

MAGYAR KÉPZŐMŰVÉSZETI EGYETEM DOKTORI ISKOLA

A MÉLYSÉG EGY MÁSIK SZÉLESSÉG

A LÁTVÁNY MODELLJEI

ZALAVÁRI ANDRÁS

2023

TÉMAVEZETŐK

PROF. EMERITA MAURER DÓRA

DR. HABIL SZEGEDY-MASZÁK ZOLTÁN

KÜLSŐ KONZULENS

ARATÓ JÓZSEF PHD

Tartalomjegyzék

| | |
|---|-----------|
| 1. Bevezető | 1 |
| 1.1. Mi a látvány? | 1 |
| 1.2. Művészként | 4 |
| 2. A színekről | 7 |
| 2.1. A lila és a metamerizmus | 7 |
| 2.2. A fény | 8 |
| 2.3. A retina | 13 |
| 2.4. A fény és az anyag szabályai | 16 |
| 2.5. Ellenszínelmélet | 18 |
| 2.6. A színterek geometriája | 23 |
| 3. A világ fejjel lefelé | 31 |
| 3.1. Képek az agyban | 33 |
| 3.2. Képek az elmében | 37 |
| 4. Az elme mentális ábrázolásai | 41 |
| 4.1. Vizuális nyomok | 42 |
| 4.2. David Marr: a látás három szintű leírása | 43 |
| 4.3. A látvány formái | 46 |

| | |
|---|-----------|
| 4.4. Az első vázlat | 47 |
| 4.5. A 2 és ½ dimenziós vázlat | 48 |
| 4.6. A tárgyak térbeli formája | 54 |
| 4.7. A tér ökológiai modellje | 58 |
| 5. A látvány mint hipotézis | 67 |
| 5.1. A velünk született vizuális rendszer prekonceptiói | 69 |
| 5.2. A tudás hatása a látványra | 72 |
| 5.3. A szándék hatása a látványra | 78 |
| 6. A látvány mint tanulás, tapasztalat és megfigyelés | 81 |
| 6.1. A látás fejlődése | 81 |
| 6.2. Az észlelés és a tapasztalat | 85 |
| 6.3. A világ újra fejjel lefelé | 86 |
| 6.4. Oliver Sacks és a felnőttkori tanulás | 88 |
| 6.5. A perceptuális tanulás | 90 |
| 7. A látvány formája és szabályai | 95 |
| Köszönetnyilvánítás | 97 |
| Irodalomjegyzék | 99 |

Csehov szövege álljon itt, a „bárdolatlan elme” hétköznapi megfigyeléseinek és a tudomány száraz tényeinek találkozásaként:

Noha bárdolatlan elme vagyok, öreg földesúr, de azért sokat foglalkozom a tudománnyal és felfedezésekkel amelyeket saját kezűleg eszközlök és imigyen megtöltöm botor fejemet, oktondi koponyámat a legmagasabb tudományok eszméivel és komplexumai-val.

Édesanyánk, a természet olyan könyv, amelyet szüntelenül forgatnunk és olvasnunk kell. Jómagam sok felfedezést tettem a magam eszével, amely felfedezéseket még soha, semmilyen reformátor még fel nem talált. Dicsekvés nélkül állíthatom, hogy műveltség tekintetében nem állok az utolsók között. Amely műveltséget kérges tenyerem munkájával szereztem, nem pedig szüleim, vagyis apám, anyám illetve gyámjaim gazdagsága révén, akik gyakorta döntik pusztulásba gyermekeiket gazdagságukkal, fényűzésükkel és öt emeletes lakóházaikkal amelyekben nyüzsög a szolgaszemélyzet és berreg a villanycsengő.

Íme, amit útszéli elmém felfedezett.

Felfedeztem, hogy ami hatalmas tüzes és sugárzó köpönyegünk, a nap egyszer évente kora reggel érdekesen és festőien különféle sokszínű színekben játszik, és csodálatos csillogásával játékos benyomást kelt.

Másik felfedezésem: Miért rövid télen a nappal és hosszú az éjszaka, míg nyáron fordítva történik? A nappal télen azért rövid, mert mint minden más látható és láthatatlan tárgy a hidegben összezsugorodik, valamint azért is, mert a nap korán nyugszik, az éjszaka pedig a meggyújtott lámpásoktól és mécsesektől kitágul mivel felmelegszik.

Felfedeztem továbbá még, hogy a kutya legeli a tavaszi füvet, miként a juh és a kávé ártalmas a bővérű emberekre nézve, mert a fejben szédülést okoz, a szemben zavaros látást és még több efféjét. Sok felfedezést tettem még ezeken kívül is, noha nem rendelkezem ezek felől bizonyítékokkal és tanúsítványokkal. Látogasson el hozzám szomszéd uracskám, felfedezünk majd valamit együtt, beszélgetünk az irodalomról és majd megtanít engem, műveletlen pogányt mindenféle kiszámításra.

—Csehov, Levél tudós szomszédomhoz¹

1. Anton Pavlovics Csehov, „Levél tudós szomszédomhoz”, *Drámák és elbeszélések*, szerk. Devecseriné. Guthi Erzsébet, ford. Klára Szöllősy (Budapest: Fekete Sas, 2001), 315–318. oldal.

1. Bevezető

1.1. Mi a látvány?

A látványra rákérdezni közel sem olyan magától értetődő, hiszen végtelenül evidens, mindig ott van a szemünk előtt.

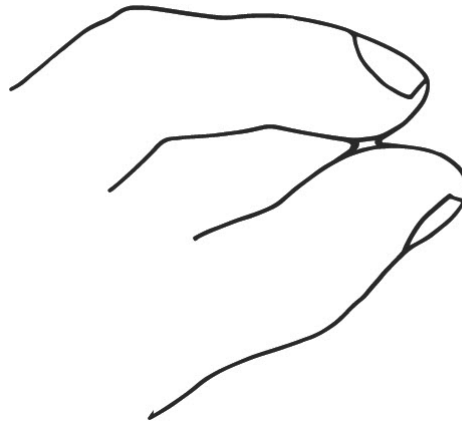
A dolgoknak azokat az aspektusait, amelyek a legfontosabbak a számunkra, egyszerűségük és mindennapiságuk rejti el előlünk. (Nem lehet észrevenni - mivel folyton szem előtt van.) Kutatásának tulajdonképpeni alapjai egyáltalán nem tűnnek fel az embernek. Ha csak ez nem tűnt fel egyszer neki. - És ez azt jelenti: az nem ötlük a szemünkbe, ami, ha egyszer észrevettük, a legszembeötlőbb és a legerősebb.¹

A látvány az én megközelítésemben nem pusztán egy kép. A látvány egy olyan jelenség, ami a külvilágból ered és az elmében a néző hozza létre. Része a figyelem. Bizonyos esetekben a pillanatnál tágabb időt foglal magába. Szintén a látvány része a mozgás. Szerintem a látvány része, hogy a dolgok le akarnak esni.² Sőt, talán az is, hogy a tárgyakkal mit lehet csinálni.

1. Ludwig Wittgenstein, *Filozófiai vizsgálódások*, ford. Neumer Katalin (Budapest: Atlantisz, 1992), 183. oldal.

2. A fizikával ellentétben nincs az az érzésem, hogy egy tárgynak van sebessége és gyorsulása. Hogy a tömege és a súlya különböző tulajdonsága lenne. Hogy az ereje nem ugyanaz, mint a mérete. Nincs az az érzésem, hogy ha valamit meglökünk, az mozgásban marad. A képzelet fizikája szerint, ha leejtek egy madártollat és egy vasgolyót, azok nem egyszerre esnek le. Ha meglökök egy golyót hamar meg fog állni - nem a súrlódása miatt,

A látványnak részei lehetnek bizonyos mintázatok, matematikailag leírható szabályszerűségek, mint a fraktálok, vagy akár egészen egyszerű ad-hoc modellek, ismétlődő jelenségek; például, hogy a víz felveszi a pohár formáját, a hullám megtörik és habzik, a szögletes élek mindig megcsillannak, a parton párhuzamos sorokban gyűlik az uszadékfa, ha lassan összeérintem az ujjaimat, az árnyékuk hamarabb találkoznak, mint maguk az ujjaim.



1.1. ábra. „Ha lassan egymás felé közelítem a két ujjam, a sziluettjük előbb ér össze, minthogy ténylegesen megérintenék egymást.”³

A látvány részei lehetnek az *anyag* tulajdonságai is: merev, kemény vagy puha, masszív vagy törékeny, éles és szúrós stb. A látvány része lehet bizonyos primér események jóslata.⁴ Például, hogy egy labda merre repül, de

egyszerűen csak megáll. A lassú mozgásnak súlya van. A képzelt, belső fizika szabályai nem felelnek meg a tudománynak. Mégis, mintha lenne egy belső fizika, egy egyszerű, hétköznapi fizika, ami, ha nem is hibátlan, mégis ritkán téved.

3. Fusz Máttyás, Kristóf Krisztián, és Zalavári András, A madarak tapsolnak, amikor felszállnak (Kisterem, 2021), ábr. 55.

4. Németh Dezső tanulmánya azzal foglalkozik, hogy valójában az, amit érzékelünk nem a külvilág, hanem annak a jövője, egy jóslat. „Jelenlegi tudásunk szerint [az agy] fő funkciója az, hogy megpróbálja »bejósolni« a jövőt. A kutatócsoportunkkal mi ezt a bejósoló tevékenységet próbáljuk felfejteni, vagyis azt, hogy az agy hogyan próbálja a világot megérteni, abban mintázatokat találni, erre modelleket felállítani, majd előre jelezni a jövőt.”

akár az is, ahová repül.⁵

Valójában ezt látjuk és nem a „valóságot”, ezt is vizsgáljuk (mármint mindenki), a látvány a vizsgálattal szimbiózisban van. Lényegében ez az észlelet.

A jelenség tapasztalatát a fenomenológiában *kválénak* (angolul: quale, többesszáma qualia) hívják. A látvány nem a fotonokból, de nem is a neurobiológiai algoritmusokból áll. A látvány épp annyi, amit észlelünk, se több, se kevesebb. A látvány modelljei, ha úgy tetszik, a *kváliák optikája*.

* * *

Ha a tárgyi világ hasonmása az elmében jön létre és minden, amit észlelek a fejemben helyezkedik el, akkor mégis hogyan látom őket odakint? Max Velmans erre a kérdésre végtelenül egyszerű megoldást kínál: az elme által felépített reprezentációt visszavetíti a külvilágra.⁶ Velmans, Alfred North

Zsuzsanna Balázs és Nóra Radó, „Látja-e a jövőt az agyunk?”, Qubit, 2022. július 18., 13:30+02:00, <https://qubit.hu/2022/07/18/latja-e-a-jovot-az-agyunk>; %20https://www.youtube.com/watch?v=ir0jG_vEqYQ

5. Pylyshyn hasonló példával él, amikor az agy vizuális képességeit sorolja: „Indeed, we can often predict with considerable accuracy where the ball will land (certainly a properly situated professional fielder can). It is very often the case that by visualizing a certain situation, we can predict the dynamics of physical processes that are beyond our ability to solve analytically.” Zenon W. Pylyshyn, „Mental Imagery: In Search of a Theory”, *Behavioral and Brain Sciences* 25, szám 2 (2002. április): 157–182. oldal, <https://doi.org/10.1017/S0140525X02000043>

6. Max Velmans, „Dualism, Reductionism, and Reflexive Monism”, *The Blackwell Companion to Consciousness*, 1. kiadás, szerk. Susan Schneider és Max Velmans (Wiley, 2017. április 12.), 349–362. oldal, <https://doi.org/10.1002/9781119132363.ch25>.

Whitehead angol filozófus szemléletes példáját idézi:

Az érzékek az elme által vetülnek a térbe, ami lepelként fedi a külvilágot. Emiatt a testeket olyan tulajdonságokkal rendelkezőnek érzékeljük, amelyek pusztán az elme szülöttei. Így a természet olyan elismerést kap, amely valójában minket illet.⁷

Ha olyan formák után kutatok, amik az elmében jönnek létre, jogosan merül fel a kérdés, hogy az **milyen kapcsolatban van a fizikai világgal?**

Maurice Merleau-Ponty talán a következőképpen válaszolna:

A látó - a látvány teljes részeként - a látványban önmagát is látja: íme a látás alapvető nárcisztikus természete. A látványt pedig legalább annyira elszenvedjük a látható dolgoktól, mint amennyire létrehozuk, és rájuk kényszerítjük.⁸

Természetesen nem állítom, hogy a látvány csupán egy talajt vesztett képzelődés lenne, de egészen más szabályrendszerek uralják az észlelt-, és a fizikai világot. Dolgozatom célja éppen ilyen szabályrendszerek felkutatása.

1.2. Művészként

Művészként a tér legkülönfélébb ábrázolási lehetőségei foglalkoztatnak. Azzal kísérletezem, hogy veszek egy egyszerű elméletet és az alapján ábrázolom a teret. De nem úgy, mintha látvány után festenek és addig igazítanám a kép elemeit míg a szememnek meg nem felel, hanem olyan eszközökkel

7. Saját fordítás, Alfred North Whitehead, *Science and the Modern World* (Cambridge: Cambridge University Press, 1932), 54. oldal, idézi Max Velmans, *Understanding Consciousness*, 2nd ed (London: Routledge, 2009), 131. oldal

8. Maurice Merleau-Ponty, „Az egymásba fonódás - A kiazmus”, *A látható és a láthatatlan* (L'Harmattan, 2006), 148–176. oldal.

kísérlem meg ábrázolni a látványt, melyek szisztematikusan egy bizonyos szerkesztési elvet követnek. Arra vagyok kíváncsi, hogy az adott algoritmus miként érzékelné/ábrázolná a külvilágot.

A tér a tárgyi világ rendező elve és mint ilyen, a tér leképezési formái a tárgyi világ reprezentációi. Az elv, ahogy a teret ábrázolom, minden esetben jelentést hordoz.

Doktori tanulmányaim alatt olyan szabályszerűségek felé fordultam, amelyek a hétköznapokban már-már evidensek. Például, hogy minél messzebb van valami, annál kisebbnek tűnik.

Kutatásom során arra keresek választ, hogy az elmében kialakulnak-e a külvilág fenti evidenciáihoz hasonló elven alapuló reprezentációk? Hogyan jönnek létre? És legfőképpen, hogy milyen formájuk van? Lehet-e ezeket ábrázolni és ha igen, vajon rájuk ismerem-e majd? Ha komolyan veszünk egy kognitív modellt, vajon milyennek mutatná (ábrázolná) a világot?

Emiatt fordultam a látás és az agykutatás felé. Olyan képek után kutatok, amelyek az elmében jönnek létre és a tér rendező elvének szabályszerűségeit írják le.

Elképzelésem szerint az elmében kialakuló reprezentációs formák és szabályszerűségeik összessége az, amit látunk. Az elmében létrejövő formák és szabályszerűségeik az én megközelítségemben nem mások, mint maga a látvány, illetve a látvány modelljei. **A látás az elme kísérlete a tárgyi valóság szisztematikusan rendszerben való hipotetikus ábrázolására.**

Olyan modellek után kutatok, amik nem a fizika, nem is az agy, hanem az észlelt világ, a látvány formáját és szabályszerűségeit írják le.

2. A színekről

2.1. A lila és a metamerizmus

Amikor gyerek voltam, sokszor nagyon közlről néztem a televíziót. Volt, hogy annyira közlről, hogy észrevettem a kis villogó téglalapokat. Nem értettem pontosan mit csinálnak, és megkérdeztem a szüleimet, akik megpróbálták elmagyarázni.

A TV vibráló téglalapjaiból korántsem volt egyértelmű, hiszen csak akkor látszana tisztán, hogy piros, zöld és kék kis lámpák villognak, ha éppen „fehér” lenne a TV képe. Akkoriban teljesen felzaklatott, hogy hogyan is működik a gyakorlatban a színkeverés.

A színeket gyerekként a tárgyak tulajdonságainak tekintettem. Számomra a három alapszínen túl létezett a sárga, bordó, türkiz, lila, rózsaszín, a fekete, fehér, szürke és az akkor még megnevezhetetlen színek teljes skálája. A négyéves kislányomnak például a „labdaszín” a világos sárgás-zöldet jelentette, amikor éppen meglátott egy sárgás-zöldes labdát.

A TV természetesen a látásunk sajátosságait aknázza ki. Köztudott, hogy három alapszínből ki lehet keverni a többi színt. A fény szempontjából a keverés félrevezető. Valójában csak egymás mellé kerülnek, mint a homokszemek a parton, és nem csak a TV-nél, a nyomtatásnál vagy a pointilistáknál. A

fény sosem keveredik úgy ahogy a színek.

2.2. A fény

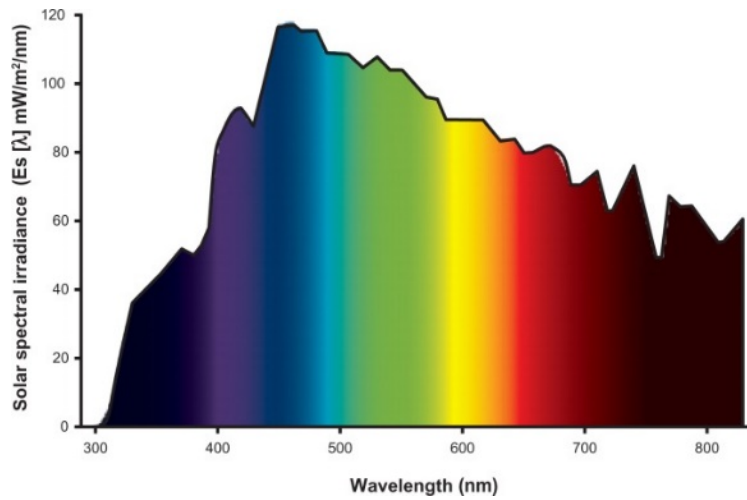
Egy égő test, mint például a nap, frekvenciák széles skáláján rezgő elektromágneses hullámokat sugároz. Ezek a hullámok nem keverednek olyan módon, mint a festék vagy a szín, ellenben megférnek egymás mellett.

A különböző frekvencián kibocsátott fotonok mennyisége a benne égő anyagok függvénye. Ennek a mintázata minden molekulánál egyedi, mint egy ujjlenyomat. Az ujjlenyomatok mintázatából kikövetkeztethető, hogy milyen molekulák alkotják az égő testet. A csillagászok többek között ebből az információból tudnak következtetni a nap vagy a távoli csillagok összetételére.¹

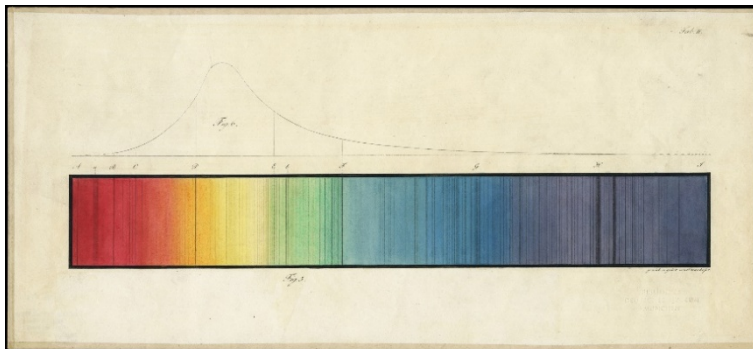
A nap például a látható fény tartományán belül viszonylag egyenletes eloszlással bocsát ki fotonokat, de azért vannak benne kisebb eltérések. Fraunhofer 1802-ben fedezte fel, hogy ha a napfényt egy prizma vagy egy kis rés segítségével összetevőire bontja, akkor a falon keletkező szivárványban megjelennek kisebb sötét és világos vonalak.² A nap színekében megjelenő sötét és világos vonalak mintázata például héliumra és hidrogénre utalnak.

1. Az alábbi, angol nyelvű weboldalon és a Szegedi Tudományegyetem oldalán fellelhető magyar cikkben a szerzők részletesen kifejtik, hogy pontosan miként lehet a csillagokból érkező fény hullámképéből következtetni az őket alkot elemekre. Michael Richmond, „How Do We Know the Composition of Stars?“, 2006, http://spiff.rit.edu/richmond/asras/chemcomp_i/chemcomp_i.html; József Vinkó és mások, „A csillagok színeképe”, SzTE Csillagászat, 1998, <http://astro.u-szeged.hu/spectra/spektr5.html>

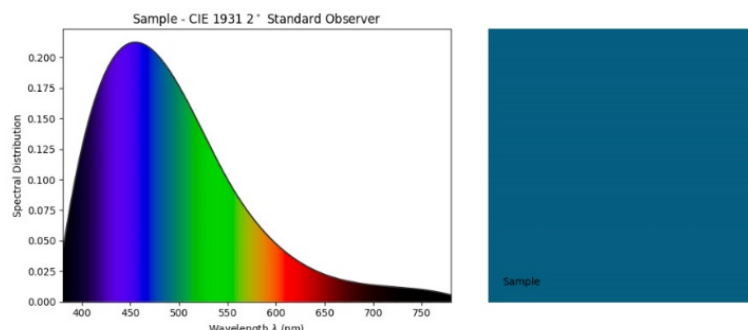
2. A napfényt egy egyszerű prizma vagy egy rés segítségével összetevőire lehet bontani, aminek segítségével akár saját spektrográf is készíthető. Ezen a szivárványon szabad szemmel is jól kivehető sötét és világos vonalak láthatóak. A vonalak felfedezése a német Joseph von Fraunhofer nevéhez fűződik, aki először 1802-ben tett említést róluk. A vonalak szoros összefüggésben vannak az égő anyag minőségével. https://en.wikipedia.org/wiki/Fraunhofer_lines



2.1. ábra. A nap teljesítményspektrum-eloszlási görbéje, a látható fénytartományban.



2.2. ábra. Fraunhofer-féle vonalak a Nap színeképeben. A sötét és világos vonalakból, a napban égő anyagokra lehet következtetni. Fraunhofer 1825-ben saját kezűleg készített illusztrációja.³



2.3. ábra. Egy kék szín egyenletes fényvisszaverődési görbéje.⁴

Nemcsak az égő testnek van rá jellemző láthatósági görbéje, hanem **az anyagnak is van rá jellemző fényvisszaverődési görbéje** (reflectance curve). Egy kék tárgy visszaverődési görbéje olyan, ahol a rövidebb hullámhosszon rezgő fotonok dominálnak. Ezt ne tévesszük össze azzal, mintha csak egy adott frekvenciájú fotonok verődnének vissza. Mint látható, más frekvenciájú fotonok is visszaverődhetnek a kék színű felületről, csak kisebb mennyiségben.

Összességében a tárgyról visszaverődő fény a fényforrás jellemző spektrális teljesítményeloszlásának és a tárgy visszaverődési görbéinek a közös nevezője.

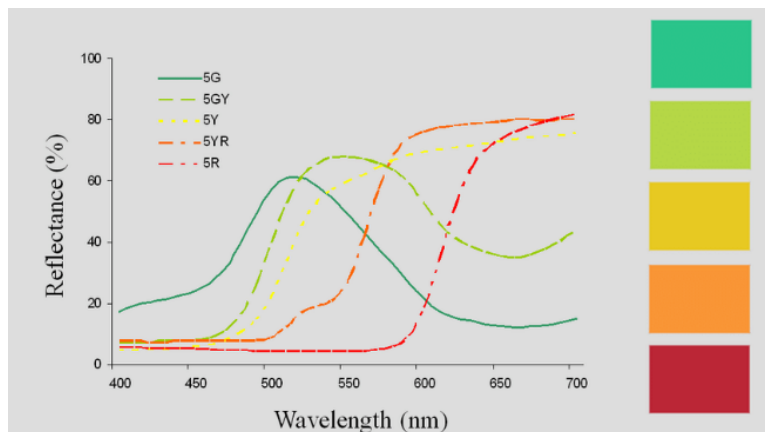
Fraunhoferhez hasonlóan egy egyszerű prizmával bármilyen fényforrást szétválaszthatunk összetevőire és szabad szemmel is megvizsgálhatjuk, hogy a különböző anyagok milyen egyedi lenyomattal rendelkeznek.⁶

3. Az eredeti festmény megtalálható a Deutsches Museum gyűjteményében, és elérhető a weboldalon: <https://blog.deutsches-museum.de/2019/02/20/brechung-und-berechnung-joseph-fraunhofer-und-das-spektrum-der-sonne>

4. Az eredeti festmény megtalálható a Deutsches Museum gyűjteményében, és elérhető a weboldalon: <https://blog.deutsches-museum.de/2019/02/20/brechung-und-berechnung-joseph-fraunhofer-und-das-spektrum-der-sonne>

5. Az illusztráció forrása: Robert Hirschler, „Electronic colour communication in the textile and apparel industry”, *Redige* 1 (2010. január).

6. A Harvard Natural Sciences Lecture Demonstrations YouTube csatornáján, kí-



2.4. ábra. Az egyik legszélesebb körben használt színrendszer, a Munsell-színskála néhány mintájának spektrális visszaverődési jellemzői.⁵

A fény sugárzási teljesítményének spektrális eloszlása vagy a tárgyak visszaverődési görbéje nem feltétlenül egyenletes és jellemzően nem monokromatikus, mivel a molekulákra jellemző „ujjlenyomat” sem az. Ha a retinára érkező információt teljes valójában észlelhettünk, akkor hasonlóan a csillagászokhoz⁷, nem színeket látnánk, hanem meg tudnánk különböztetni a legkülönbözőbb anyagokat. Például Vincent van Gogh képein nem csak a ki-kevert színeket, hanem a pigmenteket is, amiből színeket kevert.⁸ A szemünk erre nem igazán képes.

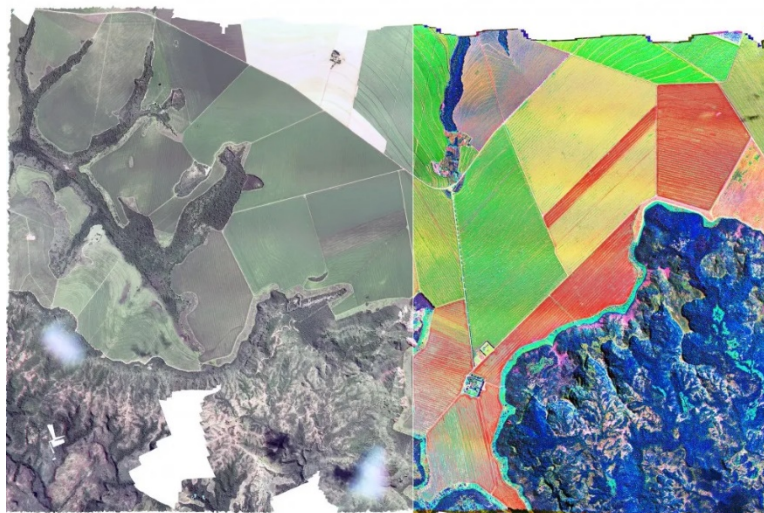
sérletekben mutatják be a különböző égő anyagok fényének spektrális összetételét: <https://youtu.be/cBGTskrLn18>

7. hyperspectral imaging: <https://www.sbg-systems.com/case-studies/ellipse-ins-embedded-in-airborne-hyperspectral-imaging-systems/>

8. John Delaney és mtsai., „Multispectral Imaging of Paintings in the Infrared to Detect and Map Blue Pigments”, *Scientific Examination of Art: Modern Techniques in Conservation and Analysis*, 2005. január, 120–36.



2.5. ábra. A multispektrális felvételen Van-Gogh La Mousmé című festményén Delaney és munkatársai a különböző pigmentek pontos elhelyezkedését vizsgálta. A kép világos részei a poroszkék valószínűsíthető koncentrációját mutatja.



2.6. ábra. Hiperspektrális felvétel egy földművelési területről. A felvétel nem csupán három, hanem több tucat különböző frekvenciatartományt képes rögzíteni. Így tudnak a felvételeken különbséget tenni a legkülönbözőbb anyagok között.⁹

2.3. A retina

Az elektromágneses spektrum látható tartománya valahol a 400 és 700 nanométeres hullámhossz között helyezkedik el, de nem csak ez a szűk információs keresztmetszet.

Isaac Newton a 17. század végén mutatta be, hogy a fehér fényt prizmákkal szét lehet bontani, majd újra lehet egyesíteni az összetevőiből. Newton (ahogy akkoriban mások is) a színeket hagyományosan a fizika tulajdonságának tekintette és feltételezte, hogy nem kevesebb, mint hét különböző színből áll.¹⁰

Thomas Young 1801-ben végezte el a híres kétrés kísérletét. A két vékony résen áthaladó fény interferenciáját csak a fény hullámtermészetével lehetett magyarázni. Ezzel bizonyította be, hogy a fény nem három vagy hét különböző szín, hanem végtelen számú hullámok összessége.¹¹

Young szerint lehetetlen, hogy a retina minden frekvenciát meg tudjon különböztetni. Ő vetette fel, hogy a fény teljes spektrumával szemben csak háromféle receptor van az emberi szemben, melyek egyenként a rövid, a közép és a hosszú hullámhosszra érzékenyek. Ráadásul a receptorok nem kizárólag egy-egy hullámhosszra érzékenyek, hanem a látható fény széles tartománya is működésbe hozhatja őket.¹²

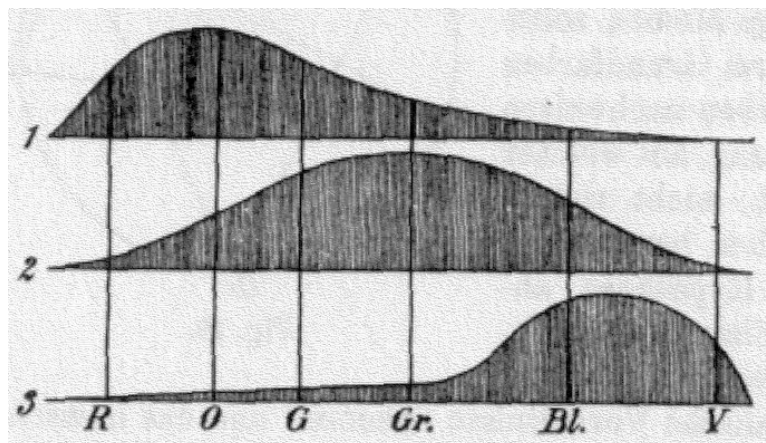
Például a hosszú hullámhosszra érzékeny receptorok elsősorban a hosszú

10. Shakuntala Balaraman, „Color Vision Research and Trichromatic Theory: A Historical Review.”, *Psychological Bulletin* 59, szám 5 (1962. szeptember): 435. oldal, <https://doi.org/10.1037/h0042588>; Nicholas J. Wade, *A Natural History of Vision*, 2nd print (Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1999).

11. Balaraman, „Color Vision Research and Trichromatic Theory”, 435. oldal.

12. Balaraman, 435. oldal.

13. wikimedia: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:YoungHelm.jpg>



2.7. ábra. Thomas Young és Hermann von Helmholtz által feltételezett viszony a rövid (ibolya), közép (zöld) és hosszú (vörös) hullámhosszú receptorok aktivitása és a spektrum színei között.¹³

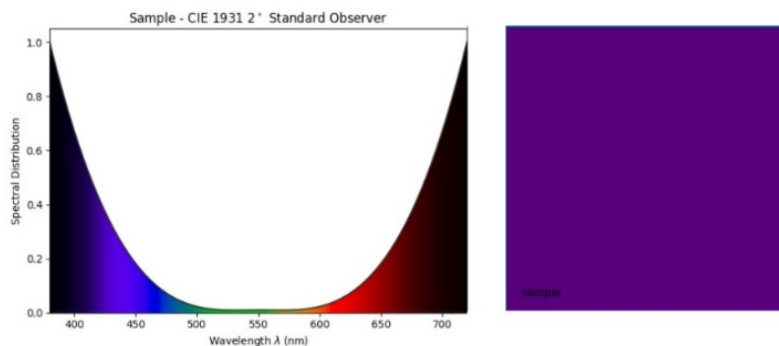
hullámhosszú fényre reagálnak, de valamivel kevésbé érzékenyek a közép, és egy kis mértékben a rövid hullámhosszú fényre is. Ami azt illeti, mindhárom receptor a látható fény szinte teljes tartományára reagál, csak más-más intenzitással.¹⁴

A színek keveredése (Young szerint) épp amiatt lehetséges, mert egy bizonyos hullámhosszú fényre különböző mértékben, de több receptor is reagál. 50 évvel később Hermann von Helmholtz mutatta be, hogy valóban legalább három jól meghatározott színű fényforrásra van szükség ahhoz, hogy a látható színek széles skáláját ki lehessen keverni. (Ezek szerinte az ibolya, a zöld és a vörös alapszínek voltak.)¹⁵

Hogy végül milyen szint érzékelünk, a receptorok fényre adott válaszától függ, ami a retinára érkező fény spektrális jellemzője, illetve a receptorok

14. John P. Frisby és James V. Stone, *Seeing: The Computational Approach to Biological Vision*, 2nd ed (Cambridge, Mass: MIT Press, 2010), 406. oldal.

15. Habár az elméletet Young-Helmholtz trikromatikus elméletének hívják, matematikai bizonyítékot James Clerk Maxwell adott a spektrum hullámhossz eloszlása és az észlelt színek kapcsolatára.



2.8. ábra. A lila szín egy lehetséges fényvisszaverődési görbéje.

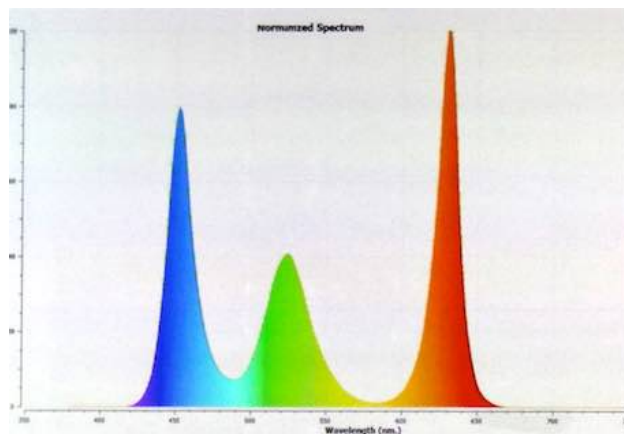
válaszgörbéjének átfedése határozza meg. Így alakul át és redukálódik a fény lineáris skálája a háromféle receptor válaszreakcióinak intenzitására, az úgynevezett tristimulus értékekre.

A spektrum színeit akár egy bizonyos hullámhosszú (**monokromatikus**) fényel is meg lehet jeleníteni, hiszen reagálnak rá a receptorok. A lila szín abból a szempontból különleges, hogy megjelenítéséhez legalább két, a látható fény határán található frekvencia szükséges. A lila rávilágít, hogy természetes körülmények között a színek valójában nem egy, a prizmával szétválasztott **monokromatikus** fény eredményei, hanem sok frekvencia együttes hatása (összetett, polikromatikus fény).

A nap a látható spektrum teljes területét lefedi, de a mesterséges TV képernyője és a LED izzók a spektrum nagy részét nem sugározzák. A monitorok fénykibocsátásának teljesítménygörbéje csupán három szűk szakaszra korlátozódik, de olyan szakaszokra, amire a receptorok érzékenyek.

Ezzel, habár az észlelhető színek egy részét képesek megjeleníteni, a látható spektrum lehetséges fényjelenségeit nem tudják reprodukálni. A TV képernyője csak az emberi látáshoz igazodik.¹⁶

16. Érdekes összehasonlítani a hang és a fény érzékelését (ahogy Hubel ezt meg is teszi),



2.9. ábra. RGB LED televízió spektrális eloszlása.

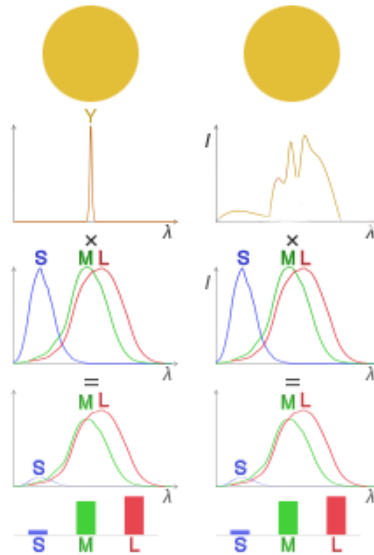
2.4. A fény és az anyag szabályai

A fény sajátosságaiból le lehet szűrni, hogy milyen színt fogunk látni, de egy színből csak találgatni tudunk, hogy milyen fizikai jelenség hatására jött létre.

Három azonos tristimulus értéket különböző spektrális eloszlás is eredményezhet. Az olyan anyagokat, amelyeknek különbözik a spektrális eloszlásuk, mégis azonos értékeket eredményeznek - ebből adódóan azonosnak is érzékelünk - metamereknek hívják.

Nem is olyan nehéz találni két, vagy akár több egymástól teljesen eltérő spektrális eloszlású fényjelenséget, aminek a fizikai tulajdonságai merőben eltérnek, a retinán mégis ugyanazt a hatást váltják ki.

mivel mindkettő különböző frekvenciájú hullámok összessége. Míg a szemben csak három típusú érzékelő van, a fülben több ezer kissé különböző hangmagasságra hangolt kis receptor található. Emiatt nem is lehetséges például három „alaphangból” létrehozni a többi hangot. A fény esetében (hasonlóan a hangokhoz) nem lehetséges a keverés, csak a színeknél, mivel úgysem észleljük a különbséget. Ahogy három hangból sem lehet kikeverni minden más hangot, úgy a fény jelenségeit sem lehet 3 hullámhosszból létrehozni. David H. Hubel, *Eye, Brain, and Vision*, Scientific American Library Series, no. 22 (New York: Scientific American Library : Distributed by W.H. Freeman, 1988), 191. oldal



2.10. ábra. Két olyan különböző spektrumeloszlással rendelkező anyag, amelyeknek azonosak a receptorok által észlelt értékei, ezért azonosnak is érzékeljük. A bal oldali egyetlen tiszta monokromatikus fény és a jobb oldali összetett fény eredményét is ugyanannak a sárga színnek érzékeljük.

Gyakori jelenség, hogy egy adott világításnál két anyag azonos színű, míg más világításban különböznek. A jelenség oda vezethető vissza, hogy a két anyagnak valójában különbözőek a spektrális jellemzői, de adott fényviszonyok között a róluk visszaverődő fény mégis azonos hatással aktiválja a receptorokat. Emiatt például míg a napfény alatt a tárgyról visszaverődő fényre azonos módon reagálnak a receptorok, addig egy más fényforrás alatt különbözően.

A legtöbb színárnyalat megfeleltethető a spektrális eloszlás domináns frekvenciájának és meg lehet jeleníteni egy szűk eloszlású monokromatikus fényvel is. Mivel a receptorok reagálnak a távolabb eső hullámhosszokra is, ezért ugyanaz a szín egyaránt megjeleníthető két másik, távolabb eső frekvenciával, sőt, sok más összetett fény segítségével is. Amennyiben a receptorok a

két jelenségre azonos intenzitással reagálnak, akkor az észlelésünk értelemszerűen nem tud köztük különbséget tenni. Ahogy a színtévesztők gyakran nem tudnak különbséget tenni például a piros és a zöld között¹⁷, a mi szemünk sem képes észrevenni a különbséget minden fényjelenség spektrális összetétele között. Ha úgy tetszik, mindnyájan fénytévesztők vagyunk. A színek nem tartalmaznak minden információt a fény jellegéről. Nem pusztán néhány dolog hiányzik belőle, hanem a fény és a szín minősége eltérő, ezáltal a logikája és a szabályai is különböznek.

A színek keverése hasonló nehézségekbe ütközik. Nem véletlen, hogy a festékkeverés sok tapasztalatot igényel.¹⁸ Annak ellenére, hogy két festék azonos színű, ha más fényvisszaverődési tulajdonságokkal rendelkeznek, akkor a színkeverésben is másként fog viselkedni. Elméletben akár olyan eset is előfordulhat, hogy egy sárga és narancs festék keveréke zöldet eredményezzen.¹⁹

2.5. Ellenszínelmélet

Ewald Hering pszichológusként elsősorban a szubjektív észlelésből indul ki és hétköznapi megfigyeléseire nem talált választ Young-Helmholtz trikroma-

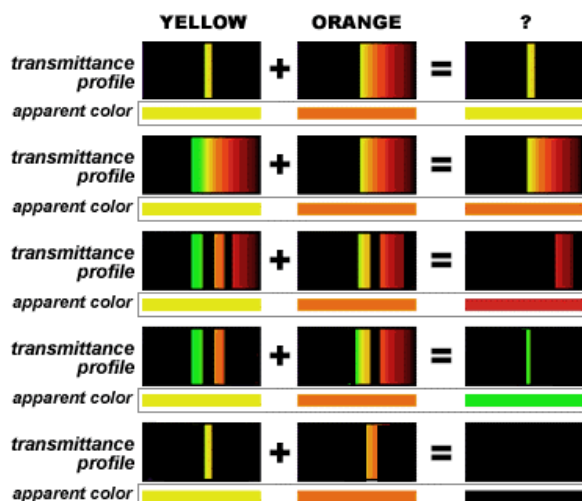
17. A férfiak 8%-a valóban színvak. Szemükben a szín érzékelésére szolgáló három csap közül csak kettő működik megfelelően. Ami számunkra két különböző szín, az számunkra teljesen ugyanúgy néz ki. A nők 12%-ának szemében van egy negyedik csap is, bár csak egy ilyen esetet vizsgáltak meg szisztematikusan (egy festőt). Ő négy szín keveréként érzékeli a világot. Emiatt az átlagember számára megkülönböztethetetlen anyagok számára nagyon is különbözőek. A galambok retináján 5 színérzékelő receptor található. Ha az idegrendszerük feldolgozza az információt, akkor 5 dimenziós színtérben érzékelik a felületek „színeit”.

18. Maurer Dóra, elmondása alapján (2021) a különböző átfedésben lévő felületeket nem a fizika és nem is matematikai szabályok szerint festi, hanem „ránézésre”.

19. A festékkeverés elméleti és gyakorlati eseteiről: Bruce MacEvoy, „Handprint: color theory”, Handprint, 2009, fej. Modern Color Theory (concepts)/Material Color Mixture in Paints, <https://www.handprint.com/HP/WCL/wcolor.html>.



2.11. ábra. Két textil, különböző megvilágításban. A látszólag hasonló színű textilek más megvilágítás alatt egyáltalán nem hasonlítanak egymásra.



2.12. ábra. Különböző fényáteresztő profilú, sárga és narancs fóliák lehetséges színkeverékei.

tikus elméletben. Egyrészt Hering nem elégedett meg a Helmholtz által javasolt három alapszínnel, mert számára hiányzott belőle a sárga. Szerinte az ibolyához, a zöldhöz és a vöröshöz hasonlóan a sárga is „tisztá” szín és kitüntetett szerepe kell, hogy legyen. Másrészt Heringben felmerült az a nem is annyira triviális kérdés: miért nem látunk bizonyos színkeverékeket. Ha a sárgás-zöld, sárgás-piros és a kékes-piros is látható, akkor miért nem létezik sárgás-kék vagy pirosas-zöld szín? Sőt, el sem tudjuk őket képzelni.²⁰

Hering ebből a mondhatni hétköznapi megfigyelésből jutott arra a következtetésre, hogy nem három színt érzékelünk, ahogy Helmholtz és Young állította. Helyette négy alapszínt különböztetett meg: a kéket, a pirosat, a zöldet és a sárgát. Ez a négy szín az ő színrendszerében nem egymástól független értékek, hanem ellentétpárok. A piros a zöld ellentéte, és a sárga sem a zöld és piros keveréke, hanem a kék ellentéte. Nem a receptorok ab-

20. Hubel, *Eye, Brain, and Vision*, 209. oldal.

szolút értékét, hanem az ellentétes színek relatív arányait érzékeljük. Azaz nem érzékeljük egy tárgy abszolút pirosasságát, vagy zöldességét, helyette azt érzékeljük, hogy egy adott szín hol helyezkedik el a piros és zöld skálán, illetve a sárga és kék skálán. Az ellentétes színek egyszerre nem láthatóak, mivel a skála két végén helyezkednek el és kioltják egymást.²¹ Mintha valami egyszerre világítana és nyelné el a fényt. Nem lehet fényes és sötét egyidőben, mert az se nem fényes se nem sötét. Nem lehet valami piros is meg zöld is, vagy egyszerre kék meg sárga sem.

Az ellenszínelméletet és a trikromatikus elméletet sokáig konkurens teóriáknak tekintették és a tudósok többsége Heringgel szemben állt. Talán azért is, mert nehezőkre esett egy szín (a sárga) „tisztaságát” tudományos érvnek tekinteni.²²

* * *

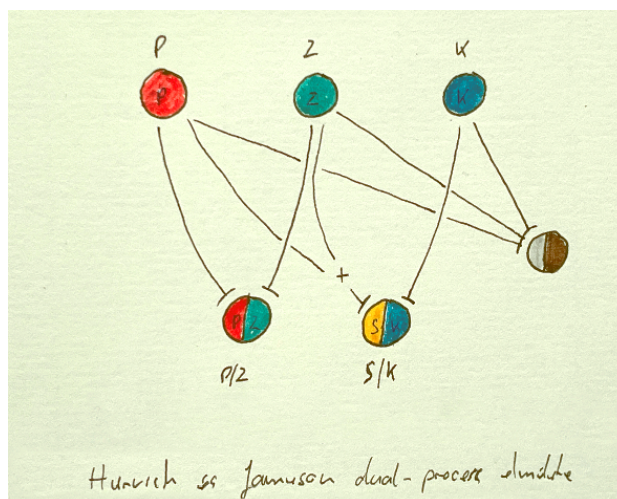
A 20. század második felében Hurvich és Jameson támasztotta alá Hering elképzeléseit és mutatta be, hogy a két elmélet valójában kiegészíti egymást.²³

A három ellentétpár a rövid, közepes és hosszú hullámhosszra érzékeny receptorok kombinációinak eredménye (ezeket jelölik az angol rövidítésük

21. Az ellentétes színek keverékeit valóban nem érzékeljük, ezért is hívják őket lehetetlen színeknek. Crane and Piantanida 1983-ban mégis megpróbálták a lehetetlen színeket megnézni. Hering szabályai csak egy szemre vonatkoznak, ezért a két szemnek külön mutatták ez ellentétes színeket. Az alanyoknak nem volt könnyű dolguk leírni, hogy pontosan milyen színt látnak. Hewitt D. Crane és Thomas P. Piantanida, „On Seeing Reddish Green and Yellowish Blue”, *Science* 221, szám 4615 (1983. szeptember 9.): 1078–1080. oldal, <https://doi.org/10.1126/science.221.4615.1078> idézi Natalie Wolchover, „Red-Green & Blue-Yellow: The Stunning Colors You Can’t See”, *Live Science*, 2012, <https://www.livescience.com/17948-red-green-blue-yellow-stunning-colors.html>

22. Hubel, *Eye, Brain, and Vision*, 202. oldal.

23. Leo M. Hurvich és Dorothea Jameson, „An Opponent-Process Theory of Color Vision.”, *Psychological Review* 64 (6, Pt.1 1957. november): 384–404. oldal, <https://doi.org/10.1037/h0041403>; Hubel, *Eye, Brain, and Vision*, 202. oldal.

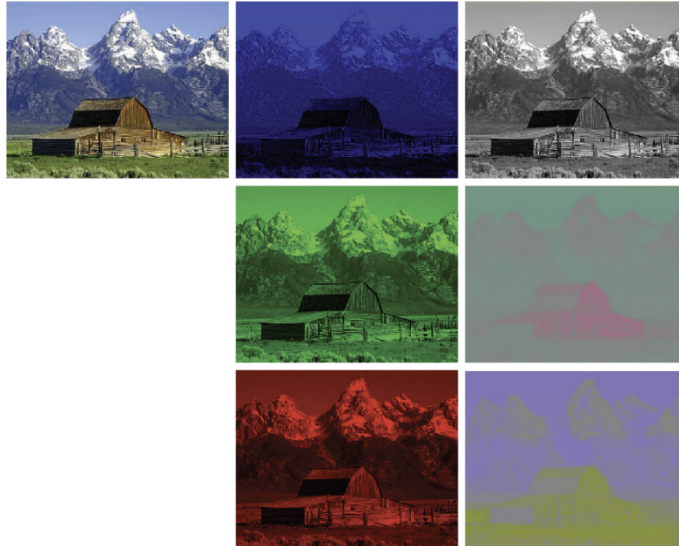


2.13. ábra. Hurvich és Jameson kettős folyamat elmélete arról, miként alakul át a három receptor értéke, az ellenszín párok relatív arányaivá.

alapján gyakran S, M és L-nek). Az fenti ábra (2.13) jól mutatja milyen számítások segítségével alakul át a három alapszín a piros-zöld, kék-sárga és sötét-világos ellentétpárokká.

A sötét-világos ellentétpár a három receptor intenzitásának együttes összege ($S+M+L$). A piros és a zöld ellentét a rövid és közepes hullámhosszú receptorok aránya (S/L). A sárga és a kék ellentétpár valamivel bonyolultabb, mert részt vesz benne mindhárom receptor: ez a rövid és a közep hullámhosszú receptor összege és a hosszú hullámhosszú receptor különbségének eredménye ($(S+M)/L$).²⁴ Emiatt nem érzékeljük a receptorok abszolút értékét, helyette azt érzékeljük, hogy valami inkább kékes vagy sárgás és hogy inkább pirosas vagy zöldes.

24. Leo M. Hurvich és Dorothea Jameson, „Opponent Processes as a Model of Neural Organization.”, *American Psychologist* 29, szám 2 (1974): 88–102. oldal, <https://doi.org/10.1037/h0035924>; Frisby és Stone, *Seeing*, 410. oldal.



2.14. ábra. A látvány felbontása a receptorok és az ellenszín párok szerint.

2.6. A színterek geometriája

Az ellenszínelmélet választ ad a kérdésre, hogy a fény látható tartományának lineáris skálája miként alakul át színekre. A fény minőségi változáson esik át. A fény elveszíti az eredeti spektrum eloszlásának tulajdonságait és közben létrejön egy új, háromdimenziós leírása a színeknek. Habár lehet érvelni amellyel, hogy a háromszínlátás esetében a lilával összezárul a színekör, az ellenszínelmélet nem egyszerűen körben, hanem határozottan egymással szemben helyezi el az alapszíneit.

Helmholtz és Hering is ábrázolta az alapszíneket, például egy háromszögben vagy egy koordináta rendszerben (ahogy korábban mások is, időnként síkban, máskor térben is). A színek pontos egymáshoz való észlelt viszonyát mégis csak később térképezték fel.

Wright és Guild az 1920-as évek végén egymástól függetlenül színegyezé-

si kísérleteket végeztek.²⁵ Céljuk az volt, hogy **létrehozzanak egy olyan matematikai keretet a színeknek, ami az emberi észlelésen alapul.**

A kísérletben résztvevőknek az volt a feladatuk, hogy a spektrum minden egyes színét kikeverjék három másik színes lámpa segítségével (kissé eltérő alapszíneket, de a lámpákhoz nagyjából a vörös, a kék és a zöld szín árnyalatait használták). A három lámpa intenzitásait feljegyezték, hogy meg tudják határozni, milyen mértékben járulnak hozzá az alapszínek a spektrum különböző színárnyalatainak kikeveréséhez.

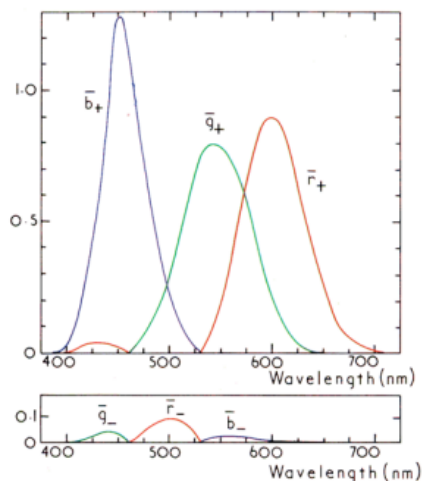
Szemben a korabeli állásponttal, miszerint minden színt ki lehet keverni három alapszínből, Guild és Wright kísérletei során találtak olyan színeket a spektrumon, amiket sehogy sem lehetett párosítani. Ilyen esetben a párosítandó spektrum színéhez (a referenciaszínhez) adtak hozzá az alapszínekből. Például a türkiz esetében pirosat.

A kísérletek eredményeit felhasználva jött létre a nemzetközi szabvány: a CIE 1931-es színtér (A CIE a Nemzetközi Világítástechnikai Bizottság francia nevének rövidítése: *Commission internationale de l'éclairage*).²⁶

Guild és Wright kísérletei bizonyították, hogy nem lehet minden színt három alapszínből létrehozni. Az új CIE színtér segítségével már nem csak az önkényesen választott alapszínek keverékeit, hanem minden látható színt

25. W D Wright, „A Re-Determination of the Trichromatic Coefficients of the Spectral Colours”, *Transactions of the Optical Society* 30, szám 4 (1929. március): 141–164. oldal, <https://doi.org/10.1088/1475-4878/30/4/301>; John Guild, „The Colorimetric Properties of the Spectrum”, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character* 230 (1931. szeptember 17.): 149–187. oldal, <https://doi.org/10.1098/rsta.1932.0005>.

26. Guild összesen hét emberrel végezte el a szín egyezés kísérleteit és természetesen tervezte, hogy a publikálás előtt bevon még másokat is. Wright és Guild egymástól függetlenül hasonló kísérleteket végzett, Wright 10 emberrel. Miután kiderült, hogy az eredményeink szinte tökéletesen egybeesnek, ez a hét plusz tíz ember vált a ma is használatos „átlagos megfigyelővé”.

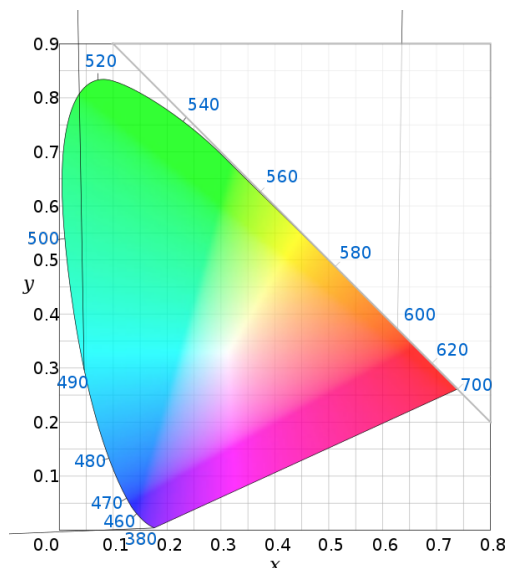


2.15. ábra. A színegyezési kísérletek eredménye. A három lámpa intenzitása és a spektrum színeinek összefüggése. Alul (a negatív értékek) mutatják, mely spektrum színeinél kellett a referenciaszínhez hozzákeverni az alapszínekből.

térképre tudtak vinni.

A három színegyütthető ábrázolható térbeli koordináta rendszerben. Az eredeti CIE RGB színtér három koordinátája a három használt alapszín intenzitása. A CIE RGB színtér síkbeli ábrázolása nem túl praktikus, ezért több variációját is létrehozták, amik lényegében az eredeti értékek mentén felrajzolt koordináta-rendszer döntött és forgatott változatai. Ezek minden esetben térbeliek. A CIE xyY az egyik leggyakrabban használt változat, melyben definíció szerint az 'Y' a fényességet jelöli és az 'xy' koordináták pedig a színezetet. A papíron nyomtatott metszeten a világosságot tekintik a mélységnek, és emiatt a papír síkjában ábrázolt 'xy' koordináták a szín árnyalatait és tónusait jelenítik meg.

A diagramon elterülő nyelv vagy pata alakú forma a látható színek tartományát mutatja meg. A határoló ív mentén (lentől felfelé, majd balról



2.16. ábra. A CIExyY színtér metszete.

jobbra le) futnak végig a látható spektrum (szivárvány) színei az észlelhető legteljesebb formájukban. Az alsó egyenes vonal egyszerűen a két végpont közötti kevert színeket köti össze (ezen az egyenesen szerepel a lila is, ami nincs a spektrum színei között, emiatt értelemszerűen nem is lehet a spektrum monokromatikus színeivel egyeztetni).

* * *

A CIE 1931-es színterek egyik legfontosabb jellemzője, hogy a monokromatikus színek keverését pontosan előre jelzi.²⁷ Például két választott színből a köztük lévő egyenes vonalon elhelyezkedő színeket, három szín esetében a köztük elterülő háromszög által lefedett színeket és így tovább, négy vagy akár 12 szín által határolt terület által lefedett színeket lehet kikeverni. Az ábráról könnyen leolvasható két alapvető állítás is: (1) Ha nem lépünk ki a látható valós színek halmazából (ami fizikailag lehetetlen), akkor nincs három

olyan látható alapszínből felrajzolható háromszög, amiből valóban ki lehetne keverni minden másik színt. (2) Az alapszínek tetszőleges módon választhatók és a választott színek által lefedett területen minden szín kikeverhető.

* * *

Nemcsak két, három, hanem akár színek egész csoportjának viszonyairól is következtetéseket vonhatunk le. Amióta először nyomtattam képet, vagy egymás mellé helyeztem egy olajfestményt és egy printet, azóta foglalkoztat a kérdés, hogy a színek milyen széles skáláját lehet megjeleníteni festékekkel, monitorokkal, vagy nyomtatókkal. Hol vannak a határok, miként viszonyulnak egymáshoz?

Mi sem egyszerűbb, mint felrajzolni a CIE színtéren az adott monitor és nyomtató alapszíneit, vagy akár a festékek színértékét.²⁸ De az igazi viszonyítási terület a legkülönfélébb anyagok tulajdonságai. Michael R. Pointer 1980-ban vette a fáradságot és megmérte több mint 4000, a természetben is előforduló anyag színét napfényben.²⁹ A mérések által lefedett színtarto-

27. Valóban pontosan előrejelzi a választott alapszínekből kikeverhető színeket, de az arányokat nem. A színátmenetet nem tudja tökéletes egyenletességgel ábrázolni. Azóta ennek kiküszöbölésére több színtér is felbukkant. Ilyen például a CIELab, CIEluv, CIECam, Oklab... Mind a CIExy színtéren alapul. Ezeknek a színtereknek különböző előnyei és hátrányai vannak. Az Oklab színtérben például a színátmenetek érzékelt világossága állandó.

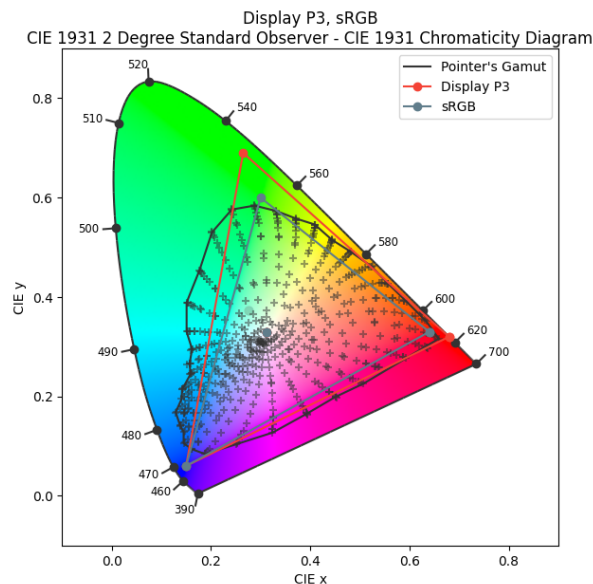
A MacAdam-ellipszisek jól mutatják, hogy egy színtér milyen egyenletesen képes a színárnyalatokat megjeleníteni. Az ellipsziseket a színmegkülönböztetés határainak meghatározására használják, olyan területeket határolnak, amiken belül az emberi szem nem tud különbséget tenni két szín között. Ezek az ellipszisek ideális színtérben kör alakúak.

28. A gyakorlatban felrajzolni a színek értékeit természetesen nem annyira egyszerű. Már maga a mérés is szaktudást igényel. Bruce MacEvoy 2005-ben a festékek színértékét mérte meg és helyezte el őket a színtérben. Habár a CIE színtér a monokromatikus színeket jelzi előre és nem számol a különböző spektrális eloszlással, sokan támaszkodnak MacEvoy *artist's color wheel* térképére a festékkeveréshez is. A színek és festékek keveredése a gyakorlatban természetesen hasonlítanak egymásra.

29. M. R. Pointer, „The Gamut of Real Surface Colours”, *Color Research & Application* 5, szám 3 (1980. ősz): 145–155. oldal, <https://doi.org/10.1002/col.5080050308>.



2.17. ábra. Bruce MacEvoy színkeveréshez készített festékminták térképe. A térkép, a CIE CAM variációt használja, mert ez a színtér a színek közötti átmenetet egyenletesen ábrázolja, emiatt a színek távolsága előrejelzi a keveréshez szükséges festékek arányait is.



2.18. ábra. Színtartományok összehasonlítása. A látható színek, Pointer színtartománya (szürke) és a TV színtartománya (piros).

mányt hívják Pointer színterjedelmének (Pointer's gammut), ami nagyjából az érzékelhető színek felét fedi le.

A régebbi monitorok még nem, de az újabb képernyők, mint például, amik a legtöbb modern telefonban találhatóak sem képesek teljesen lefedni a természetben fellelhető anyagok színeinek tartományát. A diagram jól ábrázolja, hogy például a türkiz milyen lehetetlen helyzetben van, ha egy TV-n szeretnénk megjeleníteni.

* * *

A CIE színterek legfontosabb tulajdonsága, hogy ez az első olyan színtér, ami a fény és az ember által észlelt szín közötti összefüggést szigorúan pszichofizikai kísérletek alapján ábrázolja. Nem a fény működését írja le, de még csak nem is a retina felépítéséből indul ki, hanem csak és kizárólag a szín

észleléséből. Olyan rendszer, ami se nem fizikai, se nem biológiai, hanem a tárgyi valóságtól és a biológiától függetlenül képes pontosan modellezni és leírni az észlelt színek szabályszerűségeit.

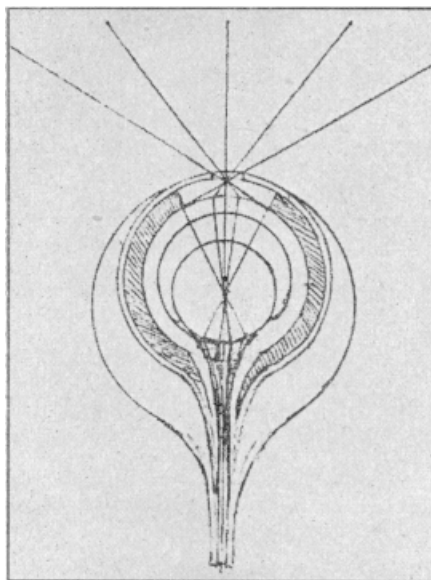
3. A világ fejjel lefelé

Mikor Humboldt meglátogatta Kantot, „mindent elmondott: a sejtését, hogy a tér görbül és a párhuzamosok a végtelenben találkoznak. A feltevését, hogy az idő tágulhat. Ezek nem lázálmok voltak, hanem olyan dolgok, amelyek a jövő embere számára magától értetődőek lesznek.

1

A 17. században nagy vihart kavarhatott, hogy a szemlencse a retinára tükörképet vetít, mi mégsem látjuk fejjel lefelé a világot. Johannes Kepler a 17. század hajnalán mutatta be, hogy nem a szemlencsén alakul ki a látvány, ahogy korábban a legtöbb görög filozófus gondolta. Felfedezte, hogy a szemlencse pont úgy működik, mint egy objektív, és a szem hátsó felére fordított képet vetít. Christoph Schneider 1619-ben egy bika szemét boncolta fel, hogy egy valódi szemén is megfigyelje ezt a jelenséget, sőt, korabeli tudósok frissen elhunytak szemét is megvizsgálták, hogy megbizonyosodjanak a szem hátsó falára vetített fordított képről. Voltak, akiket annyira zavart a fordított kép problémája, hogy még egy extra „tükör” lehetőségét is felvetették, ami ezt a

1. Detlev Buck, director, „A Világ Fölmérése”, scriptwriter Buck Detlev és Daniel Kehlmann (2012)



3.1. ábra. Leonardó rajzán a fénysugarak útja egy szemgolyóban.

képet „helyreállítaná”.² Leonardo rajzai sem feltételeznek fordított vetületet. Leonardo boncolta és tanulmányozta az emberi szemet, de nem ismerte a fénytörés pontos optikáját. A szem anatómiai rajzain kétszer is keresztezik egymást a fénysugarak, emiatt a látóidegre érkező vetület sem lenne fejjel lefelé.

A mai napig gyakran hallani, hogy a babák születésükkor fejjel lefelé látnak és csak idővel tanulják meg megfordítani a képet. A szemlencsén keresztül nemcsak a babák, hanem a felnőttek retinájára is természetesen fejjel lefelé érkezik a vetület. Valójában azonban sosem tanuljuk meg „megfordítani” a képet. A retinára érkező vetület az agy számára információ, és az iránya irreleváns. Az első pillanattól kezdve ebből az információból élünk, amit a velünk született képességeink segítségével, a világról szerzett tapasztalataink alapján tanulunk meg feldolgozni.

2. Frisby és Stone, *Seeing*, 33. oldal.

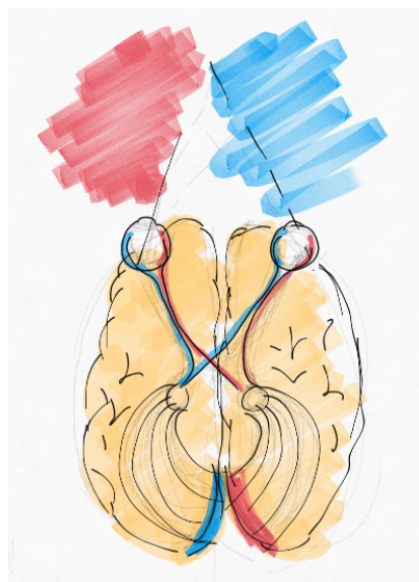
Kepler a szem optikájával megtette az első lépést, ami a látást információfeldolgozásnak tekinti. Ez a vizuális információ, ha nem is a szó szoros értelmében vett kép, mégis vannak a képre jellemző tulajdonságai.

3.1. Képek az agyban

A 20. század második felében neurobiológusok és kognitív pszichológusok az agyban és az elmében keresték a látás működésének és reprezentációjának leírását. Ami engem különösen érdekel, hogy vannak-e a látás folyamatának olyan stádiumai, amik ábrázolhatóak? Egyáltalán van-e az elmében olyan formája a reprezentációnak, ami ábrázoló és ábrázolható?

A retinából érkező impulzus a látóidegen keresztül kacifántos utat jár be. A jobb és bal retinából eredő idegkötegek keresztezik egymást valahol az agy közepén, a talamuszban. Az innen tovább haladó látóidegek a két szemből érkező információt már összefűzve viszik tovább a tarkó felé. Habár a látvány két oldalát épp a szemközti agyféltekék dolgozzák fel, értelemszerűen a retinára eső tükörképpel ez azonos oldalon helyezkedik el. A vizuális információ az agyban többé nem tükröződik. Figyelemre méltó, hogy a két szemből érkező sztereó kép még a látókéreg előtt egyesül, és a térben egymáshoz közeli információ az első adandó alkalommal az agyban fizikailag is egymás mellé kerül.

A látókéregbe érkező idegek elrendeződését a 80-as években sikerült megismerni. Neurobiológusok makákókat tanítottak be, hogy 10 percig folyamatosan bámuljanak a monitoron egy ábrát (lásd 3.3 ábra), amin szürke háttéren, fekete és fehér szakaszokból álló koncentrikus körök és átlók szere-



3.2. ábra. Kacifántos út a retinától a látókéregig. A látómező jobb oldalára érkező információ útja pirossal, a bal oldala késsel lett jelölve.

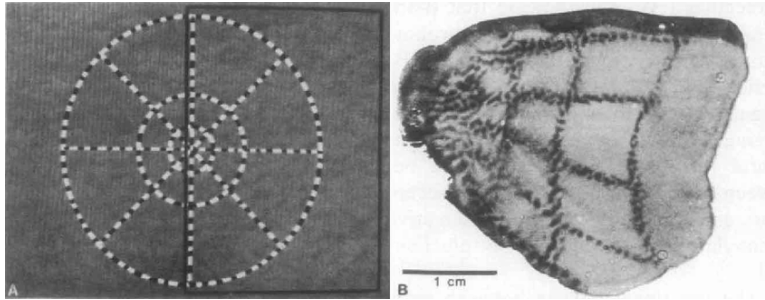
peltek.³

Ezután alaposan megvizsgálták a makákók látókérgét, ahol azt találták, hogy az ide érkező neuronok elrendezése követi a retinára eső kép struktúráját. Gyakorlatilag a neuronok aktivitása kirajzolja a látott képet, olyannyira, hogy még a vakfolt is helyet kap rajta.

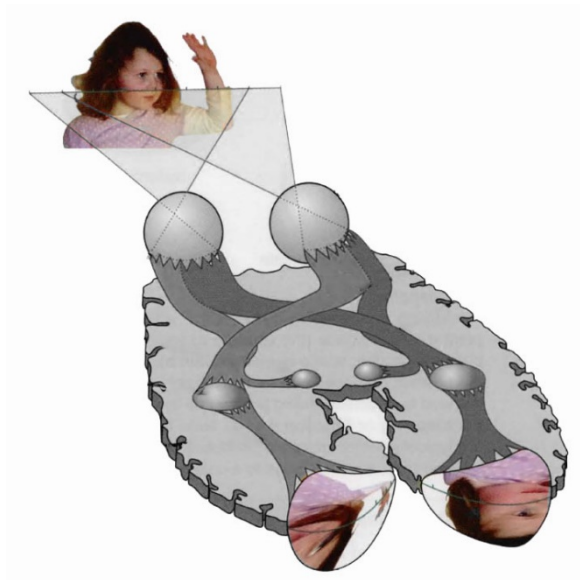
A leképezés a retinára eső vetülethez hasonlóan, a jelenet tükörképe. Egy kissé azonban megnyúlik, ami abból eredhet, hogy míg a fotoreceptorok a retina közepén jóval sűrűbbek, addig a látókérgen egyenletesen oszlanak el. Emiatt a látókéreg a beérkező információ közepét nagyban, a széleit kicsiben ábrázolja.⁴

3. Roger B. H. Tootell és mások, „Deoxyglucose Analysis of Retinotopic Organization in Primate Striate Cortex”, *Science* 218, szám 4575 (1982. november 26.): 902–904. oldal, <https://doi.org/10.1126/science.7134981>.

4. „A harántcsíkolt kéregben a retinotopikus szerveződés anatómiai szubsztrátja megköveteli a jól rendezett, és úgy tűnik, hogy szisztematikus kapcsolat van a szemdominancia csíkok és a kortikális nagyítás között.„ Tootell és mások, 902. oldal



3.3. ábra. Bal oldalon a makákók által látott minta. Jobb oldalon a vizuális inger lenyomata a látókéregben.



3.4. ábra. A retinotopikus vetület a látókérgen.

A látómező épp a kellős közepén van kettévágva, és az oldalak tükrözve vannak: a két agyfélteke találkozásánál a retinális kép szélei jelennek meg, a középső rész pedig az agykéreg oldalán. Ha ránézünk egy arcra, akkor az orr jobb és bal fele a látókéreg ellentétes oldalán, a bal és jobb szélén foglal helyet.

A középen húzódó vágást leszámítva, a leképezés megtartja az eredeti topológiai szerkezetét, azaz ami a retinális képen egymás mellett volt, az itt is egymás mellé kerül. Ezt az elrendezést a topológiából kölcsönözve *retinotópiának* nevezik, mert a retinán keletkező kép arányait nem, de a geometriai összefüggéseit megtartja.⁵

* * *

William James amerikai pszichológus és filozófus monumentális *Principles of Psychology* című kötetében 1890-ben a tudomány korabeli eszközei segítségével hosszan érvel a mellett, hogy a képzelet nem más, mint a látás visszafelé. A halvány, derengő, nehezen észlelhető látvány valójában könnyen összetéveszthető a képzelettel. „A képzelet során visszafelé folyik az információ”.⁶

Stephen Kosslyn agykutató és pszichológus James állítását vizsgálta meg az agy aktivitása szempontjából. A kísérlet során az agy különböző területeinek aktivitását mérték látás és a képzelet használata közben. Az alanyok egyszerű tárgyak rajzait láthatták, majd ezek a rajzok egyes tulajdonságaira

5. Frisby és Stone, *Seeing*, 7. oldal.

6. William James, „Classics in the History of Psychology – James (1890) Chapter 18”, *The Principles of Psychology*, 1980, 402. oldal, <https://psychclassics.yorku.ca/James/Principles/prin18.htm>; Stephen M. Kosslyn, „The Imagery Debate: The Role of the Brain” (MIT, 2009), 0:45:40., <https://ocw.mit.edu/courses/24-08j-philosophical-issues-in-brain-science-spring-2009/resources/lecture-12-the-imagery-debate-the-role-of-the-brain/>.

kellett visszaemlékezniük. Ilyenkor el kellett képzelniük a korábban látott rajzokat, hogy helyesen tudjanak válaszolni a feltett kérdésekre.⁷

A látás és a képzelet során az agy rendkívül hasonló aktivitást mutatott, néhány részlettől eltekintve szinte teljes volt az átfedés. E mellett ahogy a látókérgen szinte kirajzolódik a retinára vetült kép, megdöbbenően hasonló módon jelennek meg rajta az elképzelt mentális képek is.⁸

3.2. Képek az elmében

Kosslyn pszichológusként és idegtudósként lenyűgözte a látókéregben talált neuronok szabályos, a kép struktúráját követő elrendezése. Ugyanakkor csupán amiatt, hogy az agyban a képre emlékeztető sík struktúrák foglalnak helyet, még nem feltétlenül következik, hogy a gondolkodásban is szerepet játszanak. A látókéreg viselkedhet úgy is, mint egy monitor: csak megjeleníti az információt és valójában nincs hatással magára az észlelés működésére. Azonban Kosslyn kutatásaival amellet érvel, hogy a mentális képeknek az elme működésében alapvető funkcionális szerepe van.

* * *

Ha felteszem azt a kérdést, hogy milyen formája van a macska fülének, legalább kétféleképpen tudok rá válaszolni. (Érdeemes egy pillanatra megállni és valóban megválaszolni!)

7. Giorgio Ganis, William L Thompson és Stephen M Kosslyn, „Brain Areas Underlying Visual Mental Imagery and Visual Perception: An fMRI Study”, *Cognitive Brain Research* 20, szám 2 (2004. július): 226–241. oldal, <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2004.02.012>.

8. A tanulmány szerint a képzelet és a látás közötti átfedés 92%-os. A maradék 8% különbségből lehet következtetni arra, hogy mit irányítanak az érzékszervek és mit az emlékek.

Az egyik feltételezett módja, hogy egyszerűen megtanultam milyen formának hívják a macska fülét. Akkor valószínűleg egyszerűen háromszögnek hívnám.

Ha nekem válaszolnom kellene egy ilyen kérdésre, akkor egy másik módszert használnék: először elképezek egy macskát és képzeletben megvizsgálom a fülét. Mivel ezen a macskát ábrázoló mentális képen nem egyértelmű a fül formája ahhoz, hogy válaszoljak, így keresnem kell egy nyelvileg könnyen hozzáférhető geometriai formát, ami passzol az elképzelt cica füléhez. Ez számomra egy gúla, de adott esetben lehetne háromszög is.

A tapasztalt mentális képzelet arra enged következtetni, hogy a macska reprezentációs formája vizuális és ebből vonom le a konklúziót. Az elképzelt macska nélkül talán nem tudnék válaszolni a kérdésre, méghozzá azért nem, mert nem feltétlenül van ilyen jellegű közvetlen tudásom a füléről.

* * *

A mentális reprezentáció képi formátuma hosszú vitákat szült.⁹ Az introspekció eleve paradox helyzet, hiszen hogyan vizsgálhatnám meg minden kétséget kizárólag objektíven a saját képzeletemet. Kosslyn elméletének egyik

9. Zenon W. Pylyshyn, „What the Mind’s Eye Tells the Mind’s Brain: A Critique of Mental Imagery.”, *Psychological Bulletin* 80, szám 1 (1973. július): 1–24. oldal, <https://doi.org/10.1037/h0034650>; Stephen Michael Kosslyn, „Scanning Visual Images: Some Structural Implications”, *Perception & Psychophysics* 14, szám 1 (1973. február): 90–94. oldal, <https://doi.org/10.3758/BF03198621>; Pierre Jolicoeur és Stephen M. Kosslyn, „Is Time to Scan Visual Images Due to Demand Characteristics?”, *Memory & Cognition* 13, szám 4 (1985. július): 320–332. oldal, <https://doi.org/10.3758/BF03202500>; Michael Tye, *The Imagery Debate* (Place of publication not identified: Mit Press, 2000); Pylyshyn, „Mental Imagery”; Joel Pearson és Stephen M. Kosslyn, „The Heterogeneity of Mental Representation: Ending the Imagery Debate”, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112, szám 33 (2015. augusztus 18.): 10089–10092. oldal, <https://doi.org/10.1073/pnas.1504933112>; Anikó Kónya, „A képzelet vita feloldása”, C3, 1999, <http://memolab.c3.hu/emlek/07tema/kosslyn.htm>.

legfőbb kritikusa a kognitív tudománnyal foglalkozó Zenon Walter Pylyshyn volt. Úgy vélte, hogy az agyban csak egy magasabb szintű funkcionális szimbolikus (propozicionális) rendszer létezik. A mentális képek tapasztalata csak kísérőjelenség (epifenomén) és a tárolt képek nem részei az elme változatlan struktúrájának (kognitív architektúrájának).¹⁰

Kosslyn állítása viszont az, hogy az agyban több funkcionális rendszer működik, amelyek eltérő módon dolgozzák fel az információt. Az ábrázoló rendszer szerinte egyike ezeknek a rendszereknek. A mentális reprezentációt analóg és ábrázoló (analog, depictive) formában tárolja és dolgozza fel, ami része az agy felépítésének és az elme működésének.

* * *

Kosslyn több kísérletben is bizonyítékokat hoz fel amellett, hogy a képek (például az elképzelt macska képe) a gondolkodás és a mentális reprezentáció fundamentális részei.¹¹ A kísérletekben rajzokat kell megjegyezni, például képet egy hajóról vagy térképet egy ismeretlen szigetről. A továbbiakban ezekről a képekről tesznek fel kérdéseket az alanyoknak, melyekre emlékezetből kell válaszolniuk. Az emlékezés során többször végig kell pásztázni a mentális képet a válasz megfogalmazásához. A kísérletek alapján a válasz megfogalmazásához szükséges idő valójában a mentális képen pásztázó „tekintet” által bejárt útvonal hosszúságával arányos. A kép-pásztázás tehát az elme belső, valódi működésére utal.

10. A kognitív architektúra az elme változatlan struktúrája. Amikor a mentális képet vizsgáljuk, valójában nem az elme valós belső állapotát vizsgáljuk, hanem „inkább azt szemléljük, amiről a belső állapot szól.” Pylyshyn, „Mental Imagery”, 158. oldal

11. Stephen Michael Kosslyn, „Scanning Visual Images”; Jolicoeur és Kosslyn, „Is Time to Scan Visual Images Due to Demand Characteristics?”

Kosslyn szerint a látókéreg felülete sem csak egy szokatlan képernyő, ami tükrözi az észlelt látványt és képzeléseinket. A látókéreg funkcionális szerepét mi sem bizonyítja jobban, mint hogy ha ezen a területen mágneses stimulációval megzavarják a neuronokat, akkor a vizuális feladatok is sokkal nehezebbé válnak. Nehezebb elképzelni például egy macskát, vagy fejben tárgyakat forgatni.¹²

Mindezek alapján könnyen belátható, hogy nem csak szavakkal vagyunk képesek gondolkodni. Gondolataink formája is lehet képszerűen ábrázoló.

Nem okoz gondot elképzelni például egy ajtó becsapódását, sőt, szerencsés esetben akár bonyolult fizikai modellek működését és következményeit sem.¹³ Sokszor a játszótéren szinte a szemem előtt látom milyen baleseteket szenvedhetnének a gyerekek. A látványt alkotó tárgyak jellemzőit, mint a körvonalait, darabjait, kitakart részeit, sőt a felépítésük szerkezetét is részletesen, szinte a szemem előtt látom. Gyakran mindez automatikus, nem kell hozzá különösebb képzelőerő. Egyszerűen ott van.

12. Ganis, Thompson és Kosslyn, „Brain Areas Underlying Visual Mental Imagery and Visual Perception”; Stephen M. Kosslyn, „The Imagery Debate: The Role of the Brain”, 0:38:30–00:41:00.

13. Az alábbi tanulmány szerint például pillanatok alatt el tudjuk dönteni, hogy egy fakockákból álló torony össze fog-e dőlni vagy sem. Chaz Firestone és Brian Scholl, „Seeing Stability: Intuitive Physics Automatically Guides Selective Attention”, *Journal of Vision* 16, szám 12 (2016. szeptember 1.): 689. oldal, <https://doi.org/10.1167/16.12.689>

4. Az elme mentális ábrázolásai

What does it mean to see? To
know what is where by looking.
—David Marr¹

Az észlelés általánosan elfogadott elmélete szerint a látás kétirányú. Egyrészt a beérkező ingereket feldolgozzuk, melynek során különböző (bottom-up) komputációs stádiumokon és formákon esnek át. Másrészt a korábban megszerzett ismeretek segítik a beérkező ingerek értelmezését (top-down).

A látás konstruktív (bottom-up) megközelítése szerint az érzékszerveken keresztül különböző mechanizmusok segítségével egy belső mentális modellt alkotunk a külvilágról. A külvilág kvázi tükörképét, vagy legalábbis annak hipotetikus mását hozzuk létre az elménkben, majd e modell alapján ítélkezünk, döntünk és reagálunk. Ahogy az előző fejezetben láthattuk, a színeknek megvan a csak rá jellemző, fizikától minőségileg eltérő szabályrendszere. A kérdés, hogy a térnek és tárgyaknak milyen, elsősorban az észlelésre jellemző tulajdonságai és szabályszerűségei lehetnek?

Az elme reprezentációja többféle modulra oszlik szét, amik egymásra épülnek, miközben párhuzamosan különböző vizuális részfeladatokat olda-

1. David Marr, *Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information* (Cambridge, Mass: MIT Press, 2010), 3. oldal

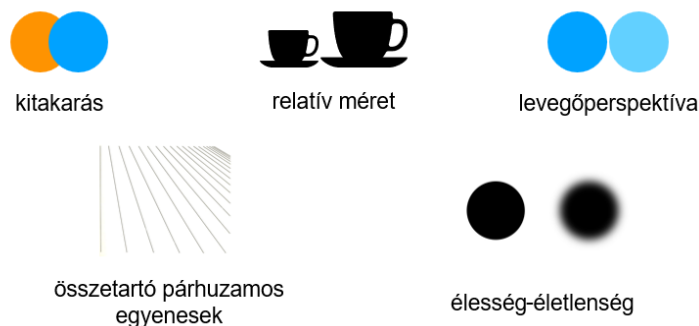
nak meg. Ezért alkalmasak arra, hogy külön-külön vizsgálják őket. Egyben, a látvány különböző aspektusait foglalják magukba. Julesz Béla egyik leg-híresebb kísérletében véletlenszerű pontokkal hozza létre a tér illúzióját.² A jobb és a bal szem számára készült véletlenül elszórt pontok közti különbség csupán annyi, hogy az egyik oldalon néhány pont kissé el van tolvá. A kísérlet bemutatja, hogy a binokuláris látás minden más vizuális nyom hiányának ellenére, önmagában is működik és a mélység hatását kelti. Julesz munkája azért is volt úttörő, mert az egyik első olyan kutatás, ami megmutatta, hogy a modulok egymástól függetlenül is működhetnek és kutathatóak. A modulokat a látás különböző részfeladatainak tekintik, amik összejátszanak a tér koherens képének észlelésében.

A modulok sajátos vizuális és egyéb jellemzőire feltételezésem szerint lehet úgy tekinteni, mint ami a látvány része. A külvilág ingereiből leszűrődő információ (ahogy Whitehead fogalmaz) az észlelt világot úgy fedi le, mint egy lepel. El is takarja, de ki is egészíti.

4.1. Vizuális nyomok

A térészlelés gyakran ismertetett megközelítése szerint a mélységre különböző vizuális jelekből következtetünk, mint például a kitakarás, a tárgyak relatív mérete a retinán, a levegőperspektíva, az összetartó párhuzamos egyenesek, az élesség és életlenség, valamint a binokuláris látás (diszparitás). Ezek se-

2. H. K. Nishihara, „Recollections of David Marr”, *Perception* 41, szám 9 (2012. szeptember): 1027–1030. oldal, <https://doi.org/10.1068/p7282>; Béla Julesz, *Dialógusok az észlelésről*, szerk. Gyula Kovács, redactor Csaba Pléh, ford. Ágnes Lukács, Gábor Oláh és Ádám Pócs, Test és lélek sorozat (1995; Typotex Kiadó, 2000); Bela Julesz, *Foundations of Cyclopean Perception* (Chicago: Univ. of Chicago Pr, 1971).



4.1. ábra. Vizuális nyomok.

gítségével van lehetőségünk a térbeli modell kialakítására.³

A vizuális nyomok alapján viszonylag jól kikövetkeztethető a tér szerkezete, de nem adnak formát a mentális reprezentációnak. David Marr olyan keretrendszerben foglalkozik a látással, ami választ adhat a forma milyenségére és arra is, hogy ezek a nyomok miként vesznek részt a tér kialakításában.

4.2. David Marr: a látás három szintű leírása

David Marr a 20. század talán egyik legnagyobb hatású látáskutatója, aki (amellett, hogy forradalmasította az észlelés tudományát) azért is keltette

3. Több tanulmány is foglalkozik a kultúra látásra gyakorolt hatásával. Például a vizuális nyomok relatív súlyával, nevezetesen azzal, hogy ha egymásnak ellentmond az ábrázolt tárgyak mérete, kitakarása, stb. akkor vajon melyik kerekedik felül. Például Evans és Seddon (1978) az alapvető vizuális nyomok súlyát kutatta nigériai és európai kultúrákban. Keiko Ishii „Kultúra és vizuális észlelés” („Culture and visual perception”) 2009-ben megjelent tanulmányában az ázsiaiak és európaiak-amerikaiak észlelését veti össze. Az eredmények alapján egyes tárgyak megfigyelésekor az ázsiaiak jobban figyelnek a környezetre és az elemek viszonyára (látásmódjuk inkább holisztikus), míg az európai-amerikaiak a részletekre ügyelnek inkább (látásmódjuk inkább analitikus). G. S. Evans és G. M. Seddon, „Responsiveness of Nigerian Students to Pictorial Depth Cues”, *ECTJ* 26, szám 4 (1978. december): 313–320. oldal, <https://doi.org/10.1007/BF02766367>; Keiko Ishii, Takafumi Tsukasaki és Shinobu Kitayama, „Culture and Visual Perception: Does Perceptual Inference Depend on Culture?”, *Japanese Psychological Research* 51, szám 2 (2009. május): 103–109. oldal, <https://doi.org/10.1111/j.1468-5884.2009.00393.x>

fel az érdeklődésemet, mert az általa javasolt kutatási módszertanban egyaránt helyet kapnak a reprezentációk (mental states) és a mentális folyamatok (mental processes). Azaz foglalkozik a vizuális információ egymásra épülő formáival és a kialakulásuknak szabályszerűségeivel.

Marr 1982-ben megjelent *Vision*⁴ című nagy hatású könyvében egy átfogó keretrendszert javasol (általánosságban az összetett rendszerek, de elsősorban) a látás tanulmányozására.

Szerinte a komplex biológiai rendszerek működését három szinten kell vizsgálni: az *elmélet* szintjén, az *algoritmus* szintjén és az *implementáció* szintjén.⁵ Az elméleti (computational theory) szint azt jelenti, hogy milyen problémát old meg a rendszer és hogyan; az algoritmus szint, hogy pontosan milyen számítások segítségével oldja meg a problémát, végül az implementációs szint, hogy a fizikai eszköz (jelen esetben az agy) milyen architektúrával és struktúrával valósítja meg magát az algoritmust.

Ha van egy ötletem, hogy miként működhet például a tárgyak távolságának felismerése, akkor abból készíthetek egy következetes algoritmust. Végül megnézem az agyat, hogy található-e benne olyan terület, ami valóban képes hasonló számításokat végezni az adott információval. Marr keretrendszere nem elégszik meg az ingerekre adott viselkedés vagy az agy neurobiológiai működésének vizsgálatával. Nem veti el őket, de hangsúlyoz egy köztes szintet: a szabályok koncepcióját is szükségesnek tartja.⁶ Vilayanur Ramachandran idegkutató és több nagysikerű agykutatás eredményeit népszerűsítő könyv szerzője találóan fogalmaz:

4. Marr, *Vision*.

5. Frisby és Stone, *Seeing*, 13. oldal.

6. David Marrrt gyakran hasonlítják Noam Chomskyhoz, ahogy Pléh Csaba is teszi egy

Az elme és az érzékelés olyan »tulajdonságok«, amelyeket nem lehet megérteni úgy, hogy egyszerűen mikroelektródákat szúrunk az agyba, és egyes neuronok adatait rögzítjük. [...] Ez olyan értelmetlen lenne, mintha egy érzékelőt dugnánk egy számítógép belsejébe, hogy megpróbáljuk kitalálni, hogyan oldja meg a differenciálegyenleteket.⁷

Marr a látásra információfeldolgozó rendszerként tekint, amely a kétdimenziós retinális képből egy koherens világ látványát hozza létre. A külvilág változó ingereiből az értelmezés vizuális és más absztrakt lépcsőin keresztül haladva az észlelés eredményeként végül a látványnak egy lehetséges, következetes formáját konstruáljuk. A látásnak a külvilág olyan leírását kell létrehoznia, ami hasznos a néző számára, nem kuszálja össze és nem terheli fölösleges információkkal.⁸

* * *

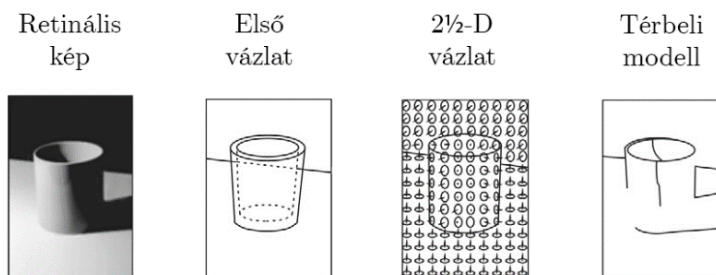
Marr könyve nagy hatást gyakorolt az agytudományra és a kognitív tudományokra általában és sok kutatót inspirált arra, hogy ezt a keretet alkalmazzák saját területükön. John Frisby és James Stone, *Seeing: the computational approach to biological vision* című összefoglaló kötete Marr módszertanát követve mutatja be az utóbbi évtizedek kutatásainak eredményeit.⁹

esszéjében: „Szeretnék megadni azt, hogy mit kellene tudnia egy ember alkotta mesterséges rendszernek, hogy ugyanazokat a teljesítményeket tudja, mint az ember, akár a nyelvre, akár például az észlelésre vonatkozóan. Ennek a precizitásigénynek a korai vagy klasszikus kognitív tudományban két leghatározottabb képviselője David Marr (1982) látáselmélete és Chomsky (1986) nyelvfelfogása.” Csaba Pléh, „Chomsky és a pszichológia”, *Magyar Tudomány*, szám 170 (2009. szeptember): 1075–1081. oldal, https://epa.oszk.hu/00600/00691/00069/pdf/mtud_2009_09_1075-1081.pdf

7. V S Ramachandran, „The Neurobiology of Perception”, *Perception* 14, szám 2 (1985. április): 102. oldal, <https://doi.org/10.1068/p140097>.

8. Marr, *Vision*, 31. oldal.

9. Frisby és Stone, *Seeing*.



4.2. ábra. A retinális kép feldolgozásának szintjei.

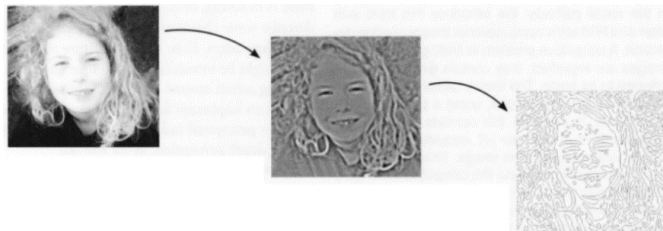
A könyvben olvasható tanulmányok a hétköznapi ember számára is világosan érthetőek. A kutatások gyakran a mindennapi megfigyeléseket öntik már-már játékos, spekulatív teóriákba, amiket végül tudományos igényű, koherens rendszerbe foglalnak. (Frisby és Stone gyakran az elméleteket alátámasztó, vagy éppen cáfoló neurobiológiai eredményeket is ismertetik.)

4.3. A látvány formái

Marr szerint a vizuális feldolgozás egy sor stádiumon megy keresztül. A látvány értelmezését három lépésben különíti el. Az első az ún. első vázlat (primal sketch), a következő a 2 és ½ dimenziós, különböző szimbolikus tartalmakkal felruházott (még nézőpont függő) vázlat, majd a térbeli, immár nézőpontfüggetlen 3D model.¹⁰

Az *első vázlatot* sok szempontból a rajzra emlékeztető sík elemek alkotják, például vonalak, görbék, élek és foltok (blob-ok). Az elemek csoportosításával és különböző számítások segítségével ezeket töltjük meg geometriai

10. Herman Gomes, „From Primal Sketch to 3-D Models”, 2000. július 7., https://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/GOMES1/marr.html; Valéria Csépe, Miklós Győri és Anett Ragó, szerkesztők, *Általános Pszichológia*, Osiris Tankönyvek (Budapest: Osiris, 2007), 14. oldal.

4.3. ábra. Éleket kereső algoritmus.¹¹

tulajdonságokkal.

A 2 és $\frac{1}{2}$ dimenziós vázlat is lefedi a látómező teljes felületét. Ez a „szint” már tartalmaz absztrakt tulajdonságokat, megjelenik rajta a mélység, a felületek iránya és a formák valódi sziluettjei.

A harmadik lépés a térbeli modell kialakítása. Ezen a szinten a tárgyak nézőpontfüggetlen háromdimenziós modelljének és az egymáshoz viszonyított helyzetének leírása is kialakul. A térbeli modell létrehozásában fontos szerepet játszanak a korábbi ismereteink.

4.4. Az első vázlat

A nyers képi információból ki lehet szűrni a formák éleinek helyzetét. A képen megjelenő éles fényerő-, vagy színváltás utalhat egy tárgy széleire. A módszer a kép intenzitásának változásait elemzi, hogy a lokális kontrasztokat kiemelje és vonalként ábrázolja. Ez nem egészen ugyanaz, mint egy rajz körvonalai vagy a tárgyak valódi sziluettjei, de olyan információt hordozhat, amiből következtetni lehet rájuk.

Hubel és Wiesel Nobel-díjat érő felfedezése, hogy az agy a vizuális ingerek

11. Frisby és Stone, *Seeing*, 111. oldal

feldolgozásának korai szakaszában valóban élekre, pontosabban különböző irányú élekre reagál. Az éleket kereső algoritmus eredményeit az egymás mellett elhelyezkedő receptorok (a receptor mező) intenzitásának különbségeiből szűri le.¹² Miután minden irányra különböző réteg válaszol, ezért nemcsak az élek helyét, hanem az irányát is reprezentálja.

* * *

Marr ennél egy lépéssel továbbmegy, az éleket irányuk és elhelyezkedésük alapján csoportosítja és redukálja. A csoportosítás révén a széknek olyan ábrázolása (reprezentációs formája) jön létre, ami jelentősen leegyszerűsíti a retinális képet és csak a „hasznos” éleket tartja meg (lásd 4.4). A széket ebben a formájában talán még könnyebb is felismerni, mint a rengeteg kusza vonalból.¹³

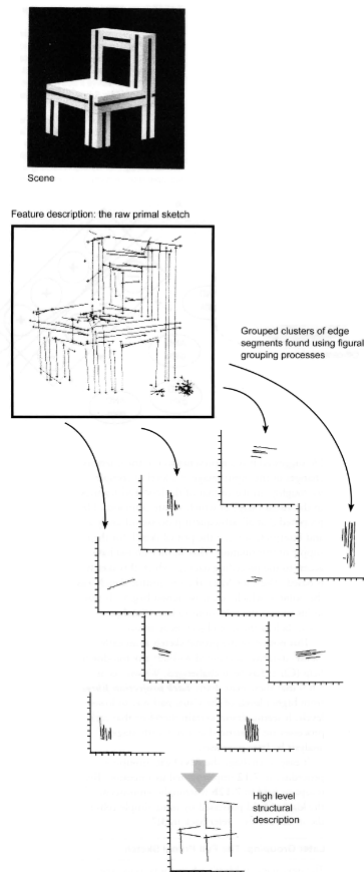
4.5. A 2 és 1/2 dimenziós vázlat

A tér felépítésére következtethetünk a felületek mélységéből és azok dőlésszögéből is. A felületeken megjelenő textúra a retinára eső vetületén is hordoz olyan szabályszerűségeket, amik segítségével pontosan ki lehet számolni a távolságát és dőlésszögét is.

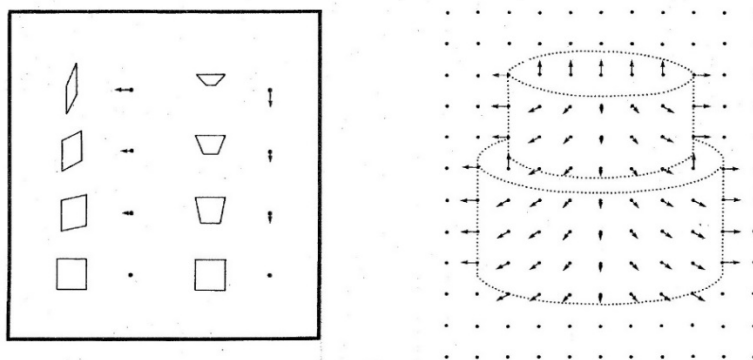
12. Frisby és Stone, 112.

13. David Marr, „Early Processing of Visual Information”, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences* 275, szám 942 (1976. október 19.): 483–519. oldal, <https://doi.org/10.1098/rstb.1976.0090>; Frisby és Stone, *Seeing*, 164. oldal.

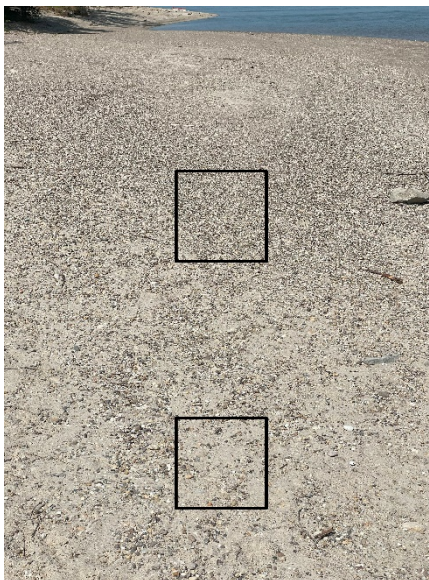
14. David Marr és H K Nishihara, „Representation and Recognition of the Spatial Organization of Three-Dimensional Shapes”, *Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences* 200, szám 1140 (1978. február 23.): 269–294. oldal, <https://doi.org/10.1098/rspb.1978.0020>



4.4. ábra. Egy szék éleinek vizuális csoportosítása.



4.5. ábra. Egy felület irányányának szimbolikus ábrázolása.¹⁴



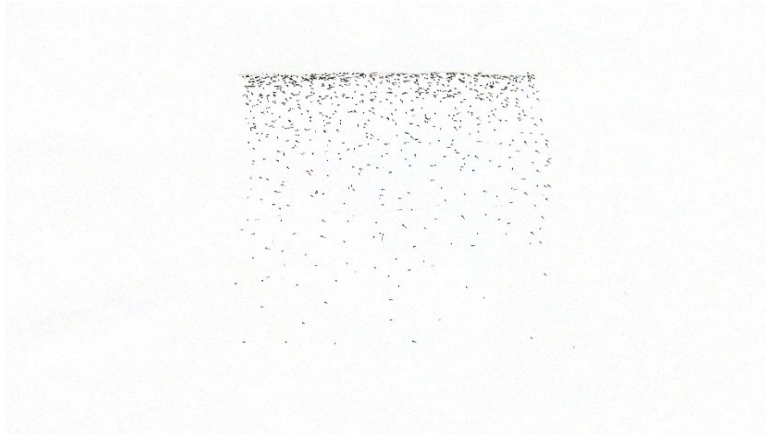
4.6. ábra. Dunaparti kavicsok.

A FELÜLETEK TÁVOLSÁGA

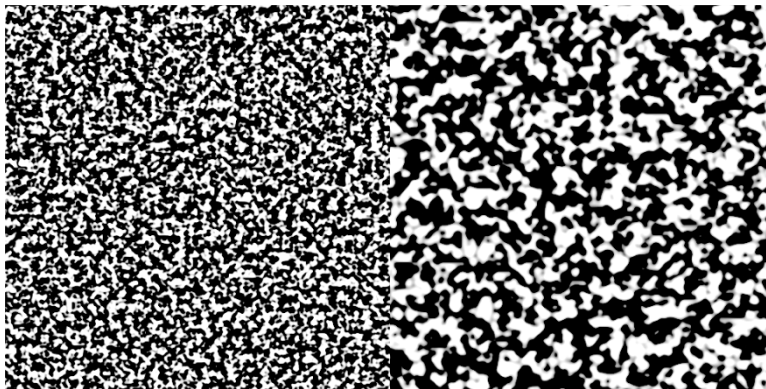
A tér észlelt mélységéhez több vizuális nyom is hozzájárul. Az egyik ilyen rendhagyó nyom a textúra szemcsézettségének sűrűsége.

A textúra szemcsézettsége a felületek távolságáról hordoz információt. Ha egy folyóparton sétálva szemléljük a kavicsokat, akkor a látómező egységnyi területén (a perspektivikus vetület miatt) különböző számú kavics fér el: a távolabbi részeken több, a közeli kevesebb. Például egy távoli kivágásban húsz darab kavics fér bele, míg egy közelibe csak négy. Ezt nevezik a textúra sűrűségének. A parton a kavicsok látómezőre eső számának szabályszerűségéből kiindulva egy felület távolságát ki lehet számolni az alapján, hogy pontosan milyen sok kavics fér el rajta: a távolság egyenesen arányos az elemek számával: több kavics, nagyobb távolság.

A fenti, partot ábrázoló fényképen (lásd 4.6 ábra) például nem okoz gon-



4.7. ábra. Az egyenletesen sűrűsödő pontok a távolság hatását keltik.

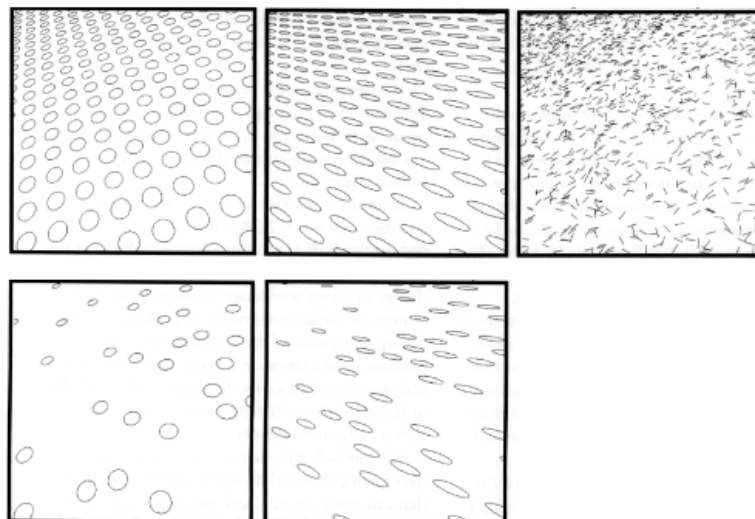


4.8. ábra. Melyik felület van közelebb? James Gibson hasonló felületeket használ a textúra általános ábrázolására.

dot megállapítani, hogy melyik terület esik közelebb vagy távolabb, de a mélység érzetét befolyásolhatják más információk is egy fényképen. De ha egyszerűen például egy papíron egyenletesen változó sűrűséggel pontokat rajzolunk, az is a távolság benyomását kelti.

A FELÜLETEK DŐLÉSSZÖGE

A 2 és $\frac{1}{2}$ dimenziós vázlat alapján a textúra két tulajdonsága is segítséget nyújthat a dőlésszögek kiszámításában.



4.9. ábra. Döntött sík és textúra változatok.¹⁶

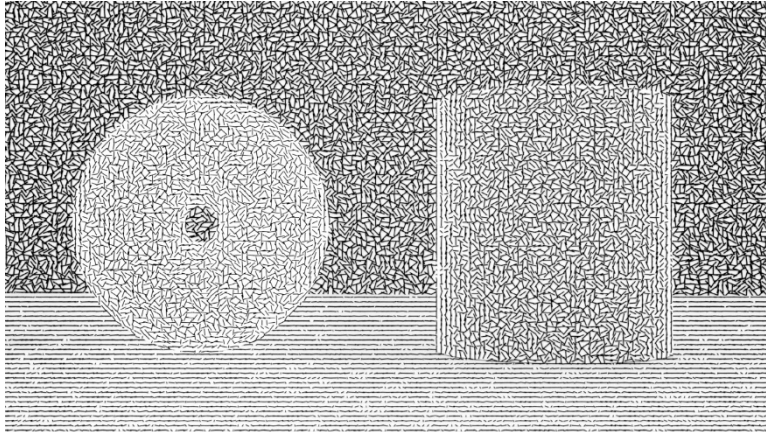
A textúra sűrűségének (ebben az esetben a textúraelemek számának) változásaiból értelemszerűen lehet következtetni egy felület dőlésszögére: egy döntött felület ha egyenletesen távolodik, akkor (a szabályok szerint) a távolsággal arányosan sűrűsödnek a rajta látható textúra-elemek is.

Az fenti ábrák (lásd 4.9 ábra) egyenletes textúra elemek dőlésszögének különböző eseteit ábrázolják. Jól látható, hogy ha a felület azonos dőlésszögű, akkor a második képen az ellipszisek formája is hozzájárul a látszólagos dőlésszög megítéléséhez.¹⁵ A dőlésszöget befolyásolja a textúrák alakja is. Az elképzelés szerint nem a szabályos formák torzulása, hanem az élek irányának eloszlásából következtetünk a felület dőlésszögére.

Ezt úgy lehet elképzelni, mint a karcok sokaságát egy fémlemen. A felületi karcok minden irányban egyenletesen fordulnak elő. Egy hajlított felületen lévő karcok iránya követi a felület formáját. A retinára eső pers-

15. Frisby és Stone, *Seeing*, 36. oldal.

16. Frisby és Stone



4.10. ábra. Térbeli formák ábrázolása textúra izotrópiája alapján.

pektivikus vetületen minél nagyobb a beesési szög, a karcok annál inkább egy irányba fordulnak. Ha feltételezzük, hogy a textúra minden irányban egyaránt karcos, akkor a felület dőlésszöge pontosan kiszámítható.

A két algoritmus a gyakorlatban kiegészíti egymást. Rosenholtz és Malik 1997-ben mutatta be, hogy egy felület dőlésszögének megtippelését egyaránt befolyásolja a textúra sűrűsége (homogenitása) és a textúraelemek iránya (izotrópiája).¹⁷

* * *

Érdemes az említett algoritmusokat egy pillanatra a rajz felől is megközelíteni. Az algoritmus ugyanis nagyon hasonlít arra, amikor rézkarcokon a formákat követő vonalakkal érzékeltetik az árnyékokat. Mégis a felületek iránya és a sraffozás iránya közötti kapcsolatot még sosem hallottam emlegetni, különösen ebben az összefüggésben nem. A távolsággal arányosan sűrűsödő

17. Jitendra Malik és Ruth Rosenholtz, „Computing Local Surface Orientation and Shape from Texture for Curved Surfaces”, *International Journal of Computer Vision* 23, szám 2 (1997): 149–168. oldal, <https://doi.org/10.1023/A:1007958829620>; Frisby és Stone, *Seeing*, 51. oldal.

részletek ráadásul ellentétesek bizonyos kompozíciós elvekkkel, hiszen a részletek magukhoz vonzzák a figyelmet.

A komputációs algoritmusokra - ha önmagukban ábrázoljuk - nem feltétlenül kell ráismernünk. Mégis a sraffozás iránya, ha követi az algoritmus által követett szabályszerűségeket, akkor valóban jól érzékelteti a felületek irányát, ami végső soron a tér szerkezetéhez nyújt támpontot.

Marr szerint A 2.5D vázlat az észlelés utolsó olyan stádiuma, ami nem a tárgyak szerint rendszerez, hanem a látómező teljes felületét egységesen értelmezi. A 2.5D vázlat még a nézőpont irányából ábrázolja a külvilágot és sok szempontból emlékeztet egy domborműre. Nem az egyes tárgyokról szól, hanem a teljes látómező felületéről és a látványt a teljes egységében reprezentálja.

4.6. A tárgyak térbeli formája

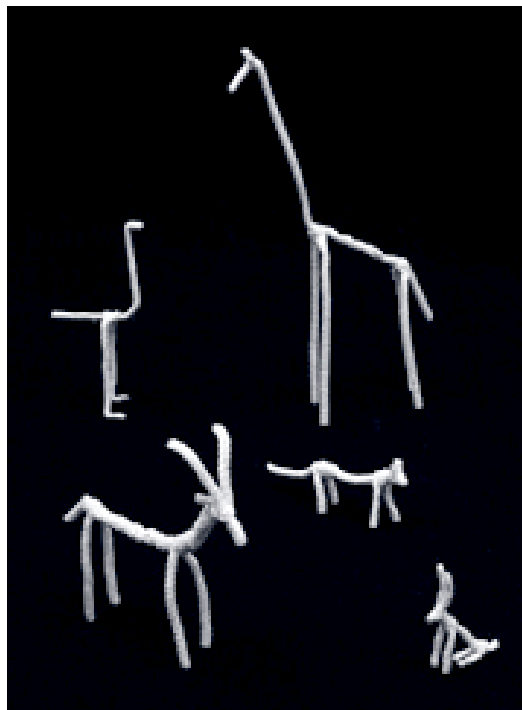
A látvány utáni rajzzal való párhuzam a tárgyak térbeli reprezentációjára is jellemző és nem is teljesen véletlen. David Marr és Keith Nishihara¹⁸ feltételezték, hogy ha képesek vagyunk azonosítani embert, kutyát, zsiráfot csupán pálcikafigurák alapján, akkor kell lennie valami hasonló reprezentációs formának az emberi elmében is.¹⁹

A képzőművészek ezt struktúrának, a folyamatot redukciónak hívják. A

18. H. Keith Nishihara, David Marr tanítványa és később közeli munkatársa.

19. „Our ability to easily recognize the pipecleaner animals suggested that the perception of shape might not rely on the details of a shape’s surface structure, but on an internal representation which places more emphasis on the general organization of a shape’s mass.” Nishihara, „Recollections of David Marr”, 1028. oldal

20. Marr és Nishihara, „Representation and Recognition of the Spatial Organization of Three-Dimensional Shapes”

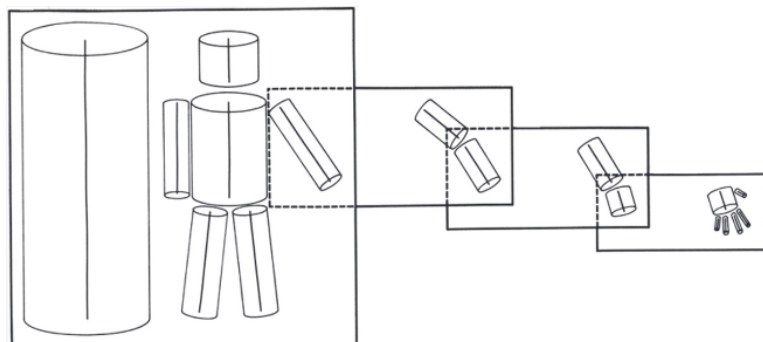
4.11. ábra. Pálcikafigurák.²⁰

látórendszer mindig strukturál és redukál, nagyon hasonlóan ahhoz, amikor valaki egy rajzban értelmezi az elé táruló látványt.

A redukciónak három oka van: az agy tárolási kapacitása, adatátviteli sávszélessége és számítási képességei is korlátozottak. A hasznos információ értelmezése egyszerűsítés útján jön létre.

Nishihara és Marr 1978-ban a térbeli reprezentáció leírásához a tárgyak hierarchikus alapformáinak leírásával kísérleteztek.²¹ A pálcika alapú reprezentáció hatékonyan kódolja és felismeri a tárgyakat. A fő tengelyekre és azok orientációjára összpontosítva **az agy gyorsan azonosítani tudja a tárgy általános alakját és szerkezetét** anélkül, hogy az összes részletet fel kellene dolgoznia.

21. Marr és Nishihara.



4.12. ábra. A reprezentáció hierarchikus modellje.²²

A pálcikafigura vonalai jelentik a testeket felépítő formák fő tengelyét, a hengerek pedig a tömegét. A tengely a forma saját koordináta rendszerét is meghatározza, ehhez viszonyul minden hozzá kapcsolódó elem is. A vizuális rendszer a tárgyakat egymáshoz viszonyított hierarchiájuk és saját orientációjuk alapján reprezentálja.

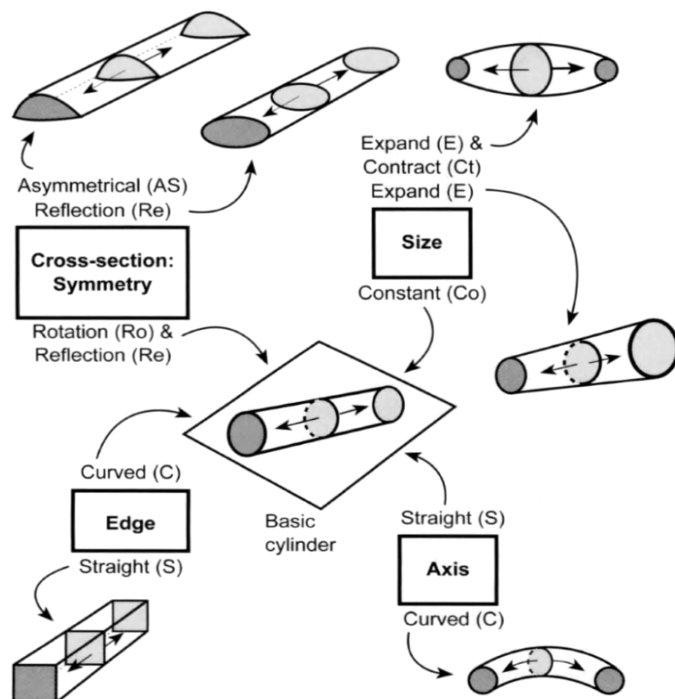
Könnyű elképzelni egy emberi alak fő tengelyét és a hozzá kapcsolódó végtagok hierarchiáját, ahogy bármely más tárgyét is (legyen az épület, autó, állat, lámpa, pohár, tányér stb.). A meghatározó tengely szinte magától értetődő a mindennapi élet során is: mindez a látvány olyan természetes része, hogy észre sem vesszük.

BIEDERMAN-FÉLE GEONOK

Marr és Nishihara elméletét Irwin Biederman fejlesztette tovább. A tárgyak geometriai elemekre bontása nála is érvényes, de pálcikák és hengerek helyett egyszerű alakzatokat, geometrikus ikonokat, úgynevezett *geonokat* javasol.²³

22. Nishihara, „Recollections of David Marr”

23. Irving Biederman, „Recognition-by-Components: A Theory of Human Image Understanding.”, *Psychological Review* 94, szám 2 (1987. április): 115–147. oldal, <https://doi.org/10.1037/0033-295X.94.2.115>; Frisby és Stone, *Seeing*, 187. oldal.



4.13. ábra. A geonok variációi.

A geonok egyik legfontosabb tulajdonsága, hogy bármely nézőpontból sziluettjük alapján is könnyedén megkülönböztethetők. Emiatt a legkülönbözőbb geonokból felépülő tárgyak csupán az elemek sziluettjei alapján is egyértelműen felismerhetők, és könnyen kikövetkeztethető a térbeli modelljük.

Nehéz elképzelni, hogy a látványt ne ruháznánk fel hasonló geometriai tulajdonságokkal, hiszen annyira természetesnek tűnik a tárgyak középvonala, valamint az egész és a részleteinek viszonya.

Az agy bizonyos része (Lateral Occipital Cortex, LOC) a formák felismerésében játszik fontos szerepet. Biederman és Hayworth 2006-ban publikált tanulmánya szerint ezen a területen az agy bizonyos része csak a sziluettek-

re érzékeny és nem tesz különbséget egy fénykép és egy vonalrajz között.²⁴ Emellett nem az ismert tárgyakra, és nem a tárgyak egészére, hanem az őket felépítő elemeire, geometriai alakzatokra reagál. Szerintük ezen a területen alakulhat ki a tárgyakra egy köztes reprezentációs formája, ami sok hasonlóságot mutat a Marr és Nishihara hierarchikus struktúráinak felépítésével és a Biederman-féle geometriával.

4.7. A tér ökológiai modellje

James J. Gibson amerikai pszichológus a 20. század meghatározó alakja volt a látáskutatás területén. David Marr komputációs megközelítését megelőzően a kognitív pszichológia hajnalán kutatott és tanított.

Gibsont elsősorban a tér észlelése foglalkoztatja. Mi sem teszi ezt egyértelműbbé, mint az 1950-ben megjelent első könyvének első mondata: „E könyv elsődleges témája a tér vizuális észlelése.”²⁵ Gibson megkülönbözteti a tárgyak értelmezését és a tér észlelését. A tárgyi világ szemantikus értelmezését szerinte meg kell hogy előzze a tér közvetlen tapasztalata.

Rendhagyó módon közelítette meg az észlelést. Elméletének alapja az *ökológiai megközelítés* és a *közvetlen percepció*. Az ökológiai megközelítés szerint az észlelés az élőlény és a környezet szoros kapcsolatának eredménye:

24. Kenneth J. Hayworth és Irving Biederman, „Neural Evidence for Intermediate Representations in Object Recognition”, *Vision Research* 46, szám 23 (2006. november): 4024–4031. oldal, <https://doi.org/10.1016/j.visres.2006.07.015>; Zoe Kourtzi és Nancy Kanwisher, „Cortical Regions Involved in Perceiving Object Shape”, *The Journal of Neuroscience* 20, szám 9 (2000. május 1.): 3310–3318. oldal, <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.20-09-03310.2000>.

25. James J. Gibson, *The Perception of the Visual World* (1950; Westport, Connecticut: Greenwood Press, 1974), vii. oldal, „The principal subject of this book is the visual perception of space.”

az észlelésünk a környezet hatására fejlődött ki, sőt, mi több, szimbiózisban: a környezet is igazodik hozzá (például más élőlények).

INVARIANCIÁK

Az élőlény aktív szerepet játszik a környezet megismerésében és felfedezésében. Gibson szerint a látást nem szabad statikus képekben vizsgálni, mivel a mozgás a látás természetes része és az élőlény maga fedezi fel a környezetét. A vizuális információ nem egyszerűen betalál az élőlény szemébe, hanem ő maga fordul felé. Olyan vizuális ingerek után kutat, ami számára hasznosíthatók.²⁶

Az ökológiai megközelítésből következik, hogy a környezet nem egy idegen fizikai tér: az ingerek Gibson megközelítésében nem csupán a fénysugár hullámhossza és intenzitása, amit majd az agy megpróbál interpretálni. Elméleteiben figyelmen kívül hagyta az egyszerű ingerek bonyolult számításokon alapuló interpretációját. A látás működésének megértéséhez Gibson egy új típusú optika leírását javasolja: az ökológiai optikát.²⁷ Az ökológiai optika nem a fény és tárgyak objektív fizikai tulajdonságai és nem is a neuronok

26. „A látási, hallási, tapintási, szaglási információ létezése potenciális alapja az észlelésnek. Ahhoz, hogy konkrétan meghatározottá váljék, a szervezet aktivitása szükséges. Bár a pszichofizikai elmélet is feltételezte a mozgás fontosságát, nem hangsúlyozta az észlelés exploratív jellegét. Nem pusztán arról van szó, hogy az észlelőnek aktív figyelemmel differenciálnia kell az információt, hanem arról is, hogy az észlelő általában exploráció közben, mozgás által maga hozza létre a változást, maga kelti, generálja az információt: helyet változtat, odafordul, végigpásztáz egy tárgyat, megtapogat egy felületet a vizuálisan, taktilisan, vagy akusztikusan elérhető információ elkülönítése érdekében.” Agnes Szokolszky és Endre Kádár, „James J. Gibson ökológiai pszichológiája”, *Pszichológia* 2 (1999): 19. oldal

27. Vincent A. Billock, „A Framework for Vision’s Bag of Tricks”, *Science* 300, szám 5620 (2003. május 2.): 742. oldal, <https://doi.org/10.1126/science.1084097> „Gibson introduced the ecological approach, which focused on the analysis of invariant features of information in the optical stimulus while ignoring neural processing (1, 2). The approach led to many insights but was limited by a reluctance to broaden its interests or to incorporate other advances in perception and neuroscience.”

működésének tanulmányozása. Helyette a környezetről visszaverődő ingerek olyan típusú leírása, ami az élőlény számára közvetlenül, egy lépésben és magától értetődő könnyedséggel hozzáférhető.²⁸

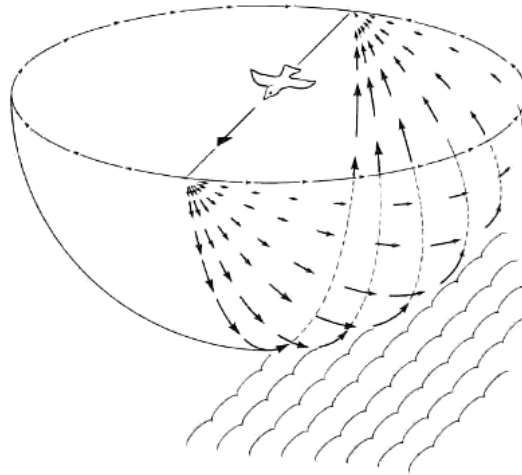
A környezetről a retinára érkező vizuális ingereket Gibson magasan strukturált információnak tekinti, és olyan mintázatok és szabályszerűségek tanulmányozását javasolja, amelyek mozgás közben is állandóak, vagy szabályszerűen változóak. Ezeket nevezi a környezet invariáns tulajdonságainak.

Gibson több tucat szabályosan változó ingert (invarianciát) említ a könyveiben. Gyakran olyan evidens megfigyeléseket, mint hogy a föld alattunk van és az ég felettünk. Az invarianciák közé sorolja az állandó arányokat és színválasztékot, továbbá olyan valamivel bonyolultabb vizuális összefüggéseket is, mint például az egymást követő nézetek közti átfedés, az optikai áramlás és a korábban már említett textúra gradiens.

* * *

A textúra gradiens felfedezése James Gibson nevéhez fűződik, aki minden bizonnyal nagyobb jelentőséget tulajdonított a textúra sűrűségnek, mint más hagyományos vizuális nyomoknak. Nem szükségesek bonyolult számítások, hogy megtippeljük a környezet felszínének relatív mélységét: a retinára érkező vetület textúra sűrűsége egyenesen arányos a felületek távolságával. Ez egy olyan szabályos és egyértelmű vizuális inger, ami egy lépésben ké-

28. „James J. Gibson ökológiai pszichológiája”, 2. „Új választ találtam arra az ősi, rejtélyes kérdésre, hogy hogyan észlelik a világot az állatok és az emberek. Ez a válasz természetesen tartalmazza a hagyományos elméletek elemeit, de új alapfogalmon nyugszik: ez az inger - információ fogalma, amelyet megkülönböztetnek az érzéki benyomásoktól, mint fizikai ingerhatásoktól. (J.J. Gibson, 1967, 142.o.)” Szokolszky és Kádár, „James J. Gibson ökológiai pszichológiája”



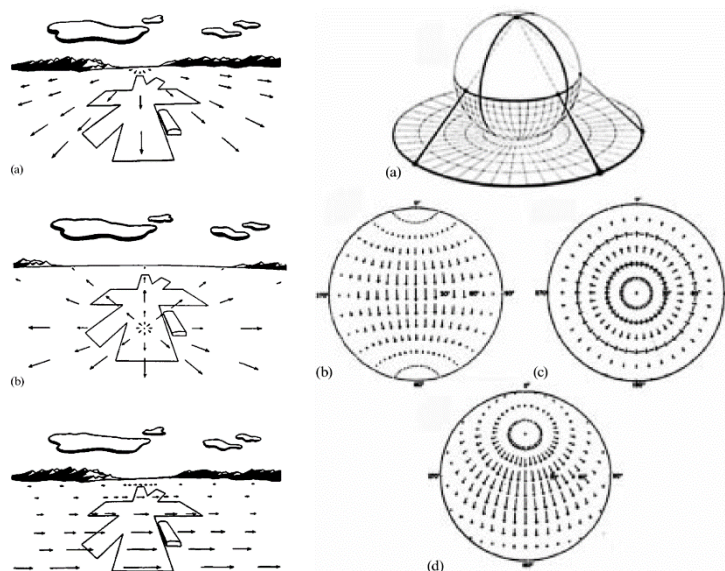
4.14. ábra. Egy repülő madár által tapasztalt optikai áramlás ábrázolása külső nézőpontból.

pes információt adni a felületek abszolút mélységéről, viszonylag egyszerűen hozzáférhető és alkalmas a körülöttünk lévő tér pontos leírására.

* * *

Az optikai áramlás a felületek mozgásának általános leírása, olyan vizuális információ, ami a teljes látómezőt lefedi és nem pusztán izolált tárgyak mozgását reprezentálja. Az áramlási mező a környezetnek olyan invariáns tulajdonsága, ami nem állandó, de mozgás közben szabályosan változó.

Az optikai áramlás a környezetről visszaverődő fény és a megfigyelő mozgásától függően törvényszerű mintázatokat hoz létre. Például, ha előre haladunk, akkor haladási irány felől a látómező egy statikus pontjából kiindulva, sugár irányban halad el a környezet. Minél közelebb van valami, annál erősebb a retinára eső mozgás. Ha forgunk, akkor a mező egyirányú egyenletes mozgást közvetít, amely független a mélységtől. Ha pedig éppen ülünk egy padon és felfut egy mókus a fára, akkor a mozdulatlan háttér nem közvetít



4.15. ábra. Optikai áramlás mozgástól függő variációi. Bal oldalon a megpasztalt nézőpontból, jobb oldalon külső nézőpontból ábrázolva.

mozgást, míg a látómező azon részei, ahol a mókus megmozdult, megtörik az egységes mozdulatlan mezőt és közvetítik a mozgás helyét és irányát.²⁹

Úgy is el lehet képzelni, mintha egy képen kis szimbolikus nyilakkal megjelölnénk a látómező mozgásának irányait, de nem csak bizonyos tárgyakét, hanem a felület minden pontját.

Az optikai áramlás fontos támpont a környezetben való tájékozódásban. Alapvető információforrás, amely lehetővé teszi számunkra, hogy érzékeljük a saját mozgásunkat és hogy megbecsüljük a körülöttünk lévő világ elrendezését. Emellett fontos szerepe van a lokális mozgás észlelésében is.

Szórakoztató kísérletek támasztják alá az optikai áramlás egyensúlyban betöltött jelentőségét. Például, ha egy lécen állva egyensúlyozunk és a körülöttünk lévő falakat mozgatják, nehezebb megmaradni a lécen, mint ha a

29. Diederick C. Niehorster, „Optic Flow: A History”, *i-Perception* 12, szám 6 (2021. november): 204166952110557. oldal, <https://doi.org/10.1177/20416695211055766>.

falak állnának.³⁰ Ha olyan folyosón reptetnek madarakat, aminek a felfestése hatással van az optikai áramlás észlelésére, például döntött sávokat festenek a falra, akkor a madarak számára is gondot okoz az egyenes haladás és csak cikázva képesek eljutni a szokatlan alagút végére.³¹

Nem csak viselkedési, neurobiológiai kutatások is megerősítik az optikai áramlás észlelésben betöltött szerepét. Úgy tűnik, az agynak van egy jól elkülöníthető területe, ami csak az optikai áramlás feldolgozásáért felel. Az itt lévő neuronok kifejezetten csak a mozgás lokális irányára reagálnak.³²

A KITAKARÓ ÉLEK ÉS AZ ÁLLANDÓ FELÜLETEK

Gibson rengeteg vizuális kísérletet végzett mozgó felületekkel, egységes, de véletlenszerű textúrákkal. Talán az egyik legnagyobb felfedezésének tartotta a kitakaró éleket.

Ha egy nagyobb felület előtt egy kisebb, azonos textúrájú négyzet mozog, akkor hirtelen kirajzolódnak a határoló élek és elválnak egymástól, mintha a kis négyzet önálló életre kelne.³³

A kisebb négyzet csak akkor tűnik el a szemünk elől, amikor a nagyobb mögé bújik. A köztes helyzetében (ahogy épp a nagyobb felület alá csúszik

30. A kísérletről megtekinthető egy videó a *perceiveacting* csatornáján, amin a vizuális ingerek egyensúlyra gyakorló hatását vizsgálják gyerekeknél és felnőtteknél Barry B. Lee, „The Evolution of Concepts of Color Vision”, *Neurociencias* 4, szám 4 (2008. július 1.): 209–224. oldal, pmid: 21593994

31. Partha S. Bhagavatula és mások, „Optic Flow Cues Guide Flight in Birds”, *Current Biology* 21, szám 21 (2011. november): 1794–1799. oldal, <https://doi.org/10.1016/j.cub.2011.09.009>.

32. Robert H Wurtz, „Optic Flow: A Brain Region Devoted to Optic Flow Analysis?”, *Current Biology* 8, szám 16 (1998. július): R554–R556., [https://doi.org/10.1016/S0960-9822\(07\)00359-4](https://doi.org/10.1016/S0960-9822(07)00359-4).

33. Gibson textúrafelületek mozgásának kísérletei elérhetőek a *perceivingacting* YouTube csatornán, ahol több alapeset is látható a textúra mozgásának kölcsönhatásairól. *Archival Gibson - 1969 - Optical transitions - Visible to invisible*, 2013, <https://www.youtube.com/watch?v=1qQLtIICXoE>.



4.16. ábra. A kis négyzet felülete annak ellenére észlelhető, hogy ki van takarva. (Gibson kitakaró élek kísérletének eredményei, csak mozgásban érzékelhetőek.³³).

be), mintha a kis négyzetet teljes valójában látnánk, annak ellenére, hogy félig ki van takarva - a négyzet teljes egészében az átmenet közben is szinte magától értetődően látszik.³⁴

Gibson lenyűgözte, hogy egymást takaró felületek mozgásban a kitakarás ellenére is észlelhetőek. Nem illúzióknak tekintette a hasonló vizuális jelenségeket, sokkal inkább a látás és a környezetben fellelhető információ szerves részének.

AFFORDANCIA

Gibson nem csak a tájékozódásban hasznos vizuális információkkal foglalkozott. Az invarianciák közé sorolja az affordanciákat is. Az affordancia a

34. Mivel a jelenség csak mozgásban észlelhető, ezért érdemes megtekinteni az eredeti felvételeket. A textúra felületek mozgásával végzett kísérletek, elérhetőek a *perceivingacting* YouTube csatornán, ahol több alapeset is látható a textúra mozgásának kölcsönhatásáról. https://youtu.be/1qQLtIICXoE?list=PLtoX6L88vjkcjQxj4CI_7vbjiY7QA4oN

35. *perceivingacting*, director, „Archival Gibson - 1969 - Optical Transitions - Visible to Invisible” (2013. október 23.), <https://www.youtube.com/watch?v=1qQLtIICXoE>



4.17. ábra. Részlet Gibson kitakaró élekről folytatott kísérleteinek felvételéből.³⁵

tárgyak olyan tulajdonsága, ami lehetőséget kínál fel cselekvésre. Egy szék, sőt akár egy farönk is, felajánlja például az ülés lehetőségét, egy alma pedig az evés lehetőségét.

Az affordancia nem csak egy vizuális címke, amit tudomásul vehetünk, annál sokkal zsigeribb. Gyakran úgy reagálunk vizuális ingerekre, hogy az nem is tudatosul: például, ha elkapunk egy felénk hajított labdát. Tucker és Ellis megmutatta, hogy egy tárgy látványa a szándéktól függetlenül is önkéntelenül kivált fizikai reakciókat, mintha a körülöttünk lévő tárgyat egy pillanatra valóban használnánk, ezzel mintegy felkészítve az embert cselekvésre.³⁶ Ez annyit jelent, hogy ha felfigyelek például egy labdára, amit általában rugdosni szoktak, akkor egy pillanatra nagyon hasonló ingerek futnak végig az izmokon, mintha valóban elrúgnám a labdát.

A szakirodalom több olyan esetet is feljegyzett, amikor a mikroaffordan-

36. A tanulmány szerint valószínűleg két külön neurális útvonalon történik a reprezentáció és a vizuális ingerekre adott reakció is. Rob Ellis és Mike Tucker, „Micro-Affordance: The Potentiation of Components of Action by Seen Objects”, *British Journal of Psychology* 91, szám 4 (2000. november): 451–471. oldal, <https://doi.org/10.1348/000712600161934>



4.18. ábra. A kórházi ajtókon gyakran nem kilincsek vannak, hanem lapos fémlémezek, ami jelzi: ezt az ajtót tolni érdemes.

ciákat a páciens nem képes kordában tartani. Az alkalmazási magatartás (Utilization behavior) egy neurális zavar. Például, ha az illető lát egy fogkefét, azt azonnal használni fogja és nyomban fogat mos, még akkor is, ha az a helyzettől idegen.³⁷

Velem gyakran előfordul, hogy az ajtókat reflexből megpróbálom tolni és húzni is, hogy kiderüljön merre nyílik. Don Norman formatervező szerint (aki a tárgytervezést az affordanciákra alapozza) ez nem az én hibám, hanem az ajtóé. Ami a formatervezést illeti, én gyakran okolom a tárgyat. A jól megtervezett tárgyak pontosan úgy működnek ahogy az ember automatikusan elvárná: amit húzni kell az legyen húzható, amit tolni kell az legyen tolható. Az ajtók hibája, ha rángatni kezdik őket.³⁸

37. Sanjay Pandey és Neelav Sarma, „Utilization Behavior”, *Annals of Indian Academy of Neurology* 18, szám 2 (2015): 235. oldal, <https://doi.org/10.4103/0972-2327.150613>.

38. Egy egész formatervezési irányzat épül Gibson affordancia hipotézisére, a felhasználói élményt szem előtt tartva tervezik meg a tárgyakat, és a használati szokásokat figyelembe véve alakítják ki a formájukat és funkciójukat. Don Norman és tanítványai például rendszeresen tesztelték a tárgyaikat és addig alakították, míg természetessé nem vált a használatuk. A VOX készített Normanról egy rövid riportfilmet is: *It's not you. Bad doors are everywhere.*, 2016, <https://www.youtube.com/watch?v=yY96hTb8WgI>.

5. A látvány mint hipotézis

Hermann von Helmholtz német orvos és fizikus volt a 19. században, a látást következtetési problémának tekintette. A század végén megjelent „Handbuch der Physiologischen Optik” című könyvében foglalja össze elméletét a látásról. Teóriájának legfőbb állítása, hogy az észlelés nem a külső világ közvetlen reprezentációja, hanem a következtetés tudattalan (unconscious inference) folyamatának eredménye, amelyben az elme az adott vizuális nyomok és a tapasztalat segítségével konstruál koherens, összefüggő képet a külvilágról.

Függetlenül attól, hogy Bayes nem látáskutatással foglalkozott, tétele alkalmas Helmholtz tudatalatti következtetéselméletének formalizálására, ami központi szerepet játszik, ha **az észlelésre, mint az agy által létrehozott hipotézisre tekintünk.**

Thomas Bayes angol filozófus és matematikus volt a 18. században, az „An Essay towards solving a Problem in the Doctrine of Chances”¹ poszthumusz megjelent műve egyaránt nagy hatású a statisztika, a nyelvészet és a látáskutatás szempontjaiból.² A Bayes-tétel egy olyan matematikai formula, amely lehetővé teszi különböző események pontos valószínűségeinek kiszámí-

1. Thomas Bayes, „An Essay towards Solving a Problem in the Doctrine of Chances. By the Late Rev. Mr. Bayes, F. R. S. Communicated by Mr. Price, in a Letter to John Canton, A. M. F. R. S.”, *Philosophical Transactions* 53 (1763): 370–418. oldal, JSTOR: 105741, <https://www.jstor.org/stable/105741>.

2. Richard L Gregory, „Bayes Window (1)”, *Perception* 34, szám 12 (2005. december): 1421–1422. oldal, <https://doi.org/10.1068/p3412ed>.

tását korábbi ismeretek és új tapasztalatok valószínűségének kombinációja alapján.

A Bayesiánus megfigyelő modell az érzékszervi ingerekből érkező információt kombinálja a világban bekövetkező események relatív gyakoriságával. A statisztikai következtetéselmélet szerint a végső valószínűség arányos az előzetes (elvárt) valószínűséggel. Minden lehetséges állapotnak még a beérkező információ előtt van egy adott valószínűsége. Ez a valószínűségi eloszlás a látórendszer által érzékelt, illetve a korábban megtapasztalt formák, anyagok jellegzetességei, a megvilágítás stb. egymásra hatásának és kombinációinak gyakoriságán alapul. A statisztikai elemzés összeveti az adott tárgyról vagy jelenetről ismert információkat az aktuális ingerekkel, majd az adott körülményekhez képest a legvalószínűbb változatot prezentálja. Minél több bizonytalanság adódik a retinális képből, annál nagyobb súlyt kapnak a megelőző ismeretek.³

Az agy tehát a külvilágból érkező érzékelési információkat összeveti a magasabb szintű várakozásaival (jóslataival), majd a lehetséges variációk közül kiválasztja a legvalószínűbb hipotézist. A látás leginkább egy kirakóshoz vagy trükkös feladványhoz hasonlít.⁴ Kicsit olyan, mint a barkochba: már az első kérdés előtt is lehet elképzelésem a megoldásról, de idővel egész biztosan több különböző is felbukkan. A változatok valószínűsége úgy alakul,

3. Daniel Kersten, Pascal Mamassian és Alan Yuille, „Object Perception as Bayesian Inference”, *Annual Review of Psychology* 55, szám 1 (2004. február 1.): 271–304. oldal, <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.55.090902.142005>.

4. Nick Chater, *The Mind Is Flat: The Illusion of Mental Depth and the Improvised Mind* (London: Penguin Books, 2019), 165. Nick Chater nem csak az észlelést tekinti inferenciának, jóval tovább merészkedik. Az elme teljes működését, az öntudatot is beleértve, az aktuális információ, és az éppen hozzáférhető emlékek alapján, egy egyébként **nyitott feladvány**, pillanatnyi megfelejtésének tekinti.

ahogy egyre több konkrét információhoz jutok. Néhány ötlet kiesik, mások megerősödnek, vannak amik fel sem merülnek vagy halványan derengenek, és akár egészen újak is felszínre kerülhetnek. A megfejtés akármilyen valószínű is, mégsem lehetek benne teljes mértékben biztos.

Az agy vizuális feldolgozásért felelős moduljai egymásra épülve párhuzamosan és hierarchikusan is együtt dolgoznak. A különböző modulok különböző lehetséges variációkat állítanak elő, amelyeket valószínűség szerint súlyozunk. A magasabb szintű területek elnyomják a látórendszer alsóbb rétegeit, ha azok ellentmondásba ütköznek az aktuális interpretációval.⁵

Ha a hozzáférhető információ nem elégséges, esetleg félrevezető vagy a megfejtés különösen szokatlan, akkor időnként megeshet, hogy a látórendszer téved - ezen alapszik számos optikai illúzió.

5.1. A velünk született vizuális rendszer pre-koncepciói

Az említett vizuális nyomok időnként ellentmondásosak, az érzékszervi információból építkező komputációs algoritmusok nem feltétlenül jutnak azonos eredményre és gyakran bizonytalanok. A tér észlelésének tapasztalata ezzel szemben mégis ellentmondásoktól mentes, egyértelmű és konzisztens.

A tér mint a tárgyi világ rendező elve, a látvány egyik legstabilabb tulajdonsága. Glennster és munkatársai egy kutatásában azt vizsgálták, hogy miként marad meg a tér érzékelt stabilitása az ambivalens vizuális jelek elle-

5. Kersten, Mamassian és Yuille, „Object Perception as Bayesian Inference”, 21. oldal.

nére.⁶

A kísérletben a résztvevők VR-sisakot viseltek, majd egy virtuális térben sétáltak, melyben a mozgás közben változott a szobák mérete. Bár a mozgásérzékelés és a binokuláris látás lehetővé tette volna a tér változásának észlelését, a kísérlet alanyai mégsem ezt tapasztalták.

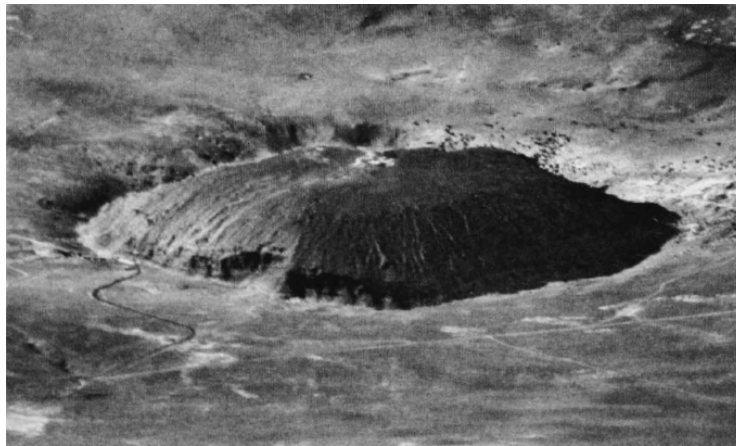
A látórendszernek erős előfeltevése van arról, hogy a mozgó tárgyak mérete nem változik, hiszen ez nem túl gyakori jelenség. Ez az erős előítélet a stabilitás irányába befolyásolja a megfigyelők látórendszerét, így, ha szükséges, az agy észrevétlenül újrakalibrálja a látórendszer többi modulját, hogy azok illeszkedjenek a stabil világ előfeltevéséhez.⁷ Az eredmények egyrészt azt sugallják, hogy az emberek hajlamosak figyelmen kívül hagyni a mozgásból vagy a binokuláris látásból eredő támpontokat is a konzisztens tér észlelésének javára. A tér szerkezetének állandósága olyan erős preconcepcióval van felvértezve, hogy egy szokatlan, izgó-mozgó teret is állandónak és stabilnak érzékelünk.

* * *

Az emberi látórendszer elfogult például a domború alakzatok érzékelésére, amint azt a jól ismert „üreges arc illúzió” is mutatja. Az üreges maszkot nehéz másként érzékelni, mint egy normális, domború arcot, még akkor is, ha tudjuk, hogy valójában egy homorú maszkról van szó. Ez az előítélet valószínűleg annak köszönhető, hogy természetes környezetben a domború

6. Andrew Glennerster és mások, „Humans Ignore Motion and Stereo Cues in Favor of a Fictional Stable World”, *Current Biology* 16, szám 4 (2006. február): 428–432. oldal, <https://doi.org/10.1016/j.cub.2006.01.019>.

7. Glennerster és mások, „Humans Ignore Motion and Stereo Cues in Favor of a Fictional Stable World”; Frisby és Stone, *Seeing*, 509. oldal.



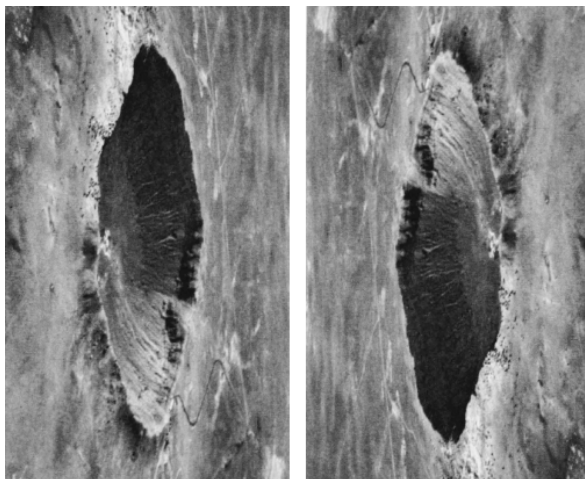
5.1. ábra. Hegy vagy kráter?

formák gyakrabban fordulnak elő - lássuk be, ritkán látunk üreges arcokat.

* * *

A látórendszernek határozott elképzelése van a megvilágítás jellemző irányáról is. Gyakori példa egy hegy képe fejjel lefelé, ami inkább kráternek tűnik, mintsem megfordított hegynek, mert a vizuális rendszerünk előítéletet mutat a felülről érkező megvilágítás felé is. Sőt, két tanulmány szerint inkább a kissé balról érkező megvilágítást tekinti jellemzőnek az egyenesen fentről érkező fényvel szemben.⁸ Ez a torzítás is annak a ténynek tudható be, hogy a természetes környezetben gyakrabban fordul elő a felülről érkező megvilágítás. A nap például valóban ritkán világít alulról, mi több, általában nem is egyenesen fentről, hanem kissé oldalról süt. Így már nem is olyan meglepő állítás, hogy vizuális rendszerünk épp az ilyen fényviszonyok és formák hatékony feldolgozására van optimalizálva.

8. Jennifer Sun és Pietro Perona, „Where Is the Sun?”, *Nature Neuroscience* 1, szám 3 (1998. július): 183–184. oldal, <https://doi.org/10.1038/630>; Kersten, Mamassian és Yuille, „Object Perception as Bayesian Inference”, 9. oldal.



5.2. ábra. Kissé balról, vagy jobbról érkezik a viágítás?

5.2. A tudás hatása a látványra

Az észlelt látványt azonban nemcsak az ősidők óta változatlan természetes közeg befolyásolja, hanem a mindennapokban megszerzett ismeret is hozzájárulhat.

Az előzetes tudás jelentőségének jól ismert példái a túloldalon szereplő fényképek (lásd 5.3). Ha korábban nem találkoztunk még velük, első pillantásra valószínűleg csak foltok összefüggéstelen kavalkádjának tűnnek, de ha szánunk rájuk egy kis időt (és próbáljuk megérteni, mi lehet rajtuk), egyik pillanatról a másikra felbukkan egy-egy valós jelenet (ezen a ponton nem akarom elvenni a játékot az olvasó elől aki nem ismerné az említett képeket, ezért a megfejtést a következő oldalon folytatom).

9. Ronald C. James in Gregory *Értelmes Szem* 1973; Nick Chater, *The Mind Is Flat: The Illusion of Mental Depth and the Improvised Mind* (London: Penguin Books, 2019), 161. oldal



5.3. ábra. Mit ábrázolhatnak a képek?⁹

Történetesen egy dalmatáról és egy tehénről van szó.¹⁰

A dalmata képe különösen erős benyomást kelt, de a felfedezése korántsem olyan magától értetődő, ha a megfigyelőt nem befolyásolják. A túlnyomó többség a kép közepén vél felismerni egy alakot, vagy egy kiemelkedő formát, viszont sokan a dalmata helyett inkább látják elefántnak, vagy egy tornázó embernek. Egy felmérés szerint tizenkettőből egy ember fedezi fel „helyesen” a dalmatát.¹¹

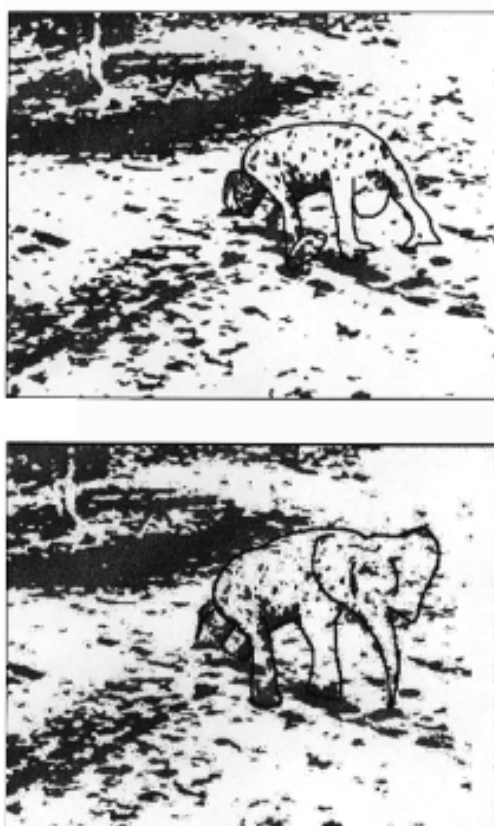
Attól a pillanattól kezdve, hogy megismerjük a megfejtést, legtöbbször már nincs visszaút. Többé nem tudjuk foltok mintázataként értelmezni a képet és a szaglászó dalmata, vagy a borús tekintetű tehén már örökre velünk marad. Akár évekkel később is, éppoly tisztán megjelennek, mint az első alkalommal, amikor megfejtettük őket.

* * *

Craig Mooney 1950-ben készített fekete-fehér arcai valamivel komolyabb kihívást jelentenek ha meg akarjuk őket ismerni, még akkor is, ha tudjuk hogy mindegyik fénykép egy-egy arcot ábrázol. Amint sikerül felfedezni néhány arcot, az jóval több lesz foltoknál vagy egyszerű sematikus arcoknál. Mindegyiküknek saját karaktere van, életkora, hangulata, felsejlik benne a

10. Richard Gregory amellett érvel, hogy a kutyát csak akkor ismerhetjük fel az adott információkból, ha az agy információt tárol a kutyáról és képes a retinális információt beazonosítani. Azaz csak top-down mechanizmusok segítségével észlelhetjük a kutyát. Két alább hivatkozott tanulmány a bottom-up algoritmikus megközelítést erősíti. Ami szerint a látás a korábban említett textúra gradiens és a textúra izotrópiája alapján is képes a felület térbeli meghatározására. Mindez nem befolyásolja azt az állítást, hogy az előzetes tudás hatással van a kép értelmezésére. Richard L Gregory, *Az értelmes szem* (Budapest: Gondolat Kiadó, 1973)

11. Gert J Van Tonder és Yoshimichi Ejima, „Bottom-Up Clues in Target Finding: Why a Dalmatian May Be Mistaken for an Elephant”, *Perception* 29, szám 2 (2000. február): 149–157. oldal, <https://doi.org/10.1068/p2928>.



5.4. ábra. Tornázó ember és elefánt körvonala.



5.5. ábra. Craig Mooney - fekete fehér arcok 1950¹²

környezet, a megvilágítás, a légkör és talán még az 50-es évek Amerikája is.

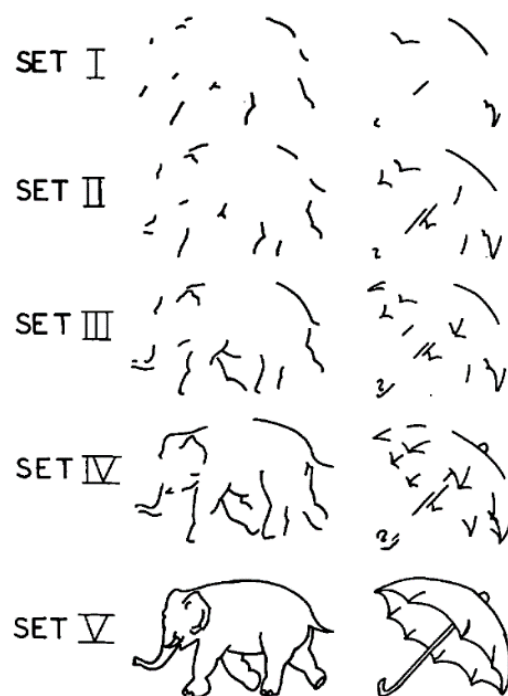
* * *

Eugen S. Gollin 1960-ban olyan vonalrajzokkal készített felmérést, amik mindennapi tárgyakat és állatokat ábrázolnak, mint például egy elefántot vagy egy esernyőt. Minden rajz egy-egy sorozat, ahol a vonalak fokozatosan eltűnnek vagy rövidülnek, hogy végül már-már felismerhetetlenné váljon az ábrázolt alak.¹³

A Gollin-tesztben a részleges ábrázolású vonalrajzoktól indulnak, fokozatosan egyre teljesebb változatok felé, hogy megállapítsák, hogy (az egyén

12. Chater, *The Mind Is Flat*, 205. oldal

13. Eugene S. Gollin, „Developmental Studies of Visual Recognition of Incomplete Objects”, *Perceptual and Motor Skills* 11, szám 3 (1960. december): 289–298. oldal, <https://doi.org/10.2466/pms.1960.11.3.289>.



5.6. ábra. Egy tipikus Gollin figura öt variációja.

számára) melyik fázisban ismerhető fel először az ábrázolt figura.¹⁴

Jellemzően, akik már látták a tesztet, azok számára a felismerési küszöb csökken, és olyan rajzokon is képesek azonosítani az elefántot, ahol korábban még nem.

5.3. A szándék hatása a látványra

A látvány hipotézise függ a velünk született látórendszerétől, az előzetes tudástól, de az interpretációt befolyásolják az aktuális elvárásaink is. Gyakran használatos példa a Necker-kocka, amit alulról és felülről is lehet értelmezni. A váltásban sokat segít a nézőpont képzeletbeli helye, amelyet akaratlagosan váltogathatunk.

Ehhez nem feltétlenül kellene mesterséges körülmények, a mindennapok során a szabályok ugyanúgy érvényesek.

Egyik éjjel a Dunán komppal keltünk át és azon tűnődöttünk, hogy talán egy medve úszik-e a vízben? Valószínű, hogy csak egy bója ingadozott a hullámokon, ami túl nagy volt medvének, ráadásul zöld. Mindennek ellenére megtetszett a dunai zöld medve gondolata és egy cseppet sem okozott gondot, hogy a bója helyén valóban lássam a folyót éppen átúszó zöld dunai medvét. A Necker-kockát nézhetem alulról vagy felülről. A sötét folt a Dunán, ha úgy tartja kedvem bója, máskor medve.

14. A megszakított vonalakat gyakran interpretáljuk kitakarásnak. A Gollin figurák egy újabb generatív változata a vonalak megszakítása helyett sok kis felülettel takarja ki az eredeti ábrát. Ebben a változatban a kitakaró formák méretének és sűrűségének eloszlása szabadon változtatható. Valery Chikhman és mások, „Incomplete Figure Perception and Invisible Masking”, *Perception* 35, szám 11 (2006. november): 1441–1457. oldal, <https://doi.org/10.1068/p5366>

* * *

Ha az észlelésre mint hipotézisre tekintünk, akkor ennek messzire vezető következménye, hogy a látvány minden esetben csak egy tipp, jóslat, ami már-már hallucináció. Csak közvetett kapcsolatban van a tárgyi világgal.¹⁵Az agy valójában megpróbálja megjósolni, hogy mit fog látni, majd a beérkező új információkhoz igazítja az elvárásait.

Hétköznapi jelenség, hogy rossz fényviszonyok között igyekszünk kitalálni, mit is látunk valójában. Miközben nincs elég retinális információnk, hogy pontos képet alkossunk a külvilágról, valójában valami hasonló folyamat zajlik le, mint a fenti példák esetében. Kosslynnál már láthattuk, hogy a látás és a képzelet milyen szoros átfedésben vannak. A Dunán úszó medvét is csupán a józan ész alakítja egyszerű bójává.

Az észlelés mint hipotézis azonban nem azt jelenti, hogy a látvány teljesen elszakadt volna a valóságtól. Az agyunk a külvilágról érkező információkat folyamatosan teszteli és módosítja. A látórendszer elvárásai folyamatosan alkalmazkodnak az új információkhoz, csakúgy mint az észlelt látvány. A korábban megszerzett tapasztalattal vagy a hétköznapiak során megszerzett ismeretekkel összhangban, statisztikai módszerekkel a lehető legkövetkezetesebb hipotézist állítja fel.

15. Gregory, „Bayes Window (1)”, 1421. Ha észlelt látvány elveszíti a közvetlen kapcsolatot a tárgyi világgal, annak Gregory szerint morális következményei vannak. Ha az agy láthatóan a lehető legracionálisabb utat követi, hogy megmutassa a legvalószínűbb igazságot, akkor az észlelés többé nem vádolható az illúziókért.

6. A látvány mint tanulás, tapasztalat és megfigyelés

Az észlelés a gondolkodás egyik fajtája.

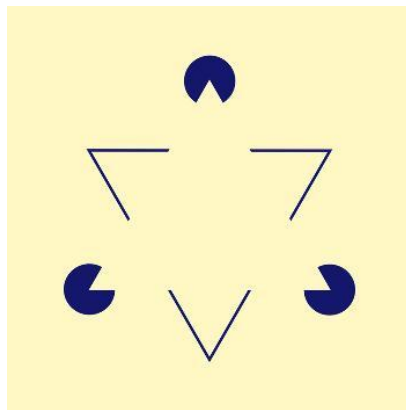
—Nick Chater¹

6.1. A látás fejlődése

Jól ismert vizuális jelenség, hogy gyakran ott is vonalakat látunk, ahol az a képi információból nem feltétlenül következne. Az illuzórikus élek legismertebb példája a Kanizsa háromszög, ahol a vonalak és körcikkek között két háromszög is látható. Az ábra csaknem minden optikai illúzióval foglalkozó könyv egyik alappéldája, mert az olvasók számára a fekete körvonallal ábrázolt háromszög élei és a fehér háromszög felülete is nyilvánvalóan észlelhetőek.

A szinte magától értetődő két háromszög felnőttként elkerülhetetlenül az ábra része. Azonban beletelik pár évbe, hogy azt is lássuk, ami valójában ott sincs. Néhány éves gyerekek számára a fehér háromszög egyáltalán nem

1. Chater, *The Mind Is Flat*, 49. oldal



6.1. ábra. Kanizsa háromszög.

„látható” és csak idővel, fokozatosan 4 és 7 éves kor között alakul ki.

* * *

A csecsemők, amint képesek lesznek helyet változtatni, rendszerint hajlamosak legurulni az ágyakról, leesni a teraszról, vagy éppen lebukfencezni a kanapéról. Eleanor Gibson a 60-as években a gyermekek vizuális képességeinek fejlődésével foglalkozott.² Feltételezése szerint a gyermekek, amint képesek a szándékos helyváltoztatásra, meg kell hogy tanulják észlelni a mélységet, hiszen az életük múlhat rajta. A fejlődéstudomány talán egyik leghíresebb, „Vizuális szakadék” nevű kísérletében vizsgálta, milyen életkorban jelenik meg a **mélység** vizuális észlelése.

A kísérletben egy asztalt osztottak két részre, mindkét térfélen pepita mintás felülettel, de az egyik oldalon egy üveglap alatt egy méteres mélység

2. Eleanor és James Gibson házastársak voltak, sok tekintetben osztozott a véleményük az észlelés elméletének kérdéseiben. Míg James Gibson, a látás általános törvényszerűségeit tanulmányozta, Eleanor Gibson a gyermekkori észlelés kialakulásával foglalkozott, és egyben az észlelés fejlődéstudományának úttörője és meghatározó kutatója volt. Karen E. Adolph és Kari S. Kretch, „Gibson’s Theory of Perceptual Learning”, *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (Elsevier, 2015), 127–134. oldal, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.23096-1>.



6.2. ábra. Eleanor Gibson 1960-ban végzett híres vizuális szakadék kísérletében résztvevő csecsemő és kecske.

tátongott. A kísérletben résztvevő 7 és 14 hónapos kúszó és mászó gyermekek (annak ellenére, hogy kitapinthatták az üveglapot) néhány esettől eltekintve nem merészkedtek az alattuk tátongó látszólagos szakadék fölé, még akkor sem, ha az édesanyjuk hívta és izgalmas játékokkal kecsegtette őket.

A vizuális szakadékot megismételték kecskékkal, csirkékkel, macskákkal patkányokkal, sőt még teknősökkel is. Még az egy napos csibék sem léptek az üvegfelületre, a kecskék pedig megdermedtek, amikor a vizuális szakadékra

helyezték őket. Ugyanakkor a patkányok, akik általában sötétben kóborolnak és jobban támaszkodnak a tapintásra, gond nélkül végigmásztak az üveglapon.

A látás és az észlelés fejlődése évekig tart. Felmerül a kérdés, hogy a látás és az észlelés fejlődése mennyiben köszönhető az evolúció által ösztönzött születés utáni fejlődésnek és mennyiben az egyén tapasztalatainak és tanulásának.

A kísérletben résztvevő állatok, amik gyakran születésüktől fogva tudtak járni, egyszer sem léptek mellé. Az emberek között, habár ritkán, de időnként mégis előfordult, hogy egyszerűen figyelmen kívül hagyták a szakadék problémáját és megpróbálták felfedezni az üveglapot.

* * *

Eleanor Gibson vizuális szakadék kísérletét Karen Adolph a 2000-es évek elején különböző korú babákkal is megismételte.³ Adolph a gyermekek mozgásának és észlelésének fejlődésével foglalkozik. Sem az elmét, sem a testet nem tekinti állandónak. A változó test és a vele változó viselkedés és mozgás kutatásával foglalkozik.⁴

Adolph a testmozgás és a tapasztalatszerzés fontos szerepét is vizsgálta a gyerekeknél és a legkülönbébb változatokban, például üveglap nélkül is újraalkotta a kísérletet. A már tapasztalt jól kúszó babák (ahogy Gibson

3. Karen E. Adolph, Kari S. Kretch és Vanessa LoBue, „Fear of Heights in Infants?“, *Current Directions in Psychological Science* 23, szám 1 (2014. február): 60–66. oldal, <https://doi.org/10.1177/0963721413498895>.

4. Karen Adolph egyik tanulmányában például azt vizsgálta, hogyan változik a terhes nők mozgása, például ha egy szűk ajtón kell áthaladniuk. J. Franchak és K. Adolph, „Perceiving Changing Affordances for Action: Pregnant Women Walking through Doorways“, *Journal of Vision* 7, szám 9 (2010. március 18.): 116–116. oldal, <https://doi.org/10.1167/7.9.116>

eredeti kísérletében is) valóban elkerülték a látszólagos szakadékot. Azonban az újonc, éppen a mozgással kísérletező csecsemők az új kísérletek alapján szemrebbenés nélkül beleesnének a szakadékba, ha éppen nem kapná el őket valaki. A kísérletek tapasztalata szerint ez a tanulási folyamat egy új mozgásfázis megjelenésével minden alkalommal újraindul a gyerekeknél, amint elkezdnek mászni, járni vagy futni.

Vizsgáltak olyan csecsemőket is, akik még nem tanultak meg mászni. Meglepő módon már két hónapos korban is pulzusváltozás figyelhető meg attól függően, hogy mekkora mélységbe néznek le.⁵ A mélyebb oldalon a babák pulzusa lelassul. A lassú szívverés azonban az újszülötteknél nem a félelemre, hanem az érdeklődésre utal. A mélységet egyértelműen érzélik, de úgy tűnik sokáig egyáltalán nem is félnek, sokkal inkább kíváncsivá teszi őket az izgalmas információ.

6.2. Az észlelés és a tapasztalat

A látás élessége a retinán található apró területeken, egy kis gödröcskében a retina mélyén az ún. sárgafoltban koncentrálódik. Ha például egy könyvet olvasunk, körülbelül 10-15 karaktert látunk élesen. Többek közt emiatt is mozog annyit a szemünk. Ha a teljes kép éles lenne, elég lenne pusztán a figyelmünket átirányítani. A periféria életlenségéről már korábban is olvastam több tankönyvben és tanulmányban, de eddig korábban nem figyeltem

5. Már a néhány hónapos csecsemők is reagálnak a mélységre. Ez azért is figyelemre méltó, mert az ilyen fiatal, két hónapos csecsemők, még nem látnak élesen. Nem csak a fókuszálási képességeik tökéletlenek, de a receptorok sem fejlődtek még ki teljesen. J. J. Campos, A. Langer és A. Krowitz, „Cardiac Responses on the Visual Cliff in Prelocomotor Human Infants”, *Science (New York, N.Y.)* 170, szám 3954 (1970. október 9.): 196–197. oldal, <https://doi.org/10.1126/science.170.3954.196>, pmid: 5456616

rá fel. Nick Chater a „The Mind is Flat” című könyvében oldalakon keresztül több szemszögből, különböző hasonlatokkal meséli el és írja le, hogy a retina széle felé haladva mennyivel kevesebb receptor található, és hogy a perifériás látásunkat (habár fel sem tűnik) szinte teljes homály fedi.⁶ Amióta elolvastam ezt a könyvet, folyton feltűnik és ezt a homályt látom. **Megtanultam homályosan látni.** A tudás valamilyen módon beépült az észlelésbe. A látvány részévé vált.

6.3. A világ újra fejjel lefelé

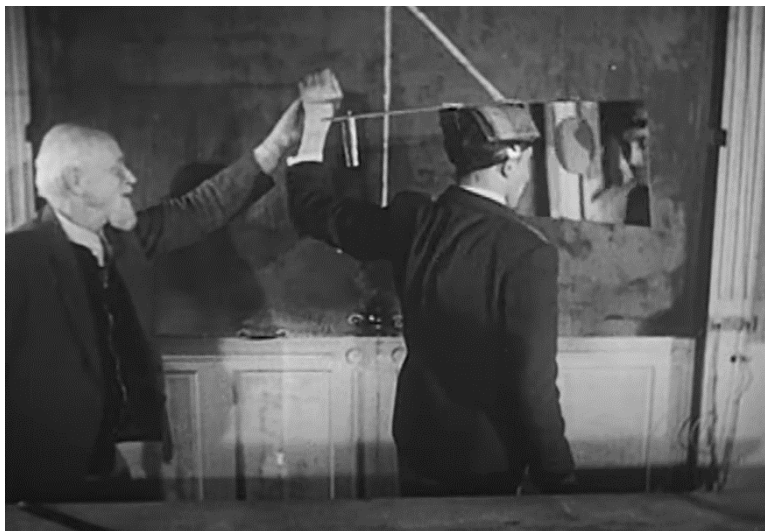
Az 1930-as években az Innsbrucki Egyetemen híressé vált és felettébb szórakoztató kísérletsorozat vette kezdetét, a rektor Theodor Erismann és Ivan Kohler vezetésével.⁷ A látás adaptációs képességeit vizsgálták felnőtteknél olyan szemüvegekkel, ami megfordítja a látványt. A kísérletekben különböző szemüvegeket használtak, némelyik horizontálisan vagy vertikálisan tükrözött, mások felcserélték az előre-hátra irányokat.

Amikor Erismann először hosszú időre vette fel a szemüveget, amellet

hogy elsőre mindent fejjel lefelé látott, más vizuális jelenségek is szemet szúr-

6. Chater, *The Mind Is Flat*, 53–54. oldal A perifériás látás homályos mivoltára, viszonylag könnyen figyelhetünk magunk is. Chater szerint ahogy a periféria élettensége általában fel sem tűnik és amellet érvel, hogy a körülöttünk lévő világ nincs valójában előttünk. A látásunk nem építi fel a külvilág tükörképét. Helyette, ha kérdés merül fel vele kapcsolatban, például, hogy ’mi lehet az a zöld megrebbenő folt a periférián’, akkor a szemünk pillanatokon belül felé fordul és képes választ adni rá. Az információ nincs előttünk, de bármelyik pillanatban hozzáférhető. Mégis mintha képes lennék a figyelmet erre a homályos képre irányítani, és látni az életlen retinális képet, épp úgy, ahogy a figyelmet tudom a kép egy részletére, vagy a látvány egészére összpontosítani. A korábban említett Keiko Ishii „Kultúra és vizuális észlelés” című tanulmánya érinti ezt a kérdést.

7. Pierre Sachse és mások, „The World Is Upside down” – The Innsbruck Goggle Experiments of Theodor Erismann (1883–1961) and Ivo Kohler (1915–1985)”, *Cortex* 92 (2017. július): 222–232. oldal, <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2017.04.014>.



6.3. ábra. Archív felvétel az Innsbrucki Egyetemen végzett kísérletekből. A szerkezet az előre-hátra irányokat cseréli fel. A képen Theodor Erismann, és Ivo Kohler szerepel.

tak neki: például, hogy a közeli tárgyak erősen görbülnek, és a tárgyak alakja is megváltozik, a falak rombuszokká, a csészék elliptikussá torzulnak.⁸ Az egyensúlyérzékét még ennek ellenére sem veszítette el, de gyakran nyújtotta a csészéjét fejjel lefelé.

A szemüvegeket többen hetekig is állandóan hordták. A kísérletek tapasztalata alapján az első két-három napban a világot fejjel lefelé észlelték, ami gyakran okozott nehézséget, például egyikük a plafonon lévő csillárt akarta átlépni. Az ötödik naptól egyszer csak helyére fordult a világ és a hatodik naptól minden viselkedés normalizálódott. Többé nem okozott gondot a biciklizés, vívás, hegymászás, ugyanakkor az írott szöveg még mindig nehezen volt olvasható. A folyékony olvasás csak a tizenkettedik napon vált újra természetessé.⁹

8. Sachse és mások, 228. oldal.

9. „Living In A Reversed World”, collaborator Pennsylvania State University és James Gibson (Pennsylvania State University, 1958), 0:06:36., <http://archive.org/details/Livi>

Az Erismann és Kohler vezetésével végzett kísérletek bizonyították, hogy „az észlelés nem a kívülről beáramló ingerek passzív ábrázolási folyamata, hanem konstruktív, aktív folyamat eredménye, még felnőttkorban is.”¹⁰

6.4. Oliver Sacks és a felnőttkori tanulás

Oliver Sacks író és neurológus, a magyar nyelven is elérhető *A férfi, aki kalapnak nézte a feleségét*¹¹ és az *Antropológus a Marson* című könyveiben pácienseinek különös neurológiai zavaraival foglalkozik.

Adódnak esetek, amikor az agy egyes részei felmondják a szolgálatot. Ilyenkor szerencsés helyzetben hosszas gyakorlással megtanulhatunk hozzá alkalmazkodni.

* * *

Sacks egy páciense egyik napról a másikra azon kapta magát, hogy időnként elvesztette a karjait és meg kellett keresnie.¹² Súlyos idegi sérülést szenvedett, és a testének többé nem volt tudatában. Ahogy ő maga fogalmazott „mintha a teste megvakult volna”. Míg az öt érzékszervünk észlelésének teljes tudatában vagyunk (tudjuk, hogy hallunk, látunk stb.), addig van egy hatodik érzékszervünk, ami annyira természetes, hogy alig veszünk róla tudomást.

ngInARversedWorld. Az egyetemeken végzett kísérletekről videófelvetelek is készültek. Az archive.org oldalán elérhető felvételeket, James Gibson narrálja. Az állítás, miszerint a folyamatos olvasás csak két hét elteltével lesz újra normális, James Gibsontól hangzik el az általa narrált felvételeken 6:36-nál.

10. Sachse és mások, „The World Is Upside down” – The Innsbruck Goggle Experiments of Theodor Erismann (1883–1961) and Ivo Kohler (1915–1985)”, 229. oldal.

11. Oliver Sacks, *A Férfi, Aki Kalapnak Nézte a Feleségét, És Más Orvosi Történetek*, ford. Katalin Fenyves és mások (1986; Park Könyvkiadó, 2022).

12. Sacks, fej. A testét vesztett hölgy.

Ezt a hatodik érzékünket az 1890-es években nevezték el propiocepciónak.¹³ Ez felel a testünk észleléséért. Miután Sacks páciense elvesztette propiocepcióját, hamar ráébredt arra, hogy amennyiben nem tudják meggyógyítani és az egyik érzékszerve megszűnt funkcionálni, nincs más választása, mint egy másikkal pótolni, többek közt a szemével és hallásával. Hosszú ideig tartott, míg újra lábra tudott állni. Azért, hogy kikövetkeztesse saját testének pozícióját, mostantól oda kellett figyelnie a hangokra, követnie kellett szemével a lépéseit, végtagjait és egész testének tartását. Kitartó munkával, nemcsak hogy járni tanult meg, de a külső ingerek is egyre természetesebbé váltak, lassan fel sem tűntek számára, hogy minderre figyel.

* * *

Sacks egy másik páciense hasonló nehézségekkel küzdött. A Parkinson-kór hatására az izmokból visszatérő információ, ami tájékoztatná a testtartásáról, felmondta a szolgálatot. Ő maga észre sem vette, de rendszeresen oldalra dőlve járt. A páciens, lévén ács, hamar rájött, hogy az észleléséből hiányzik a „vízmérték”. Hogy az elvesztett érzékét pótolja, készített magának egy speciális szemüveget, amibe rakott egy vízmértéket. A testtartása így szó szerint mindig szem előtt volt. Az első napokban még figyelnie kellett a szemüvegben ingázó buborékot, viszont idővel már egy pillanatra sem vonta el többé a figyelmét, mégis javult a testtartása. Az immár észrevétlen vizuális információ kiváltotta az egyensúlyért és testtartásért felelős érzékeit.¹⁴

Sacks más esettanulmányjaiban is szerepet játszik a tanulás. Például egy

13. Sacks, *A Férfi, Aki Kalapnak Nézte a Feleségét*, 73. oldal.

14. Sacks, fej. Vízszint.

idős hölgy veleszületett betegsége miatt sosem használta a kezeit.¹⁵ Az ápolók úgy tudták, a kezei nem funkcionálnak, ezért mindenben kiszolgálták. Idős korában kiderült, hogy a kezeinek valójában nincsenek fiziológiai problémái, csak egyszerűen sosem tanulta meg használni őket. Sacks segítségével felfedezte, hogy a kezei nem pusztán két élettelen zsömle, és életében először megtanulta őket épp úgy használni, mint bármelyik egészséges gyerek, csak nem pár hónaposan, hanem 60 évesen.

6.5. A perceptuális tanulás

Habár az észlelés bizonyos tekintetben részben velünk született, örökölt hajlam (mint például a mélység észlelése vagy az arcok felismerése), azonban vannak olyan esetek, amit mégiscsak az egyén **természetes** tapasztalata magyarázhat meg. Akik rendszeresen járnak erdőbe gombászni, könnyebben vesznek észre a bokrok alatt megbúvó kis kalapokat, éppúgy, ahogy gyakran a festők is olyan apró színárnyalatbéli különbségeket vesznek észre, amit a tapasztalatlan szem még csak fel sem képes ismerni.

A perceptuális tanulás ma is használatos definícióját Eleanor Gibson pszichológus fektette le 1963-ban: Az, ami tapasztalat és gyakorlás következményeként az ingerek mintázatában hosszan tartó következetes perceptuális változást okoz, az az észlelés tanulásának a jele. Ez egyaránt érvényes bármilyen érzékre az ízelelésről a látásig.¹⁶

15. Sacks, *A Férfi, Aki Kalapnak Nézte a Feleségét*, fej. Kezek.

16. Kevin Connolly, „Perceptual Learning”, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Summer 2017, szerk. Edward N. Zalta (Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2017), <https://plato.stanford.edu/archives/sum2017/entries/perceptual-learning/>. „Defining Perceptual Learning In 1963, the psychologist Eleanor Gibson wrote a landmark survey article on perceptual learning in which she purported to define the term. According

A tanulás jele lehet az is, ha egy perceptuális képesség csak egy csoportra jellemző, például festőkre, gombászokra vagy borkóstolókra, de a társadalom többi tagjára nem, mivel ilyen esetekben feltételezhetően nem örökölt hajlamról van szó.¹⁷

* * *

A tapasztalat nem csak megszerzett ismeretként jelenik meg az elmében, ahogy az agyban sem. A Stanford Encyclopedia of Philosophy¹⁸ alapján, neurológiai kutatások szerint az ingerek az agynak nemcsak olyan mélyebb területeiben okoznak változást, amik például az emlékekért felelősek, hanem akár a látás folyamatában résztvevő egészen alapvető területeiben is, például a látókéregben. Ezek a változások nem a kognitív képességek fejlődését jelentik, hanem magának az észlelési rendszernek a változását. A perceptuális tanulás a hétköznapi tapasztalat révén bekövetkező biológiai módosulás, ami az észlelés változásával is együtt jár.

A tudomány és az észlelés egyéni tanulásának viszonyát talán legjobban az úgynevezett „elmélettel terhelt megfigyelések” mutatják. Köztudott, hogy a kutatók előfeltételezései befolyásolják a kutatás eredményét, többek közt emiatt nem magukon tesztelik a téziseiket. A perceptuális tanulás esetében nem csak a kutató elképzelései lehetnek hatással az eredményekre. Képzünk el egy kutatót (játszik el a gondolattal Raftopoulos és Zeimbekis az

to Gibson, perceptual learning is „[a]ny relatively permanent and consistent change in the perception of a stimulus array, following practice or experience with this array...” (1963: 29).[1] Gibson’s definition has three basic parts. First, perceptual learning is long-lasting. Second, it is perceptual. Third, it is the result of practice or experience. This entry expands on each of these features of the definition.”

17. Goldstein és Fahle idézi Connolly.

18. Fahle és Paggio idézi Connolly. <https://plato.stanford.edu/entries/perceptual-learning/#PercLearPercChan>

„Észlelés versus koncepció” című esszében¹⁹), aki egy adott vizuális fenomént vizsgál. A kutató által vizsgált vizuális jelenséget nem pusztán megismeri, hanem a tapasztalat és az általa vizsgált vizuális jelenség rendszeres észlelése során idővel másként is látja azt, végső soron „máshogy látja a világot”.²⁰ Nem kell hozzá tudósnak lenni, hogy a vizuális tapasztalat befolyásolja a látásunkat. Gyakorló művészeknek egyszerűen másként fut végig a tekintetük egy műtárgyakon, mint a kezdő társaiknak.²¹

* * *

Minden bizonnyal a megfigyelések nem csak a csecsemők és a gyerekek észlelés-fejlődésének a része, hanem felnőttkorban is szerepet játszanak az észlelésben.

Gyakran azon kapom magam, hogy különös vizuális jelenségeket próbálok megérteni, hogy aztán a következő pillanatban már el is felejtsem őket. Például a Duna-parton ülve olyan kérdésekre keresem a válaszokat, hogy vajon miért fodrozódik a víz felszíne bizonyos foltokban más irányba? A víz

19. Fred Dretske, „Perception versus Conception”, in *The Cognitive Penetrability of Perception*, szerk. John Zeimbekis és Athanassios Raftopoulos (Oxford University Press, 2015), 162–73, <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198738916.003.0007>; Connolly, „Perceptual Learning”, fej. *The Theory-Ladenness of Observation*.

21. Naoko Koide és mások, „Art Expertise Reduces Influence of Visual Salience on Fixation in Viewing Abstract-Paintings”, *PLOS ONE* 10, szám 2 (2015. február 6.): e0117696., <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0117696>.

21. Connolly a *Stanford Encyclopedia of Philosophy* bejegyzésében Raftopoulos és Zeimbekis gondolatkísérletét említi: „Assuming that theories can be held tacitly, perceptual learning might plausibly play a role in making observation theory laden. Raftopoulos and Zeimbekis, for instance, ask us to imagine a scientist who has undergone perceptual learning in her expert domain (2015: 19). Specifically, through repeated exposure to items in her expert domain, she has developed perceptual sensitivity to certain features, in accordance with her professional needs. This includes learned attention to particular dimensions, and involves physical changes early in her visual system (p. 19). As a result, the scientist might quite literally see the world differently within her expert domain than someone from outside her expertise would see it.” Connolly, „Perceptual Learning”, fej. *Theory-Ladenness of Observation*.



6.4. ábra. Tükröződések a vízen. A vízben alulról látszódnak a fák közötti rések.

kékes-zöldes árnyalata az égnek, a fáknak vagy az algáknak köszönhető? Hogyan állnak össze a szabálytalan hullámok egy körré, amint elenyésznek? A túlsparton lévő erdősáv sziluettje miért különbözik a vízben tükröződő tükröképétől? Mindeközben a jelenség szabályszerűségeire egyszerű vizuális modelleket alkotok. Olyan megállapításokat teszek, hogy a sekély vízparti hullámok kis körökként húzódnak vissza a nagyobb kavicsokról. A vízfelszíni fodrozódások helyenként minden bizonnyal a légáramlatok miatt alakulnak ki, de még most is minden alkalommal elcsodálkozom, hogy miért állnak egy helyben? A víz színét nagyban befolyásolja a beesési szög; a tenger is csak a kék ég miatt olyan rikítóan kék. Mindez ritkán fogalmazódik meg verbálisan. Inkább elképzelem a csónakok láthatatlan fenekét a vízfelszín alatt, és elképzelem azt is, ahogy a térbeli modelljét a hullámok vízszintesen kettévágják. Elképzelem, ahogy a parton fekvő kavicsok sziluettjeit követő koncentrikus vonalak egybeesnek a róluk visszaverődő hullámokkal.

A vizuális ingerekből érkező információ a korábban megszerzett ismeretek és a tapasztalat, avagy az észlelés bottom-up és a top-down megközelítésének határai összemosódnak. A látórendszer egészen alapvető részei változnak a fejlődés és a mindennapi tapasztalatok hatására is. Látásunk nem csu-

pán előre meghatározott algoritmusok és merev szabályrendszerek halmaza. Bizonyos szempontból emlékeztet egy olyan enciklopédiára, amely a megtapasztalt vizuális jelenségeket és megfigyeléseket sorolja fel.

Láthattuk, hogy a mindennapi tapasztalat hozzájárul a látáshoz, akkor miért ne járulnának hozzá éppen ezek a tudatosság határán táncoló mindennapi megfigyelések is? Az én megközelítésemben ez a kíváncsiság a látvány értelmezése, egyben annak része is. Talán a tettenérése annak, ahogy tanulunk látni.

7. A látvány formája és szabályai

A kutatásom arra a kérdésre kereste a választ, hogy milyen szabályszerűségekkel írható le a tárgyi világ általunk észlelt formája.

Láthattuk, hogy a látvány különbözik a tárgyi valóságtól, sőt időnként egymástól független szabályok uralják. A érzékszervünkből érkező információ többségét nem szoktuk azonosítani a tárgyakkal, hanem külön entitásnak tekintjük. A tárgyról visszaverődő fényre valamiért hajlamosak vagyunk úgy tekinteni, mint a tárgyra magára, aminek talán köze lehet ahhoz, hogy az agyunk 80%-a reagál a vizuális ingerekre. Ezt a jelenséget „grand illusion” néven szokták emlegetni.

Engem nem az illúzió kérdése foglalkoztat. Ha a látvány nem egyezik a tárgyi világgal, akkor saját szabályrendszere kell hogy legyen. A látvány nem egy „fénykép”. Számunkra nem a fotonok retinára való becsapódása és a fényhullámhosszok vibrálása jelenti a külvilágot, nem is a receptorok rezgése, hanem mindezekre ráruházott tulajdonságok összessége. Ezt a hipotetikus szabályrendszert a neurobiológia és a kognitív pszichológia tüzetesen vizsgálta az agy és az elme működésén keresztül.

A vizuális ingereket feldolgozó folyamatok, melyek különböző formákon és stádiumokon keresztül reprezentálják a külvilágot, alkalmasak a tárgyi világból következő látvány analitikus megközelítésére. A reprezentációs formák-

nak saját szabályai vannak, amik a retinális képen felfedezhető összefüggések segítségével képesek leírni a látvány egy-egy aspektusát. Az ilyen, korábban bemutatott reprezentációs formákat tekintem a látvány építőköveinek és rétegeinek.

Az algoritmusok szabályszerűségei képesek az intuíciót gyakran kristálytiszttán megfogalmazni, míg máskor új megvilágításba helyezni. A reprezentáció formái mégis távol állnak a különlegestől. Nem az elme rejtett működésének felismerhetetlen keresztmetszetei, hanem épp ellenkezőleg, látszólag kifejezetten ismert köntösben mutatkoznak meg. Majd minden reprezentációs szint ismerős. A látórendszer magas szintű működésének leírása mintha egyszerűen azt az evidenciát támasztaná alá, hogy a tárgyaknak van formájuk, helyük, színük, textúrájuk. A vizuális információnak része a színek, a vonalak, az élek, a sziluettek, a foltok, a formák, a mélység stb.

A vizuális információt gyakran nem csak az alapvető képi elemek jelentik, hanem magasan strukturált szabályszerűségek, mint a felületek iránya, mozgása, a tárgyakat felépítő geometriai elemek, a tárgyak szerkezete. Emellett részét képezik a megtapasztalt jelenségek és az elgondolt szabályszerűségek, sőt a tárgyak által a befogadó számára nyújtott lehetőségek is.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom Kicsiny Balázsnak, a Doktori Iskolában folytatott lelkes, állandó, önkritikus, mindig fejleszteni szándékozó progresszív munkájáért, a barátságos és befogadó közösség ápolásáért.

Maurer Dórának, akihez a találkozásunk első alkalmától fogva mindig bizalommal fordulhattam, pontos és alapos kritikáért. Támogatására még terhes és sűrű időszakban is számíthattam.

Szegedy-Maszák Zoltánnak, már a felvételi első napjától számított pozitív szakmai támogatásért. Később társ-témavezetőként a tartalmas konzultációkért, a jegyzetek és az értekezés szövegének szerkesztésért és gondozásáért.

Fusz Mátyásnak és Kristóf Krisztiánnak, a hétköznapi megfigyelésekért és az azóta is tartó közös, inspiráló munkáért. A velük való közös gondolkodásnak köszönhetem, hogy a hétköznapi megfigyelések helyet kaptak a látványmodelljei között.

Tulisz Hajnalkának a szöveg nyelvi lektorálásért.

Arató Józsefnek, aki biológusként és látáskutatóként segített eligazodni a szakirodalom rejtelmeiben, könyv ajánlásaiért és a konzultációkért.

Fischer Juditnak, aki az élet minden területén segítette, hogy létrejöjjön ez az értekezés. Zalavári Másának, a türelméért és a világról beszámolt hétköznapi megfigyeléseiért.

Irodalomjegyzék

- Adolph, Karen E. és Kari S. Kretch. „Gibson’s Theory of Perceptual Learning”. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, 127–134. oldal. Elsevier, 2015. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.23096-1>.
- Adolph, Karen E., Kari S. Kretch és Vanessa LoBue. „Fear of Heights in Infants?” *Current Directions in Psychological Science* 23, szám 1 (2014. február): 60–66. oldal. <https://doi.org/10.1177/0963721413498895>.
- Balaraman, Shakuntala. „Color Vision Research and Trichromatic Theory: A Historical Review.” *Psychological Bulletin* 59, szám 5 (1962. szeptember): 434–448. oldal. <https://doi.org/10.1037/h0042588>.
- Balázs, Zsuzsanna és Nóra Radó. „Látja-e a jövőt az agyunk?” Qubit, 2022. július 18., 13:30+02:00. https://qubit.hu/2022/07/18/latja-e-a-jovot-az-agyunk;%20https://www.youtube.com/watch?v=ir0jG_vEqYQ.
- Bayes, Thomas. „An Essay towards Solving a Problem in the Doctrine of Chances. By the Late Rev. Mr. Bayes, F. R. S. Communicated by Mr. Price, in a Letter to John Canton, A. M. F. R. S.” *Philosophical Transactions* 53 (1763): 370–418. oldal. JSTOR: 105741. <https://www.jstor.org/stable/105741>.
- Bhagavatula, Partha S., Charles Claudianos, Michael R. Ibbotson és Mandyam V. Srinivasan. „Optic Flow Cues Guide Flight in Birds”. *Current Biology* 21, szám 21 (2011. november): 1794–1799. oldal. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2011.09.009>.
- Biederman, Irving. „Recognition-by-Components: A Theory of Human Image Understanding.” *Psychological Review* 94, szám 2 (1987. április): 115–147. oldal. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.94.2.115>.
- Billock, Vincent A. „A Framework for Vision’s Bag of Tricks”. *Science* 300, szám 5620 (2003. május 2.): 742–743. oldal. <https://doi.org/10.1126/science.1084097>.

- Campos, J. J., A. Langer és A. Krowitz. „Cardiac Responses on the Visual Cliff in Prelocomotor Human Infants”. *Science (New York, N.Y.)* 170, szám 3954 (1970. október 9.): 196–197. oldal. <https://doi.org/10.1126/science.170.3954.196>. pmid: 5456616.
- Chater, Nick. *The Mind Is Flat: The Illusion of Mental Depth and the Improvised Mind*. London: Penguin Books, 2019.
- Chikhman, Valery, Yuri Shelepin, Nigel Foreman, Aleksey Merkuljev és Sergey Pronin. „Incomplete Figure Perception and Invisible Masking”. *Perception* 35, szám 11 (2006. november): 1441–1457. oldal. <https://doi.org/10.1068/p5366>.
- Connolly, Kevin. „Perceptual Learning”. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Summer 2017, szerkesztette Edward N. Zalta. Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2017. <https://plato.stanford.edu/archives/sum2017/entries/perceptual-learning/>.
- Crane, Hewitt D. és Thomas P. Piantanida. „On Seeing Reddish Green and Yellowish Blue”. *Science* 221, szám 4615 (1983. szeptember 9.): 1078–1080. oldal. <https://doi.org/10.1126/science.221.4615.1078>.
- Csehov, Anton Pavlovics. „Levél tudós szomszédomhoz”. *Drámák és elbeszélések*, szerkesztette Devecseriné. Guthi Erzsébet, fordította Klára Szöllösy, 315–318. oldal. Budapest: Fekete Sas, 2001.
- Csépe, Valéria, Miklós Győri és Anett Ragó, szerkesztők. *Általános Pszichológia*. Osiris Tankönyvek. Budapest: Osiris, 2007.
- Detlev Buck, director. „A Világ Fölmérése”. Scriptwriter Buck Detlev és Daniel Kehlmann. 2012.
- Ellis, Rob és Mike Tucker. „Micro-Affordance: The Potentiation of Components of Action by Seen Objects”. *British Journal of Psychology* 91, szám 4 (2000. november): 451–471. oldal. <https://doi.org/10.1348/000712600161934>.
- Evans, G. S. és G. M. Seddon. „Responsiveness of Nigerian Students to Pictorial Depth Cues”. *ECTJ* 26, szám 4 (1978. december): 313–320. oldal. <https://doi.org/10.1007/BF02766367>.

- Firestone, Chaz és Brian Scholl. „Seeing Stability: Intuitive Physics Automatically Guides Selective Attention”. *Journal of Vision* 16, szám 12 (2016. szeptember 1.): 689. oldal. <https://doi.org/10.1167/16.12.689>.
- Franchak, J. és K. Adolph. „Perceiving Changing Affordances for Action: Pregnant Women Walking through Doorways”. *Journal of Vision* 7, szám 9 (2010. március 18.): 116–116. oldal. <https://doi.org/10.1167/7.9.116>.
- Frisby, John P. és James V. Stone. *Seeing: The Computational Approach to Biological Vision*. 2nd ed. Cambridge, Mass: MIT Press, 2010.
- Ganis, Giorgio, William L Thompson és Stephen M Kosslyn. „Brain Areas Underlying Visual Mental Imagery and Visual Perception: An fMRI Study”. *Cognitive Brain Research* 20, szám 2 (2004. július): 226–241. oldal. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2004.02.012>.
- Gibson, James J. *The Perception of the Visual World*. 1950. Westport, Connecticut: Greenwood Press, 1974.
- Glennerster, Andrew, Lili Tcheang, Stuart J. Gilson, Andrew W. Fitzgibbon és Andrew J. Parker. „Humans Ignore Motion and Stereo Cues in Favor of a Fictional Stable World”. *Current Biology* 16, szám 4 (2006. február): 428–432. oldal. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2006.01.019>.
- Gollin, Eugene S. „Developmental Studies of Visual Recognition of Incomplete Objects”. *Perceptual and Motor Skills* 11, szám 3 (1960. december): 289–298. oldal. <https://doi.org/10.2466/pms.1960.11.3.289>.
- Gomes, Herman. „From Primal Sketch to 3-D Models”, 2000. július 7. https://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/GOMES1/marr.html.
- Gregory, Richard L. *Az értelmes szem*. Budapest: Gondolat Kiadó, 1973.
- . „Bayes Window (1)”. *Perception* 34, szám 12 (2005. december): 1421–1422. oldal. <https://doi.org/10.1068/p3412ed>.
- Guild, John. „The Colorimetric Properties of the Spectrum”. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character* 230 (1931. szeptember 17.): 149–187. oldal. <https://doi.org/10.1098/rsta.1932.0005>.

- Hayworth, Kenneth J. és Irving Biederman. „Neural Evidence for Intermediate Representations in Object Recognition”. *Vision Research* 46, szám 23 (2006. november): 4024–4031. oldal. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2006.07.015>.
- Hubel, David H. *Eye, Brain, and Vision*. Scientific American Library Series, no. 22. New York: Scientific American Library : Distributed by W.H. Freeman, 1988.
- Hurvich, Leo M. és Dorothea Jameson. „An Opponent-Process Theory of Color Vision.” *Psychological Review* 64 (6, Pt.1 1957. november): 384–404. oldal. <https://doi.org/10.1037/h0041403>.
- . „Opponent Processes as a Model of Neural Organization.” *American Psychologist* 29, szám 2 (1974): 88–102. oldal. <https://doi.org/10.1037/h0035924>.
- Ishii, Keiko, Takafumi Tsukasaki és Shinobu Kitayama. „Culture and Visual Perception: Does Perceptual Inference Depend on Culture?” *Japanese Psychological Research* 51, szám 2 (2009. május): 103–109. oldal. <https://doi.org/10.1111/j.1468-5884.2009.00393.x>.
- James, William. „Classics in the History of Psychology – James (1890) Chapter 18”. *The Principles of Psychology*, 1980. <https://psychclassics.yorku.ca/James/Principles/prin18.htm>.
- Jolicoeur, Pierre és Stephen M. Kosslyn. „Is Time to Scan Visual Images Due to Demand Characteristics?” *Memory & Cognition* 13, szám 4 (1985. július): 320–332. oldal. <https://doi.org/10.3758/BF03202500>.
- Julesz, Béla. *Dialógusok az észlelésről*. Szerkesztette Gyula Kovács. Sajtó alá rendezte Csaba Pléh. Fordította Ágnes Lukács, Gábor Oláh és Ádám Pócs. Test és lélek sorozat. 1995. Typotex Kiadó, 2000.
- Julesz, Bela. *Foundations of Cyclopean Perception*. Chicago: Univ. of Chicago Pr, 1971.
- Kersten, Daniel, Pascal Mamassian és Alan Yuille. „Object Perception as Bayesian Inference”. *Annual Review of Psychology* 55, szám 1 (2004. február 1.): 271–304. oldal. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.55.090902.142005>.

- Koide, Naoko, Takatomi Kubo, Satoshi Nishida, Tomohiro Shibata és Kazushi Ikeda. „Art Expertise Reduces Influence of Visual Salience on Fixation in Viewing Abstract-Paintings”. *PLOS ONE* 10, szám 2 (2015. február 6.): e0117696. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0117696>.
- Kónya, Anikó. „A képzelet vita feloldása”. C3, 1999. <http://memolab.c3.hu/emlek/07tema/kosslyn.htm>.
- Kosslyn, Stephen M. „The Imagery Debate: The Role of the Brain”. MIT, 2009. <https://ocw.mit.edu/courses/24-08j-philosophical-issues-in-brain-science-spring-2009/resources/lecture-12-the-imagery-debate-the-role-of-the-brain/>.
- Kosslyn, Stephen Michael. „Scanning Visual Images: Some Structural Implications”. *Perception & Psychophysics* 14, szám 1 (1973. február): 90–94. oldal. <https://doi.org/10.3758/BF03198621>.
- Kourtzi, Zoe és Nancy Kanwisher. „Cortical Regions Involved in Perceiving Object Shape”. *The Journal of Neuroscience* 20, szám 9 (2000. május 1.): 3310–3318. oldal. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.20-09-03310.2000>.
- Lee, Barry B. „The Evolution of Concepts of Color Vision”. *Neurociencias* 4, szám 4 (2008. július 1.): 209–224. oldal. pmid: 21593994.
- „Living In A Reversed World”. Közreműködött Pennsylvania State University és James Gibson. Pennsylvania State University, 1958. <http://archive.org/details/LivingInAReversedWorld>.
- Malik, Jitendra és Ruth Rosenholtz. „Computing Local Surface Orientation and Shape from Texture for Curved Surfaces”. *International Journal of Computer Vision* 23, szám 2 (1997): 149–168. oldal. <https://doi.org/10.1023/A:1007958829620>.
- Marr, David. „Early Processing of Visual Information”. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences* 275, szám 942 (1976. október 19.): 483–519. oldal. <https://doi.org/10.1098/rstb.1976.0090>.
- . *Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*. Cambridge, Mass: MIT Press, 2010.

- Marr, David és H K Nishihara. „Representation and Recognition of the Spatial Organization of Three-Dimensional Shapes”. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences* 200, szám 1140 (1978. február 23.): 269–294. oldal. <https://doi.org/10.1098/rspb.1978.0020>.
- Merleau-Ponty, Maurice. „Az egymásba fonódás - A kiazmus”. *A látható és a láthatatlan*, 148–176. oldal. L'Harmattan, 2006.
- Michael Tye. *The Imagery Debate*. Place of publication not identified: MIT Press, 2000.
- Niehorster, Diederick C. „Optic Flow: A History”. *i-Perception* 12, szám 6 (2021. november): 204166952110557. oldal. <https://doi.org/10.1177/20416695211055766>.
- Nishihara, H K. „Recollections of David Marr”. *Perception* 41, szám 9 (2012. szeptember): 1027–1030. oldal. <https://doi.org/10.1068/p7282>.
- Pandey, Sanjay és Neelav Sarma. „Utilization Behavior”. *Annals of Indian Academy of Neurology* 18, szám 2 (2015): 235. oldal. <https://doi.org/10.4103/0972-2327.150613>.
- Pearson, Joel és Stephen M. Kosslyn. „The Heterogeneity of Mental Representation: Ending the Imagery Debate”. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112, szám 33 (2015. augusztus 18.): 10089–10092. oldal. <https://doi.org/10.1073/pnas.1504933112>.
- perceivingacting, director. „Archival Gibson - 1969 - Optical Transitions - Visible to Invisible”. 2013. október 23. <https://www.youtube.com/watch?v=1qQLtIICXoE>.
- Pléh, Csaba. „Chomsky és a pszichológia”. *Magyar Tudomány*, szám 170 (2009. szeptember): 1075–1081. oldal. https://epa.oszk.hu/00600/00691/00069/pdf/mtud_2009_09_1075-1081.pdf.
- Pointer, M. R. „The Gamut of Real Surface Colours”. *Color Research & Application* 5, szám 3 (1980. ősz): 145–155. oldal. <https://doi.org/10.1002/col.5080050308>.

- Pylyshyn, Zenon W. „Mental Imagery: In Search of a Theory”. *Behavioral and Brain Sciences* 25, szám 2 (2002. április): 157–182. oldal. <https://doi.org/10.1017/S0140525X02000043>.
- . „What the Mind’s Eye Tells the Mind’s Brain: A Critique of Mental Imagery.” *Psychological Bulletin* 80, szám 1 (1973. július): 1–24. oldal. <https://doi.org/10.1037/h0034650>.
- Ramachandran, V S. „The Neurobiology of Perception”. *Perception* 14, szám 2 (1985. április): 97–103. oldal. <https://doi.org/10.1068/p140097>.
- Richmond, Michael. „How Do We Know the Composition of Stars?”, 2006. http://spiff.rit.edu/richmond/asras/chemcomp_i/chemcomp_i.html.
- Sachse, Pierre, Ursula Beermann, Markus Martini, Thomas Maran, Markus Domeier és Marco R. Furtner. „The World Is Upside down” – The Innsbruck Goggle Experiments of Theodor Erismann (1883–1961) and Ivo Kohler (1915–1985)”. *Cortex* 92 (2017. július): 222–232. oldal. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2017.04.014>.
- Sacks, Oliver. *A Férfi, Aki Kalapnak Nézte a Feleségét, És Más Orvosi Történetek*. Fordította Katalin Fenyves, Anikó Rupp, Róza Vajda és Ildikó Orosz. 1986. Park Könyvkiadó, 2022.
- Sun, Jennifer és Pietro Perona. „Where Is the Sun?” *Nature Neuroscience* 1, szám 3 (1998. július): 183–184. oldal. <https://doi.org/10.1038/630>.
- Szokolszky, Agnes és Endre Kádár. „James J. Gibson ökológiai pszichológiája”. *Pszichológia* 2 (1999): 245–285. oldal.
- Tootell, Roger B. H., Martin S. Silverman, Eugene Switkes és Russell L. De Valois. „Deoxyglucose Analysis of Retinotopic Organization in Primate Striate Cortex”. *Science* 218, szám 4575 (1982. november 26.): 902–904. oldal. <https://doi.org/10.1126/science.7134981>.
- Van Tonder, Gert J és Yoshimichi Ejima. „Bottom–Up Clues in Target Finding: Why a Dalmatian May Be Mistaken for an Elephant”. *Perception* 29, szám 2 (2000. február): 149–157. oldal. <https://doi.org/10.1068/p2928>.

- Velmans, Max. „Dualism, Reductionism, and Reflexive Monism”. *The Blackwell Companion to Consciousness*, 1. kiadás, szerkesztette Susan Schneider és Max Velmans, 349–362. oldal. Wiley, 2017. április 12. <https://doi.org/10.1002/9781119132363.ch25>.
- . *Understanding Consciousness*. 2nd ed. London: Routledge, 2009.
- Vinkó, József, Károly Szatmáry, Gábor Kaszás és László Kiss. „A csillagok színeképe”. SzTE Csillagászat, 1998. <http://astro.u-szeged.hu/spectra/spektr5.html>.
- Wade, Nicholas J. *A Natural History of Vision*. 2nd print. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1999.
- Whitehead, Alfred North. *Science and the Modern World*. Cambridge: Cambridge University Press, 1932.
- Wittgenstein, Ludwig. *Filozófiai vizsgálódások*. Fordította Neumer Katalin. Budapest: Atlantisz, 1992.
- Wolchover, Natalie. „Red-Green & Blue-Yellow: The Stunning Colors You Can't See”. Live Science, 2012. <https://www.livescience.com/17948-red-green-blue-yellow-stunning-colors.html>.
- Wright, W D. „A Re-Determination of the Trichromatic Coefficients of the Spectral Colours”. *Transactions of the Optical Society* 30, szám 4 (1929. március): 141–164. oldal. <https://doi.org/10.1088/1475-4878/30/4/301>.
- Wurtz, Robert H. „Optic Flow: A Brain Region Devoted to Optic Flow Analysis?” *Current Biology* 8, szám 16 (1998. július): R554–R556. [https://doi.org/10.1016/S0960-9822\(07\)00359-4](https://doi.org/10.1016/S0960-9822(07)00359-4).