

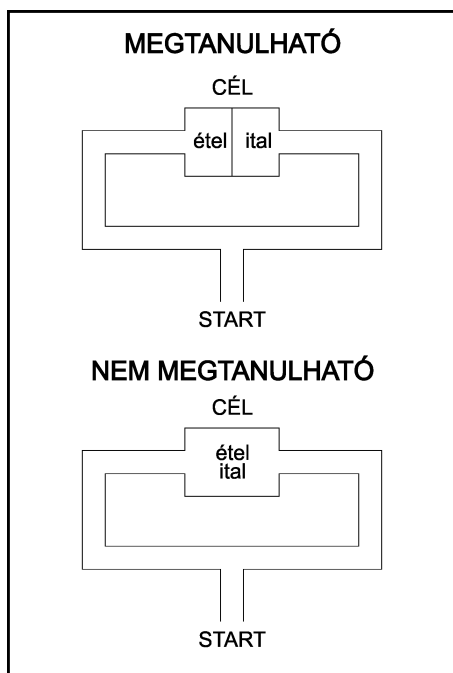
Kísérleti munkák és alkalmazások

TUDJA-E A LÁTÓRENDSZER A FIZIKÁT?

Kovács Ilona

kandidátus, e. docens, Rutgers Egyetem, N.J., USA és BME

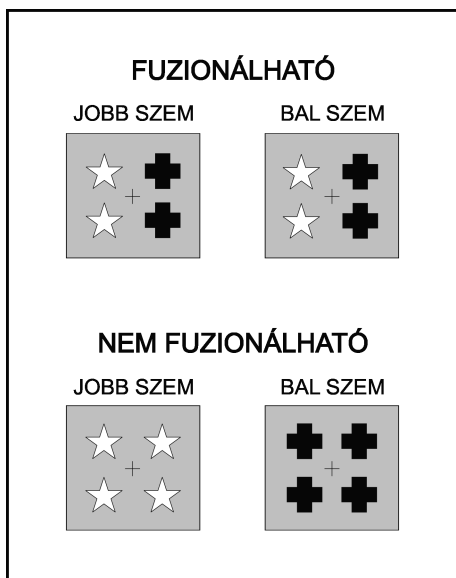
Összehasonlító lélektan óra a bölcsészkaron húsz évvel ezelőtt, Kardos professzor: „...és az állat megzavarodik, mert ugyanazon a helyen két dolgot lát...”. Nagyon sok kifinomult változatát hallottuk Kardos Lajostól



1. ábra • Két példa Kardos (1988) útvesztőtanulási kísérleteiből. A felső útvesztő könnyen megtanulható a patkány számára, az alsó viszont még több ezer próba után is random teljesítményhez vezet. Mi erre a magyarázat?

azoknak a kísérleteknek, melyek a patkányok útvesztőtanulási képességét vizsgálták, de volt egy, amelyre mindenki emlékszik azóta is. Ez az a bizonyos kísérlet, amelyet Kardos „kritikus kísérletnek” hívott, s az úgynevezett *T útvesztők* egyik változatát használta fel a patkány emlékezeti reprezentációjának feltárására. Az 1. ábrán illusztrált útvesztő mindkét változata étellel jutalmazza a patkányt ha jobbra indul a startnál, s itallal ha balra indul. Az állatnak egyben fontos is, hogy adott esetben ételhez jusson, hiszen éheztetik, illetve hogy más esetben italhoz jusson, hiszen szomjaztatják. Érdekes módon a felső útvesztőt néhány próba után sikeresen teljesítik a patkányok, tehát ha szomjasak balra, ha éhesek jobbra fordulnak a startnál. Az alsó útvesztő azonban megtanulhatatlannak bizonyult (Kardos, 1988). A különbség a céldobozban van: a felső céldoboz két részre van osztva, és az étel mindig a jobb, az ital mindig a bal oldalon van; az alsó céldobozban viszont *ugyanazon a helyen* vagy étel vagy ital jelenik meg az indulás irányának függvényében. Kardos szerint az állat – noha vannak emlékképei – képtelen megkülönböztetni a perceptuális képeket az emlékképektől. Ezért pl. az ital emléképe keveredni fog az éppen észlelt étel perceptuális képével, s a kettő ugyanazért a helyért fog versengeni.

Ez a gyönyörű, Kardos által „kritikus kísérletnek” nevezett jelenség elsősorban Kardos



2. ábra • Sztereoszkóposan bemutatott ingerpárok. A felső pár stabil érzéklethez vezet, az alsó pár viszont rivalizál.

értelmezése miatt került a bevezetőbe. Kardos ugyanis azt feltételezte, hogy kell lennie egy *implicit fizikai tudásnak* (akkoriban kognitív térképnek hívták) a környezet tárgyainak térbeli helyére vonatkozóan, s az ennek ellentmondó információ „rivalizációt”, s zavarodottnak tűnő viselkedést vált ki.

Hasonló zavarodottsághoz vezet a 2. ábrán bemutatott kísérleti helyzet. Ezt a kísérletet macskákkal, majmokkal, illetve emberrel szokták elvégezni, és tulajdonképpen mindhárom esetben hasonló eredménnyel. Sztereoszkóppal bemutatott vizuális ingerekről van szó, ahol mindkét szemnek saját ingerlést biztosítunk. Ez a fajta ingerlés háromdimenziós tér érzékletéhez vezethet ha a két szemnek függetlenül, de egy időben bemutatott képek eléggé hasonlóak, s csak apró pozicionális eltérések vannak rajtuk (ami a normális sztereolátást szimulálná két-dimenziós képek segítségével). Az ábrán fent elhelyezkedő képpár ehhez hasonló, bár egyszerűbb helyzetet mutat be: a két

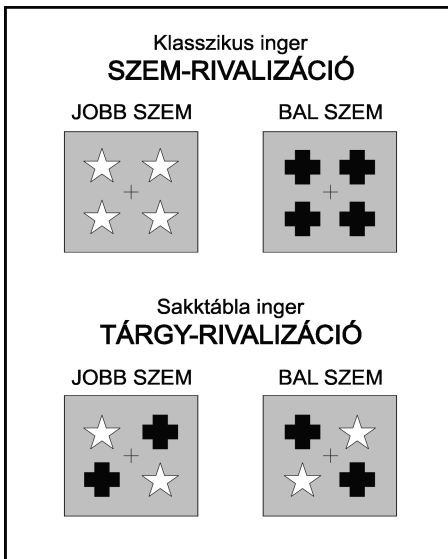
szem azonos ingerlésben részesül, ami tökéletes „fúzióhoz” vezet, tehát a perceptuális élményben két fehér csillag és két fekete kereszt stabil képe jelenik meg. Az alsó ábrapáron csak annyi a fizikai különbség a baloldali párhoz képest, hogy a keresztek és csillagok helyet cseréltek. Perceptuálisan azonban hatalmas a változás: állandóan fluktuáló, zavarbaejtő képet látunk, ahol időnként fehér, időnként fekete dolgok jelennek meg, spontán módon váltakozva. Az érzéklet nagyon jellegzetes, soha nem szürke kereszt-csillagokat, hanem minden esetben vagy fekete keresztek, vagy fehér csillagokat látunk, s ez a kettő állandó harcban állva, megállás nélkül, nagyjából két másodpercenként váltakozik. Ezt a jelenséget hívják binokuláris rivalizálásnak. Ha a kardosi értelmezésből okultunk, akkor könnyű dolgunk van, mert egyből látjuk, hogy mi a probléma a jobb oldali képpárral: ugyanazon a helyen különböző színű és formájú tárgyakat jelenít meg a két szem számára. A jobb szem bal felső fehér csillagjának megfelelő helyen a bal szem fekete keresztet lát stb. Lehetséges, hogy a látórendszer – csakúgy, mint a patkány – tudja a fizikát, s zavarba esik, ha a rendelkezésére álló adatok azt sugallják, hogy a két dolog ugyanazt a téri pozíciót foglalja el? Emítésre méltó, hogy a binokuláris rivalizációt magasszintű kognitív folyamatok nemigen tudják befolyásolni, s nem akarhatjuk például, hogy a két kép „fuzionáljon”, illetve nem tudjuk figyelmünket csak a csillagokra koncentrálni, mert minden igyekeztünk ellenére el fognak tűnni, hogy azután pár másodperc múltán újra feltűnjenek.

Igazán kár, hogy a binokuláris rivalizáció kutatói nem ismerték Kardos elméletét. Az uralkodó elmélet ugyanis egészen a múlt század kilencvenes éveinek végéig az volt, hogy a percepcióban megjelenő perceptuális alternálás oka a két szem közötti versengés (Wolfe, 1983; Blake, 1989). Vegyük észre, hogy ez milyen messze áll a percepció tár-

gyainak a háromdimenziós világban elfoglalt helyért való versengésétől! Az élményben megjelenő alternálás mögött természetesen gátlómechanizmusok kell, hogy álljanak, hiszen maga az inger változatlan, tehát mind a csillagok, mind a keresztek állandóan jelen vannak fizikailag, az agy számára azonos helyeken. Mi történik, amikor egyik pozíción a csillag nem, csak a kereszt látszik? A csillag neurális reprezentációja egy időre „ki van kapcsolva”. Ésszerűnek látszana olyan alacsony szinten kikapcsolni a csillag reprezentációját, ahol a két szemből érkező információ még nem keveredik egymással, tehát a monokuláris sejtek szintjén. A monokuláris idegsejtek csak az egyik szemből kapnak információt. A szemtől a thalamuson keresztül az elsődleges látókéreg (V1) negyedik rétegéig tulajdonképpen minden idegsejt ilyen. A V1 negyedik rétegének sejtjein túl azonban már a legtöbb agykérgi idegsejt binokuláris, tehát mindkét szemben van receptív mezője, s képes a két szemből érkező információ összehasonlítására. Mérnöki szempontból logikusnak tűnik, hogy amint a binokuláris sejtek (s ha lehet, akkor még a V1-beliek) össze nem illést detektálnak a két szem ingerei között, tudósítsák erről az egy szinttel lejjebb lévő monokuláris sejteket, s az egyik szemhez tartozó sejtek gátlását elindítsák. Eszerint az elképzelés szerint tehát, ha valaki a perceptuális alternálás idegi korrelátumát szeretné megtalálni, akkor a legjobb ha a thalamus vagy a V1 monokuláris sejtjeinek válaszait tanulmányozza. Miért is lenne érdekes a rivalizáció perceptuális korrelátumait megtalálni? Például azért, mert a perceptuális alternációt válaszaiiban követő sejt valószínűleg fontos szerepet játszik a perceptuális tudatosságban – hiszen az inger változatlan, s az alternálás csak a tudatos élményben jelenik meg. (A sejt válasza ún. egysejtméréssel követhető, ahol egy mintázat perceptuális dominanciáját az idegsejt kislési frekvenciájának növekedése, a min-

tázat elnyomását pedig a frekvencia csökkenése követné korreláció esetén.) A neurofiziológusok, s közöttük nemegyszer igen kiváló neurofiziológus tehát nekiláttak a vadászatnak. Az idegtudományok talán egyik legnagyobb csapdájába esve azonban sokáig sikertelenek maradtak! A thalamus és a V1 monokuláris sejtjei (Leopold és Logothetis, 1996) egyáltalán nem hagyják magukat befolyásolni a perceptuális alternáció dominancia és elnyomás között váltakozó fázisaitól, a binokuláris rivalizáció agyi korrelátuma így rejtve maradt. Az első sikeres próbálkozások a kilencvenes évekig vártak magukra, amikor a kutatók végre binokuláris sejteket is vizsgáltak, s más agyi területeken is próbálkoztak egysejtméréssel. Kiderült, hogy míg a V1 binokuláris sejtjeinek csak néhány százaléka korrelál a perceptuális változásokkal, addig a temporális kéregben lévő inferotemporális terület sejtjeinek már 80 %-a (Sheinberg és Logothetis, 1997). Tehát a rivalizálás nem alacsony, hanem meglehetősen magas (bár még mindig perceptuális) szinten dől el.

Mi okozhatta ezt a hatalmas lokalizációs hibát? A temporális kéregben lévő inferotemporális terület majdnem olyan messze van az occipitális kéregben lévő V1-től (nem is beszélve a thalamusról), mint a szív az agytól. A hiba konceptuálisnak tűnik. Mivel a látás területén belül elég általános, s sok esetben hasznos felfogás szerint az agy a retinakép elemzését végzi, s a retinaképek azonosíthatók a szemekkel, logikusnak tűnhet, hogy a rivalizáció alatt a két szem verseng egymással. A klasszikus rivalizációt kiváltó vizuális ingerek ezt nem is cáfolják meg, hiszen mindkét szemnek koherens képeket prezentálnak, például egyiknek egy vízszintes zöld, másiknak egy függőleges piros rácsmintát, vagy egyiknek egy almát, másiknak egy körtét (2. ábra lenti, és 3. ábra felső képpárja is mutat egy példát a szemek koherens ingerlésére). A klasszikus ingerek azonban nem adnak lehetőséget arra, hogy



3. ábra • Sztereoszkóposan bemutatott ingerpárok. Mindkét pár rivalizál.

a kardosi kérdést feltegyük: lehetséges-e, hogy nem a két szem, hanem a két szemnek bemutatott tárgyak versengenek az agy által nekik tulajdonított helyért? Ezt a kérdést saját „kritikus kísérletünkben” (Kovács, Pápathomas, Yang és Fehér, 1996) úgy fogalmaztuk meg, hogy dekorreláltuk a szemek és a tárgyak közötti versengést az inger szintjén, és létrehoztuk az ún. sakktábla-ingert (a 3. ábra alsó képpárja ennek egy egyszerűsített változata). A sakktábla-inger esetén egyik szem sem lát koherens mintázatot. Ha a klasszikus inger körte az egyik szemnek, alma a másiknak, akkor a sakktábla-inger esetén mindkét szem körte- és almadarabokat lát, de egyik sem látja az egész körtét illetve egész almát a monokuláris képeken. Kísérleteink eredményei azt mutatják, hogy sztereoszkopikus bemutatás esetén az idő nagyobb részében az emberek ilyenkor is a teljes körte váltakozását látják a teljes almával (a 3. ábrán négy kereszt fog váltakozni négy csillaggal a sakktábla-inger esetén is). A teljes alma érzékletének valószínűsége ($p=0,6$) a

mérések szerint sokkal nagyobb, mint amit függetlenül alternáló sakktáblamezők véletlenszerű összeállása alapján elvárhatnánk (8 mező esetén $p=0,007$, 4 mező esetén $p=0,125$). Mit jelent a teljes alma látványa, vagy négy csillag szimultán megjelenése a sakktábla-inger esetén? Azt jelenti, hogy a szemek közötti rivalizáció nem kielégítő válasz, hiszen ha csak erről lenne szó, a monokuláris képek alapján csak körte-alma, illetve csillag és kereszt keverékeket láthatnánk. A sakktábla rivalizációs kísérletekből tehát kiderül, hogy koherens mintázatok versengenek egymással. Innen már csak egy lépés (bár ezt még nem tettük meg kísérleti szinten) annak bizonyítása, hogy a koherens mintázatok tulajdonképpen helyért versengő tárgyak.

A neurofiziológia tehát azt mutatja, hogy rivalizáció esetén nem alacsony, hanem magas szintű, de még perceptuális agyi területek hozzák meg a döntést. A pszichofizika pedig arra jut, hogy nem egyszerűen a két szem, hanem két, magasszintű koherenciával rendelkező mintázat verseng, tehát a dominanciára illetve elnyomásra vonatkozó döntésnek viszonylag magas perceptuális szinten kell megtörténnie. Ezt ma már fMRI eredmények emberben is igazolják (Tong, Nakayama, Vaughan, Kanwisher, 1998). Azt is tudjuk, hogy a magasabb szintű vizuális feldolgozást közvetítő agyi területek emberben viszonylag lassan érnek, s a fejlődés periódusa akár a kamaszkor végéig is eltarthat (Kovács 2000; Kovács, Kozma, Fehér, Benedek, 1999). Mit jelent ez a binokuláris rivalizálás ontogenetikus kialakulása szempontjából? Lehetséges, hogy egy olyan alapvető funkció, mint a két tárgy helyért való versenyben való döntés képessége csak később fejlődik ki? Meglepő módon a válasz igen! Vizuális kiváltott potenciál vizsgálatok azt mutatják, hogy bár tizenkét hónapos csecsemők binokuláris látása már majdnem felnőtt-szerű, binokuláris rivalizációra mégsem képe-

sek (Brown, Candy, Norcia, 1999). Hogy mit látnak az egyéves babák rivalizáló ingerek esetén? Ezt nem tudjuk, az agyi válaszok viszont arra utalnak, hogy nincs perceptuális alternálás. Saját kísérleteinkben 4–5 éves gyerekeket vizsgálunk, és azt találjuk, hogy nagy részük vagy egyáltalán nem alternál, vagy egy igen gyorsan villogó, kis foltokból összeálló mintázatot lát (ami talán a V1 binokuláris sejteinek tudható be), és csak nagyon kis százalékuk lát alternáló koherens mintázatot. Ez aztán a meglepő eredmény! Lehetőséges, hogy egy ötéves gyerek perceptuális rendszere még nem tudja azt, amit a gyerek maga már természetesen jól tud: két dolog nem lehet egyszerre ugyanazon a helyen. *Lehetséges, hogy az emberi egyedfejlődésben a fizika fordított utat jár be?* Először a magasabb szintű, de persze lassú kognitív rendszerek sajátítják el az alaptörvényeket, s a perceptuális rendszerbe csak ezután épül be a fizika? Az explicit tudás implicitté válik? Miért előnyös egyáltalán, ha az autonóm perceptuális rendszerbe beépülnek a fizika törvényei? Emlékezzünk, hogy a binokuláris rivalizáció mennyire autonóm folyamat. Nem lehet akaratlagosan befolyásolni az alternációt, sőt, tulajdonképpen arra sincs bizonyíték, hogy magasszintű szemantikus, vagy figyelmi befolyás alatt állna. Meglehetősen moduláris működésnek tűnik. Ennek pedig hatalmas előnye lehet, amennyiben egyszer megvalósul, és jól is működik. A beépülés *felgyorsítja a feldolgozást*, és leveszi a döntés terhét a kapacitáskorlátokkal küzdő, magasabb szintű kognitív rendszerekről.

Van-e példa hasonló, lassan kibontakozó ontogenetikus eseményekre? Eddig két pél-

dát találtunk. Az első Irving Rocktól származik, és a kétértelmű ábrák (például Necker kocka, kacsanyúl ábra) váltakozását vizsgálja 3-4 éves gyerekeknél. Úgy tűnik, hogy a korai fejlődési stádium itt is az alternáció hiánya (Rock, Gopnik és Hall, 1994). A másik példa saját kísérleteinkből származik, ahol geometriai vizuális illúziókat mutattunk gyerekeknek, és mértük az illúzió nagyságát. 4-5 éves gyerekeknél előfordul az illúzió teljes hiánya, s átlagban sokkal kisebb illúziót tapasztaltunk, mint felnőtteknél (Káldy és Kovács, 2000; Kovács, 2000). A geometriai illúziók magyarázata általában tartalmazza dolgok fizikai tulajdonságaira, például méretére vonatkozó tudásunkat, így ez a példa is szorosan ide kapcsolódik. Ha azonban jobban belegondolunk, rá kell jöjjünk, hogy sem a rivalizáció, sem az illúziók nem független, speciális jelenségek, csupán a valóság kihegyezett mozzanatait mutatják be, teszik jobban elemezhetővé. A perceptuális rendszernek minden pillanatban ilyen rivalizációkkal és illúziókkal kell megküzdenie.

Hogyan kapcsolódik az emberi egyedfejlődésben megmutatkozó tendencia Kardos útvesztőkísérleteihez? Az első választ már tudjuk, a háromdimenziós világról való tudás feltételezésén keresztül. Végül is minden faj egyedeinek el kell döntenie, hogy melyik objektum felé fusson/nyúljon, ha a perceptuális rendszer kétértelmű információt kap, és egyszerre két dolog tűnik fel ugyanott. A második választ akkor fogjuk megtudni, ha meglesz a pontos összehasonlítás a patkány és az ember látórendszere között, és képesek leszünk felmérni a binokuláris rivalizáció filogenetikus útját.