az időben a hollandiai Ben Kröse is velem dolgozott a Caltechnél a texton-grádiensek erősségének kvantifikációjáról szóló disszertációján. A fókuszált figyelem keresési stratégiáit vizsgálva megalapozatlannak bizonyult a keresési út és a ráközelítés (zooming) hipotézise, de kiderült az is, hogy egy párhuzamos és egy soros feldolgozási folyamat egyidejű működéséről van szó (Kröse és Julesz 1989).

Doug Williams (aki szintén Hugh Wilsonnál végzett) volt az utolsó doktorandusz a Bellnél és egyben az első a Rutgersnél. A mozgásérzékelés kooperatív folyamataira vonatkozó kutatásai nagy hatással voltak rám. Vele az asszimetria textúradiszkriminációban játszott szerepének illetve az anti-textonoknak a problémáján dolgoztunk együtt. Megállapítottuk, hogy a szubjektív kontúrok kitöltik

az üresen maradó részeket, és hasonló kitöltési folyamatok állnak a percepciósszimmetriák számtalan formája mögött (Williams és Julesz 1991, 1992).

Jukka Saarinent azért hívtam a Rutgersre, mert témája, a textongrádiensek perifériális látásban történő észlelése egybeesett az én érdeklődésemmel. Közösen sikerült megmérnünk a gyors keresés sebességét (Saarinen és Julesz 1991) – ez a probléma már évek óta foglalkoztatott.

Jelenleg Jochen (Achim) Braun doktorandusz van mellettem, aki Dov Sagi doktorandusznövédeként kezdett, tehát joggal nevezhetem „tudományos unokámnak”. Az imént említett eredményekből kiindulva egy bonyolult és időigényes módszerrel a perifériáról központba hozzuk a figyelmet, miközben arra a kérdésre is keressük a választ, hogyan mennek végbe egyéb figyelem előtti észlelési és azonosítási feladatok a periférián. Bár ezek a kutatások még folyamatban vannak, egy rövid tanulmányban bemutatjuk őket (Braun és Julesz 1992).

Kovács Ilona budapesti kognitív pszichológus és a Soros Alapítvány ösztöndíjasaként jött hozzám. A színészlelés metaizoluminancia esetén játszott szerepére és a Panum-féle fúziós terület intenzív tanulás melletti kiterjeszhetőségére vonatkozó közös kutatásaink sikere alapján meghosszabbítottam az ösztöndíját, és felajánlottam neki, hogy 1995-ig mellettem kutasson. A velem folytatott kutatások egyik eredménye a metaizoluminancia felfedezése (Kovács és Julesz, 1992). Jelenleg egy tőle származó kitűnő elgondolást követve egy újszerű vizuális topológia felállításán dolgozunk.

Nemrég Bart Andersonnak ajánlhattam fel egy doktori helyet. Ő a Harvardról jött át és a térlátás illetve a kooperativitás kérdései érdeklik, akárcsak engem. Azt hiszem, izgalmas együttműködésnek nézünk elébe.

A Caltech-en eltöltött 14 tél nagy hatással volt rám. Soha ilyen értelmes alsóbbéves és PhD-s egyetemistákat és doktoranduszokat nem tanítottam, és ez különleges élményt jelentett számomra. A tanári karnak köszönhetem a szélesebb rálátást. Legtöbbet a John Allmannel, Derek Fenderrel, John Hopfielddel, Christof Kochhal, Carver Meaddel folytatott beszélgetéseknek köszönhetek, és legfőképpen David Van Essennek, akivel több, mint egy évtizede dolgozunk együtt. Mindig emlékeztetek maradnak közös sétáink és beszélgetéseink Max Delbrückkel és Murray Gell-Mannal. Az Irvine-i Egyetemen való tartózkodásom idején rendszeres látogatója voltam a Francis Crick vezette Helmholtz Klubnak, ahol pszichobiológusokkal és vendégeikkel találkozhattam.

Hálás vagyok továbbá az alábbiaknak, amiért érdeklődést mutattak irántam és munkám iránt: Phil Andersonnak, Günther Baumgartnernek, Békésy Györgynek, Francis Cricknek, Salvador Dalínak, Gerald Edelmannel, Erdős Pálnak, Richard Gregorynak, Leon Harmonnak, David Hubelnek, John Krauskopfnak, Jerry Letvinnek, Murray Gell-Mannak, Don Glazernak, Mark Katznak, Ben Logannak, David Marrnak, Alexander Melzaknak, Vernon Mountcastle-nek, Tommy Poggiónak, Manfred Schroedernek, Anne Treismanak, Henk van der Tweelnek, Roger Shepardnak, George Sperlingnek, Saul Sternbergnek, Szentágothai Jánosnak, Gerald Westheimernek, Torsten

Wieselnek és Semir Zekinek.

Nagy tudósokat a fiatalabb generációból is említhetnék, de inkább nem teszem, mert esetleg még ártnék velem. Két fiatal és korán eltávozott tudóskollégámról azonban név szerint szólok: David Marr és Svatoslav Pradny a korai látásban váratlan távlatokat nyitottak meg, és ezért lekötelezettjük vagyok.

Legbüszkébb Werner Reinhardt és Gian Poggio barátaimra vagyok, akik munkája saját tevékenységemre is kihatással volt. 1985-ben Wernerrel közösen nyertük el a Dr. H. P. Heineken Díjat. Sajnos, ő már nem olvashatja ezeket a dicsérő sorokat. 1989-ben Giannel osztoztunk a Karl Spencer Lashley Díjon. Gian hozta számomra talán a legnagyobb tudományos elégtételt, amikor kimutatta, hogy a globális térlátás a kérgi bemenetnél megy végbe, sokkal korábban, mint azt általában gondolták.

Nemrég csatlakozott laboratóriumunkhoz Fehér Ákos, a számítástechnika és a vizuális kijelzés szakembere, hogy bonyolult kutatásaink során segítséget nyújtson.

Sok-sok tudóst, matematikust, filozófust és művészt említhetnék még, akik akár észrevétlenül is hatással voltak a gondolkodásomra és az életről kialakított elképzeléseimre. A Leibniz-idézetre például Daniel C. Dennett hívta fel a figyelmet [akinek 1992-ben megjelent könyvét nagyon élveztem, bár a tartalmát illetően John Searle-lel és az általa felhozott kínai szoba érvvel értek egyet, mert nem hiszem, hogy a MI algoritmusai valaha is tudatra ébrednének és érzeltek lennének]. Azt, hogy a matematika legelvonatbabb kérdéseit is meg lehet osztani a laikus közönséggel 16 évesen tanultam Rademacher és Toplitz gyönyörű könyvéből a Számok és Alakok-ból (Von Zahlen und Figuren). A szerzők egyszerű de alapvető tételeket mutattak be (amelyeket szépségesen egyszerű dallamoknak neveztek), és nem bonyolult, csak a szakemberek számára érthető teorémákat (amelyeket az alaposan megkomponált szimfóniákhoz hasonlítottak). Az ő példájukat követtem, amikor a kognitív pszichológia mélyvizét elkerülve az alacsony szintű látás kutatását választottam.

A CPA névmutatóját és magát a könyvet lapozgatva számtalan olyan pályatársam nevével találkoztam, akiknek a munkája elevenen él bennem, a Dialógusokban azonban mégsem kerülnek említésre. Köztük van J. C. R. Licklider, akinek a hallható zaj binaurális lokalizációjára vonatkozó elmélete megragadta a fantáziámat; N. S. Sutherland, aki a pszichológiában tapasztalt adaptációs jelenségek neurofiziológiával való összekapcsolásának úttörője volt; Jacob Beck, aki újszerűen definiálta a perceptuális csoportosítás jelenségét; és Tony Movshon, aki az elsők között kapcsolta össze a majmok viselkedését mikrostimulációval nyert neurofiziológiai eredményekkel. Mindannyiuknak köszönettel tartozom.

Nem mondhatok minden barátomnak név szerint köszönetet azért a kedveséért és bölcsességért, amellyel a szakterületemen belül és azon kívül számtalan esetben támogattak és hatottak rám. Itt csak három régi barátomról szeretnék megemlékezni. Lengyel Péter a genetikus kód megfejtésének úttörője közvetítette számomra a molekuláris biológia legújabb fejleményeit. Victor Roth meg-

osztotta velem tudását és életfilozófiáját; a Dialógusokat záró idézetet is neki köszönhetem. Gábor Andrással, aki feltalálta a margarétakerekes nyomtatót és a csendes írógépet, pályánk együtt indult, és alakja eszembe juttatja, milyen hősi felfedezéseket tehettem volna mérnökként magam is. Földes Péter, aki a szatelit antennák nagy ismerője és elismert festő egy személyben, azt bizonyította számomra, hogy lehetséges egymással párhuzamosan sikereket felmutatni a tudományokban és a művészetekben.

A függelék szüleimnek lerótt köszönetemmel kezdtem – most a feleségemnek, Margitnak járó köszönettel szeretném lezárni, aki 40 éven keresztül támogatott szeretetével, bölcsességével és törődésével, és mindvégig biztos hátteret nyújtott tudományos tevékenységemhez.