

# OPTIKAI CSALÓDÁSOK

„Juj, vizuális típus vagyok”, mondja az ember néha egy szaftos történet hallatán, nem is sejtve, hogy kijelentése annyit ér, mint megállapítani, hogy „esik az eső”, amikor épp esik az eső. Az emberi faj alapvetően vizuális típus, látásunk a külvilág észlelésének legtermészetesebb és leghatékonyabb eszköze. Látásunkban feltétel nélkül megbízunk, az előttünk megjelenő képi világot objektív igazságként fogadunk el – „hiszünk, ha látunk”.

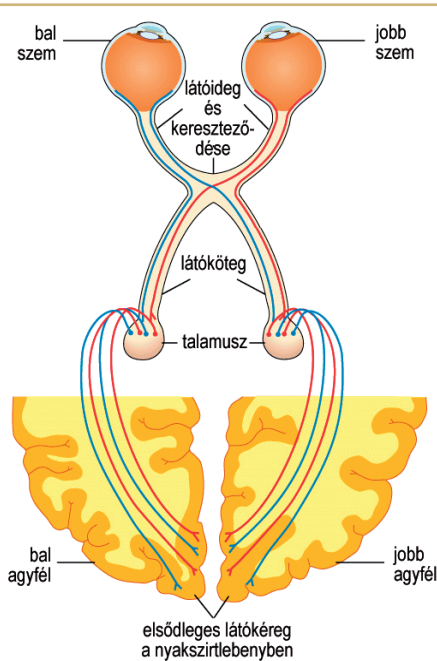
## 1. rész

Kétrészes cikksorozatunkban ezt a nyugodt bizalmat és magabiztosságot aprítjuk miszlikbe a látás elfogult és részrehajló oldalának bemutatásával. Vizuális rendszerünk működését hibáinak játékos elemzésén keresztül vizsgáljuk, hogy a világ-látásunkról és látás-világunkról alkotott képünket kellő tudatossággal, stabilabb alapokkal építhessük újra.

### Látás kívülről befelé és belülről kifelé

Az érzékelés objektív és szubjektív is egyszerre. Látásunk környezetünkhöz alkalmazkodott, ennek következtében azt látjuk jól, amit a magunk körüli térben megszoktunk. Bizonyos halaknak két eltérő törésmutatójú részből álló szemlencséjük van, így a víz alatt és víz fölött is élesen látnak, sok rovar UV fényt vagy infravörös sugarakat is érzékel, hogy a virágokat vagy az erdőtüzet színesebben lássa. Egyes madarak két *foveával* rendelkeznek, hogy 3D látásukat a teljes térben tudják használni, megint mások sötétben tájékozódni kívánóan. Az alkalmazkodás célja nyilvánvalóan a világ minél pontosabb, objektív leképezése, amit a látórendszerünk nagy hatékonysággal meg is valósít – *azt látjuk, ami van.*

Ugyanakkor a látási folyamat során nem létezik az agyunkban valamiféle fizikailag mérhető tökéletes belső kép. A fényből alkotott tér-időbeli bemennet először apró darabjaira szedjük, tu-



1. ábra: A képi információ áramlása a szemből az agyba. Az agy ügyes trükkje, hogy a feldolgozott képet úgy vetíti belülről a szemünk elé, hogy a feldolgozásról mi mit sem sejtünk – azt hisszük, hogy az előttünk lévő valóságot látjuk.

FORRÁS: [HTTP://WWW.LHWLLHSA.COM/](http://www.lhwllhsa.com/)

lajdonságai alapján szűrjük, csatornákra bontjuk, feldolgozzuk, belevegyítjük múltunkat és pillanatnyi érzelmeinket, majd tudatunkkal teljesen szubjektív módon újraépítjük, „megjelenítjük” magunk előtt, és elhisszük, hogy az van, amit látunk.

E látszólagos ellentmondás mélyebb megismeréséhez és feloldásához hatékony vizsgálati eszközüinket, a hibás működés provokálását hívjuk segítségül. A látás – bonyolultsága ellenére – többnyire gépies elemekből, egyszerű lépésekből tevődik össze, az egyes összetevők pedig mind képesek rendellenes működést produkálni, amennyiben a körülmények

## KISLEXIKON

**csapok és pálcikák:** a retina fényérzékelői (fotoreceptorai), melyek a szem belső felületén szigorú rendszerben ülve a látvány egyes képpontjaihoz tartozó fény bemenetet alakítják idegi elektromos jellé. A csapok a nagy fényerőre, a színes nappali látásra vannak optimalizálva, a pálcikák pedig alacsony fényerejű üzemmódban, szürkületől pirkadatig működnek hatékonyan.

**fovea:** az éleslátás helye a retinán – ide vetül az a képrészlet a látótérből, amire fókuszálunk. Ezen a néhány négyzetmilliméternyi területen a fényérzékelő csapocskák sűrűsége sokszorosa a retina átlagának és az ehhez tartozó agyterület is felülreprezentált. A képnek a foveára eső részét ennek megfelelően jóval részletgazdagabban dolgozzuk fel.

**retina:** Fényérzékelő sejteket és jelfeldolgozó ideghálózatot tartalmazó vékony réteg a szem belső felületén. A retinát az agy kihelyezett állomásaként szokás említeni, mivel a bejövő látvány neurális adatfeldolgozása már itt elkezdődik.

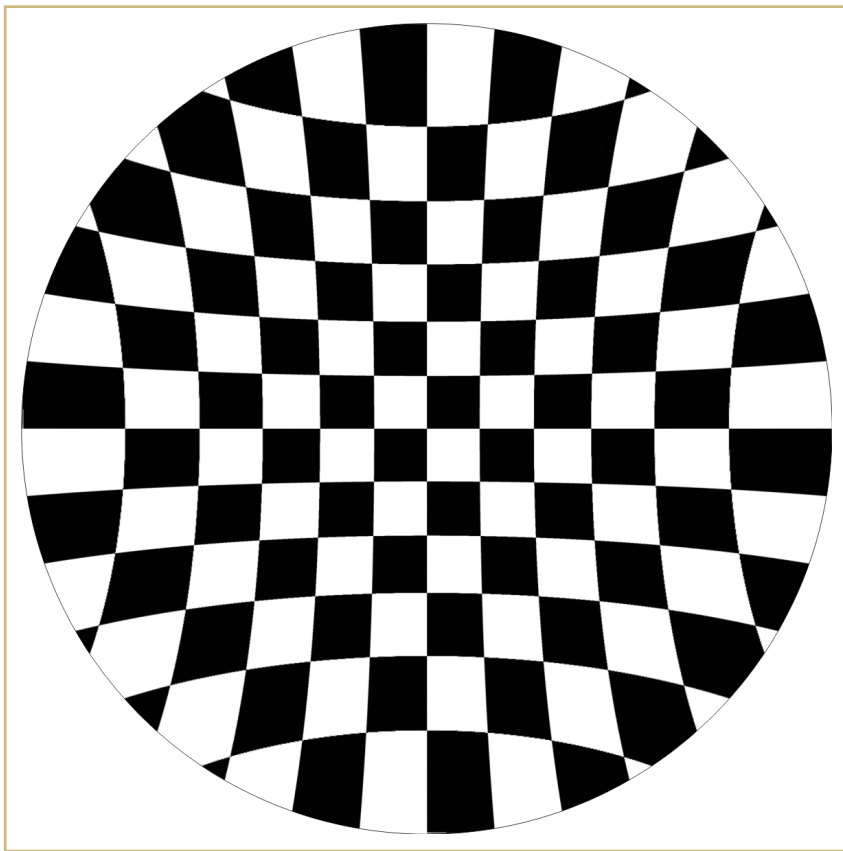
**szakkád:** apró, gyors, hirtelen szemmozgás, ami a szemgolyót, mint kamerát az éppen legérdekesebb képpontra irányítja, hogy annak a képe vetüljön a foveára. A reflexszerű szakkadikus mozgással egyrészt gyorsan felmérhetjük az adott látvány érdekes pontjait, másrészt biztosítjuk, hogy a fovea sejtjei ne fáradjanak el esetleges állandósult látványtól.

nem a megszokottak. A következőkben ezeket az optikai csalódást, illúziót okozó zavarokat vesszük sorra, mivel ezeken keresztül, játékos, lelepleződő önbecsapásainkkal biztosabb alapokra helyezhetjük látásunkról alkotott képünket.

A cikksorozat első részében a szem, mint optikai leképező rendszer, a másodikban a látásért felelős neurális hálózat felépítéséről, működéséről és hibáiról lesz szó.

### Az emberszem-optika: „fők éles” vagy tökéletlen?

Látásunkkal az elektromágneses sugarak teljes spektrumából csupán töre-



2. ábra: A szemlencse torzítása oldalirányba növekszik. Fél szemünket becsukva közelítsük a behorpadt sakktablát olvasási távolságból egészen közelre (2-3 cm-ig). Ahogy a szélső pontok kijebb kerülnek a látótérben, úgy egyenesednek a vonalak és domborodik érzetre a minta.

déknyit érzékelünk, a 400–800 nm hullámhosszúságú szakaszt, azaz a látható fényt. A fényt egy mesterien kifinomult optikai rendszeren keresztül vetítjük a szemünk belső felületén elhelyezkedő *retinára*, ahol elektromos jelekké alakítjuk. A retinát elhagyó látóideg a képi információt a thalamus és a vizuális kéreg megfelelő területeibe, majd magasabb kérgi területeken keresztülhaladva a homloklebenybe juttatja. A neurális jelek alapján érzékelt pillanatnyi kép itt tudatosodik, ezután vetül csak vissza virtuálisan magunk elé, a külső világ általunk értelmezett formájában (1. ábra).

A látott kép szükségszerű szubjektivitását már az első optikai leképező rendszer, a szem működése is bizonyítja. Pislogunk, de nem zavar minket az ismétlődő sötétség a világ folytonosságának előállításában, a szemlencsénk pedig nagyított, torzított és fejjel lefelé fordított képet vetít a retinára, ráadásul a háromdimenziós világot két darab kétdimenziós felületre bontja. A két részre bontott képet könnyen össze tudjuk keverni az alábbi egyszerű kísérlettel: közelítsük mutatóujjunkat az

orrunk felé, mindig a távolba fókuszálva – nem elég, hogy két ujjunk lesz, de még átlátszóvá is válnak.

A szemlencse adott nagyításában az agyunk feltétel nélkül bízunk. Nézzünk csak bele egy távcsőbe akár rendszeren, akár fordítva, a tárgyak izesztően közel illetve távol kerülnek érzésre, mivel a látásunknak még ebben a tudatosan megváltoztatott formában is végletesen hiszünk. A bátrabbak sétálni is megpróbálhatnak így – saját felelősségre.

A szemlencse tökéletlen leképezése az adott látványon oldalirányban egyre erősebb torzítást okoz. Ezt a 2. ábrán látható sakktablával tudjuk ellenőrizni, ami egyszerre egyenes és görbe is, attól függően, hogy milyen távolról, milyen látószögben nézzük, azaz mennyire lép életbe az oldalirányba növekvő torzítás.

A szembe jutó fény mennyiségét mindenekelőtt a pupillanyílás méretével szabályozzuk, a pupillaszűkülést, –tágulást viszont nem érezzük, az abszolút fényerősség észlelése tehát már önmagában illúzió. Ezt bizonyítja az is, hogy nappali illetve éjszakai üzemmódban más-más érzékelőkkel, *csapok-*

*kal* illetve *pálcikákkal* vesszük fel a bemenetet, így összességében óriási, 9–10 nagyságrendnyi fényerősség skálát tudunk érzékelni és viszonylag állandó fényerővel – ráadásul a bemenet váltásáról mit sem sejtve – magunk elé vetíteni. Az abszolút fekete szín az adott látványon tehát becsapás, csak relatív skálán értelmezhető.

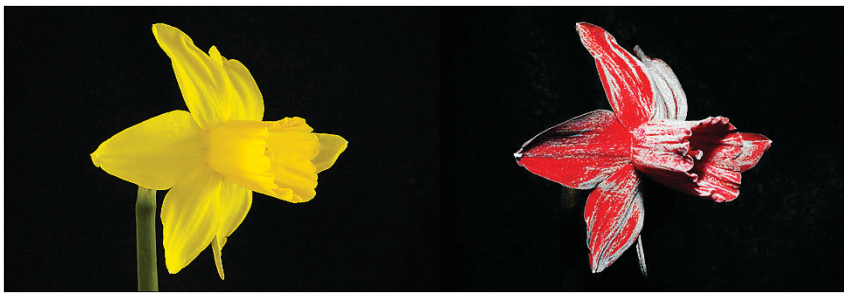
Ezt bizonyítandó, vágjunk félbe egy fehér, minta nélküli pingponglabdát és tartsuk fél szemünk elé – egy idő után bármilyen megvilágításnál, erős és gyenge fényben is ugyanazt az egységes, szürke képet fogjuk látni. Az „egy idő után” pedig azért szükséges, mert az adott fényerősséghez való alkalmazkodás az érzékelőinknek sok idejébe telik. Ezért van az is, hogy sötét szobából napfényre menet először túl világos a kép, idővel azonban visszaáll a megszokott (észlelt) fényerő.

### Színes TV és óriásplakát – mind becsapás

A csapok és pálcikák (összefoglaló néven *fotoceptorok*) működése sok egyéb korlátot is támaszt a látás során. Nem mindenkiben tudatosul például, hogy szürkületkor a kék fények azért erősebbek, mert az azt érzékelő csapok a legérzékenyebbek, éjszaka pedig egyáltalán nem látunk színeket, mivel a pálcikák erre nem specializálódtak. Figyeljük meg, milyen színű szürkületkor egy kékeslila virág vagy egy piros pulóver!

Éjszakai üzemmódban a látásunk nem magunk előtt a legérzékenyebb, hanem körülbelül 30 fokos szögben oldalt. A pálcikák a retinán az ehhez tartozó területen a legsűrűbbek, hogy a mögöttünk végbemenő mozgást minél hamarabb észrevehessük. Romantikus éjszakákon ezt is mindenki kipróbálhatja – kis fényerejű csillagokat csak úgy látunk, ha nem rájuk fókuszálunk, hanem melléjük nézünk.

A legtöbb csap a retinán középen van, a nappali éleslátás területén, a foveán. Az agyban a foveához arányosan sokkal nagyobb feldolgozó kapacitás kapcsolódik, mint a retina többi területéhez. Az éleslátás érzete is becsapós, ugyanis az agy rengeteget spórol és tömörít, és kizárólag azt mutatja élesnek, amire épp fókuszálunk, ami az adott pillanatban a legjobban érdekel minket. Ellenőrzésképpen próbáljunk meg akár egy sorral arrébb olvasni, mint ahova nézünk!



3. ábra: Ugyanaz a nárcisz a látható fény és az általunk nem látható ultrabolya tartományban – utóbbi természetesen hamisszínes feldolgozásban. Bizony a virágok legszebb mintázata néha rejtve vannak előlünk, csak a virágokat segítő rovarok kiváltsága, hogy láthassák.

FORRÁS: [HTTP://WWW.NATURFOTOGRAF.COM/UV\\_FLOWERS\\_LIST.HTML](http://www.naturfotograf.com/uv_flowers_list.html)



4. ábra: Nézzük mereven a baloldali színes kép közepén lévő kis fekete pontot legalább fél percig, hogy jól kifáraszuk a színlátásért felelős csapjainkat. Ezután hirtelen váltsunk a fekete-fehér kép közepén lévő pontra. A negatív utóképek jelensége által életre kel a táj.

FORRÁS: [HTTP://WWW.JOHNSAADOWSKI.COM/BIG\\_SPANISH\\_CASTLE.PHP](http://www.johnsadowski.com/big_spanish_castle.php)

A látás véges térbeli felbontásából eredő illúzió alapul minden óriásplakát (érdemes ezeket közelről is megnézni), valamint a [http://cvcl.mit.edu/hybrid\\_gallery/gallery.html](http://cvcl.mit.edu/hybrid_gallery/gallery.html) oldalon található képsorozat is, ami közelről, illetve távolról nézve, más felbontással értelmezve mást és mást mutat.

A csapok és pácikák nem csak térbeli, hanem időbeli felbontása is korlátozott, ám agyunk ezeket a tökéletlenségeket ügyesen szőnyeg alá söpri. A TV-képernyő pixeles állóképeiből már 10 kép/másodperc sebességnél és kis térbeli felbontásnál is a folyamatos téridőbeli valóság illúzióját hozhatjuk létre, mivel az agyunk mindig folyamatos mozgással alakított, értelmes képsort próbál elénk vetíteni, a szakadozást a szemmozgásnak, a pislogásnak, a fényérzékelők és a neurális feldolgozás lassú működésének tulajdonítja, és automatikusan elrejtje előlünk. Jobb időbeli felbontással rendelkező élőlényeknek (például a legyeknek) a folyton villódzó TV borzalmasan idegesítő látvány lehet.

A csapok felelősek a fény színekre bontásáért is. A legtöbb embernek három féle csapja van, zöld, kék és piros fényre érzékeny, de van, akinek csak

kettő, néhány nőnek pedig négy. Látathatnánk infravörösben vagy ultrabolyában is, a világ úgy egész máshogy nézne ki, de a világ most is egész máshogy néz ki bárki más világához képest. A nőknek általában jobb a színlátásuk, sok ember pedig jobb és bal szemével is kissé különböző színeket lát (ezt is érdemes mindenkinek kipróbálnia). A színvakok a saját belső képüket fogadják el igazinak, számukra tanulás nélkül nincs különbség zöld és piros között, a négy színlátáshoz képest pedig mi, „normális emberek” vagyunk színvakok (3. ábra).

A csapokban fény hatására megváltozik a kémiai anyagok felszabadulásának üteme, a módosult anyagháztartás a sejtekben elektromos jeleket generál. A csapok működéséhez kötődik a *negatív* és a *pozitív utóképek* jelensége. Ha sokáig nézünk mereven egy színes képet, az egyes színek látásáért felelős receptorok kémiaiilag kifáradnak és vesztenek érzékenységiükéből. Módosult színlátásunk ilyenkor negatív utóképet produkál, mivel a fáradt csapokhoz tartozó színek kevésbé látszanak, kivonódnak a képből. A negatív utóképek jelenségét a 4. ábra szinte ijesztő módon mutatja be.

Erős pozitív utóképek jelennek meg látóterünkben, ha belenézünk egy villanykörtebe vagy villámlik mellettünk, de a fényérzékelő sejtek kimenetén és az azt követő neurális rendszerben általánosságban is minden látvány csak lassan cseng le. Ez a jelenség szintén segít a már említett korlátos időbeli felbontás ellen-súlyozásában. A pozitív utóképhez, a fotoreceptorok jelének lassú lecsengéséhez és a korlátos időbeli felbontás kompenzálásához kötődik a következő érdekes ki-

sérlet is: fogjunk két pénzérmét hüvelyk és mutatóujjunk közé vízszintesen, majd szemmagasságban csúsztassuk őket gyorsan ide-oda egymáson – meglátjuk, hogy  $1+1=3!$

Többek között a csapok kifáradásának elkerülése érdekében a szem állandó mozgással, úgynevezett *szakkadokkal* méri fel a látványt. Ez a folyamat csukott szem vagy egyszínű háttér (például kék ég) mellett ad jelt magáról – ilyenkor a szemlencsén úszó apró koszos ugráló kis bolhának tűnnek. A későbbiekben sok olyan vizuális csalódást fogunk látni, amelynek részben oka a szem szakkadikus mozgása.

Az agy magas szintű, mégis reflexszerű transzformációval ellensúlyozza a szakkadikus mozgásból vagy például a fej oldalra döntéséből eredő látóter-eltolódást, illetve látóter-elforgatást. Jövő heti számunkig, amelyben a látás magasabb szintű feldolgozó egységeinek elemzésével foglalkozunk majd, kísérletezzenek ennek a transzformációnak a tudatos alkalmazásával: vajon el tudjuk-e tolni, forgatni a látott képet magunk előtt?

VÁSÁRHELYI GÁBOR

(Két hét múlva övetkezik: Fotó-szintézis)