

## A színtévesztés

Dr. Simon Judit

*Nemzeti Népegészségügyi Központ  
Munkahigiénés és Foglalkozás-egészségügyi Főosztály*

### Összefoglalás

Évtizedek óta a hazai foglalkozás-egészségügyben az alkalmasság minősítése szempontjából az egyik legtöbb vitát kiváltó elváltozás a színtévesztés. Az alapellátásban a színtévesztés diagnosztikájában a pszeudoizokromatikus táblákat és anomaloszkopos vizsgálatot kellene használni, de ettől eltérően csak az Ishihara teszttel igazolt színtévesztőt már kizárják a színlátást igénylő szakmákból, további színlátás vizsgálatot vagy nem kezdeményeznek, vagy, ha igen a vizsgálat nehezen elérhető vagy akár tévesen értékelt a vizsgáló tapasztalatlansága miatt. Így a kisfokú színtévesztő személyt nem differenciáltan véleményezik a középsúlyos súlyos színtévesztőtől és indokolatlanul kizárják olyan szakmai munkavégzés alul, amihez színfelismerő-, színkülönítő képessége kifogástalan.

Szeretném az alábbiakban összegezni a színtévesztéssel kapcsolatosan tudományos kutatások eredményeit, amelyek igazolják, hogy **a színlátás egyéni képesség**, vizsgálatához szükséges ismerni a hazai és nemzetközi trendben használt színlátást vizsgáló/mérési módszereket, valamint szeretnék beszámolni a színtévesztő tanulók szakmai alkalmasság orvosi vizsgálata és véleményezése során az utóbbi 14 évben szerzett tapasztalataimról.

**Kulcsszavak:** színtévesztés, Ishihara teszt, Farnsworth D15 teszt, szakmai alkalmasság, munkaköri alkalmasság

### *The colour vision deficiencies*

**Abstract:** *For decades colour vision deficiencies are among the most disputed fitness-for-work related disorders in Hungarian occupational medicine. The diagnostics of colour vision disorders in primary care should use pseudoisochromatic plates and anomaloscopy. However, persons with colour vision deficiency diagnosed solely by Ishihara test are routinely assessed unfit for professions that require any color vision. Further colour vision diagnostics are either not initiated or the examination is hard to find, or the result is misinterpreted due to lack of examiner experience. Thus, persons with minor colour vision deficiencies are not assessed differently than those with moderate-severe defects, and are excluded from professions for which their colour recognition and differentiation are excellent.*

*An overview is given on the scientific results demonstrating that colour vision is an individual capacity and assessment thereof requires knowledge of current Hungarian and international methodologies. The article summarises 14 years' experience of vocational medical fitness assessment among students with colour vision deficiencies.*

**Key words:** *colour visual deficiencies, Ishihara tests, Farnsworth D15 test, fitness-for-profession, fitness-for-work.*

## Bevezetés

Az utóbbi néhány évszázadban számos tudós foglalkozott a színlátással, a szintévesztéssel és ma már tudjuk, hogy a szintévesztés veleszületett rendellenesség vagy szerzett zavar és továbbra is több tudományok képezi kutatási területét.

### 1. Történelmi áttekintés.

A színlátásról az első nagy lépést *Newton* tette meg, amikor háromszáz évvel ezelőtt felfedezte a színeket: észrevette, hogy az üvegprizmán megtörő napfény, vagyis fehér fény a színek sorozatára bomlik fel. Azt is megfigyelte, hogy minden törési szöghöz egy meghatározott színű fénysugár tartozik: a legkevésbé a vörös törik meg, majd a sárga, a zöld, a kék és majd az ibolyaszín következik. Később azt is felfedezte, hogy az emberi szem olykor nem képes különbséget tenni az egymástól távoli hullámhosszak kombinációjából előálló színek között, például a vörös és zöld párosítása olyan színérzetet kelt, amelyik megegyezik egy harmadik tiszta szín (sárga) által keltett színérzettel.

A XVIII. század végére sikerült *Newton* felismeréseit általánosítani, hogy a színlátás trichromatikus, azaz három színen alapul: vörös, zöld és a kék. Ma már ismert, hogy minden törési szög és egyben minden tiszta szín egy-egy meghatározott hullámhosszú fénynek felel meg, hogy a tiszta alapszíneken kívül melyek monokromatikus hullámhosszúak, hogy a színek többsége előállítható a három fő alapszín egyesítésével vagy kettő alapszínhez kell a harmadikat hozzá adni és mindig érvényesül az a szabály, hogy e hármas csoport egy hosszú-, egy közepes- és egy rövid hullámhosszú fénynek felel meg.

*Thomas Young* angol orvos és fizikus 1802-ben kifejtette, hogy a színlátás *trikromatikus* természete az ember élettani viszonyaival magyarázható, és az általunk látott szín három különböző érzékelő egység izgalmi állapotának viszonylagos erőssége határozza meg, az érzékelhető hullámhosszak a három fő színre korlátozódnak. Igaza jóval később bizonyosodott be, hogy a retina csapsejtjeinek fényérzékenysége, bár

bizonyos mértékig átfedő, eltér egymástól: a vörös és zöld érzékesek például egyaránt elnyelik a narancsszínű fényt, de a vörösre érzékenyebbek jobban.

Röviddel azután, hogy *Young* közzétette elméletét, egyik kortársa, *John Dalton* (az atom elmélet atyja) felkeltette érdeklődését a normálistól eltérő színlátás, "mert amit mások vörösnek mondanak, az nekem csupán árnyék vagy egy sötét területnek tűnik; a narancsot, sárgát és zöldet úgy érzékeli mintha azok a sárga szín különféle árnyalatai volnának", írta levelében a Manchesteri Irodalmi és Filozófiai Társaságnak 1794-ben. Ma ezt a jelenséget a színek vöröstől zöldig terjedő tartományának színei közti különbségtétel képességének hiányaként vörös-zöld szintévesztésként (egyébként „daltonizmusként” is emlegetnek) tartja számon a tudomány.

A XIX. század közepén *James Clark Maxwell* skót fizikus észrevette, hogy kétféle daltonizmus létezik. Kutatásainak eredményeként arra következtetett helyesen, hogy van két olyan szintévesztő csoport akiknek nincsenek zöldre- vagy vörösre érzékeny sejtjeik, őket ma zöld-negatív és vörös-negatív dichromatáknak ( két alapszint látóknak) nevezzük. *Maxwell*, az elektromágneses fényelmélet megalkotója, a szintant is fontos felfedezésekkel gazdagította, elsőként dolgozott ki egy színmérő eljárást, amelyhez forgó színtárcsát alkalmazott.

A XIX. század második felében *John William Strutt*, vagy ismertebb nevén *Lord Rayleigh* angol matematikus és fizikus alkalmazta elsőként az anomaloszkópot, amely még most is a színlátás vizsgálata fontos eszköze. Kutatásai eredményeként el tudta különíteni a zöld- vagy piros dikromatákat ( két alapszint látók, deuter- vagy protanopiasok) az anomáliás trikromatáktól (zöld- vagy vörös-színtartományt tévesen látó deuteranomáliás, protanomáliás személyektől).

A XX. század közepére a kísérleti személyek ítéletén alapuló *pszichofizikai vizsgálatok* már erősen alátámasztották *Young* elméletét, azaz a háromféle érzékesjt létét. Más irányú kutatásokból pedig kiderült, hogy a szóban forgó érzékesek a retina csapsejtjei, de technikai nehézségekbe ütközött a csapsejt-

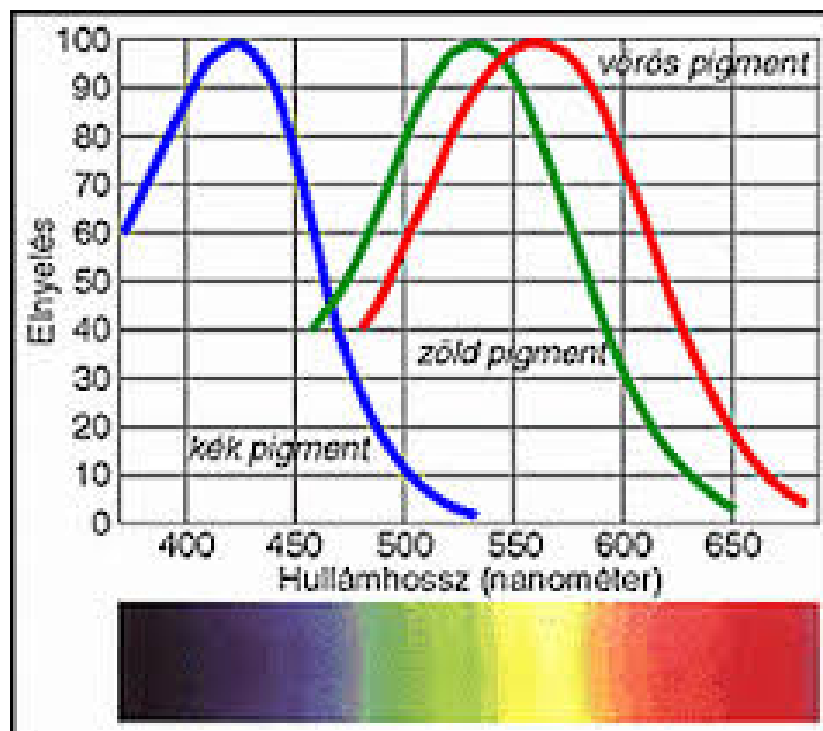
tek elkülönítése. A hatvanas években a Harvard és Johns Hopkins Egyetemen olyan mikro-spektrofotométereket szerkesztettek, amelyekkel már egyetlen fényérzékelő sejt fényelnyelő képességét is meg lehetett mérni. Kutatási eredményeik igazolták, hogy a csap sejteket három különböző elnyelési színek valamelyike jellemzi; *George Wald 1967-ben Nobel díjat kapott a fotopszinok abszorpciós spektrumának feltárásáért*. A színek jól egyeztek a pszichofizikai vizsgálatok alapján jelzett érzékenységi tartományokkal. Az egyes csap sejtek által másodpercenként elnyelt fotonok számát a látható színek hullámhosszának függvényében ábrázolva, három harang alakú görbe keletkezik. A kék csap sejtek fényelnyelése a 370-530 nanométeres tartományt fogja át, legérzékenyebbek a 426 nanométeres fényre. A zöld és vörös csap sejtek a színek legnagyobb részében működőképesek, de különösen a 450-620 nanométeres tartományra érzékenyek; a zöldek az 535nm-, a vörösek pedig az 565 nm hullámhosszú fényre a legérzékenyebbek (**1. ábra**).

Ezt követően a mérések egyre finomodtak és 1966-ban *Walraven és Bouman* úgy találta, hogy a három receptor érzékenysége nem csak spektrálisan

tér el, hanem nagyságuk sem azonos: a legérzékenyebb a protos, legkevésbé érzékeny a tritos; protos: deuterios : tritos = 40:20:1.

A XX. században megfogalmazódott az igény a színek számszerűsítésére, mérésére is:

1905-ben *Munsel* amerikai festőművész egy 4000 tagból álló egyenközű színminta gyűjteményt és egy színrendszerezést dolgozott ki, amit ma is igen elterjedten alkalmaznak; 1939-ben *Oswald* német kémikus-fizikus egy másik fontos színharmoniaikon alapuló színrendszert és színminta gyűjteményt hozott létre; 1980-ban *Nemcsics* professzor kidolgozta építészek részére a színpreferencián alapuló COLOROID színrendszert. Mára szinte minden szakma kidolgozta a maga színmérési rendszerét. A Nemzetközi Világítástechnikai Bizottság (Commission Internationale de l'Éclairage, CIE) 1931-ben kezdte meg a színekkel kapcsolatos terminológia és a színmérési szabványosítását, 1964-ben egy „kiegészítő” színmérő rendszert is bevezettek (**2. ábra**). Ezek a nemzetközi szabványok a magyar szabványokban is érvényesültek (MSZ9620). A másik nagy nemzetközi színbizottság az AIC (Association International de la Couleur) fő célja a színekkel kapcsolatos tudo-



1. ábra: Spektrális érzékenységi görbék<sup>52</sup>.

mányos, művészeti és oktatási munka koordinálása. Hazánkban az MTI Kolorisztikai Bizottsága lát el hasonló feladatokat<sup>7</sup>. Jelenleg a CIE 143-2001 ajánlása szerint a jó színlátást igénylő munkavégzéshez az enyhe fokú szintévesztőknél szükséges igazolni, hogy a színes fényforrásokat felismerik, illetve a színes monitoron végzett munkához szükséges rövid távolságból felismerni a kifelületű, kódolt színes jeleket<sup>51</sup>.

A hetvenes években bizonyításra került, hogy a dichromaták nélkülöznek csapsejtjeik egyik vagy másik típusát. A Texasi Egyetemen (*Rushton, Thomas P. Piantanida, Harry G. Sperling*) a három színlátó anomáliásoknál pszichofizikai módszerekkel kimutatták, hogy az anomáliás zöld- vagy vörös csapsejtjeik érzékenységi görbéi a normális vörös és zöld csapsejt érzékenységi görbéi között futnak.

A nyolcvanas elején *Jeremy Nathans* professzor *David S. Hogness* segítségével a normális és rendellenes színlátás genetikai hátterét kezdték el vizsgálni, megfejtvé a **színlátás molekuláris mechanizmusát**. Akkor még igen kevés emberi gént klónoztak, fej-

letlen volt a rekombináns DNS-technika, ezért négy évbe telt, mire meghatározták a szarvasmarha pálcikák-rodopszin aminosav sorrendjét, a következő évben - Nathans saját DNS-ét használva- szekvenálták a human rhodopszint, majd eltartott még több évig míg a fotopszinokat is sikerült klónozni. Kiderült, hogy kettő közülük – a vörös- és a zöld- az X kromoszómán található, és az aminosav-sorrendjük 96%-ban azonos; a rhodopszin génjével 41+/-1%-os, míg a kék pigment-génnel 43%-os az azonoság. Az eredményből arra következtettek a kutatók, hogy az evolúció során az X kromoszóma egyetlen opszin-génje egy egyszerű duplikáció révén megkettőződött, majd a másolatban keletkező mutációk következtében módosult az új fotoreceptor-fehérje abszorpciós spektruma, és az addig két típusú fotopigmenttel (az emberrel sokkal közelebbi rokonságban álló óvilági-afrikai majmok ) rendelkező, bikromát szem valamikor 30 millió évvel ezelőtt eljutott a trikromát látásig. Az újvilági – dél amerikai – majmok X kromoszómája csak egy látópigment-gént hordoz, ami azt bizonyította, hogy az X kromoszóma második látópigmentje az újvilági és óvilági majmok génkészlete Afrika és Dél Amerika szétválását követően valamikor a leg-

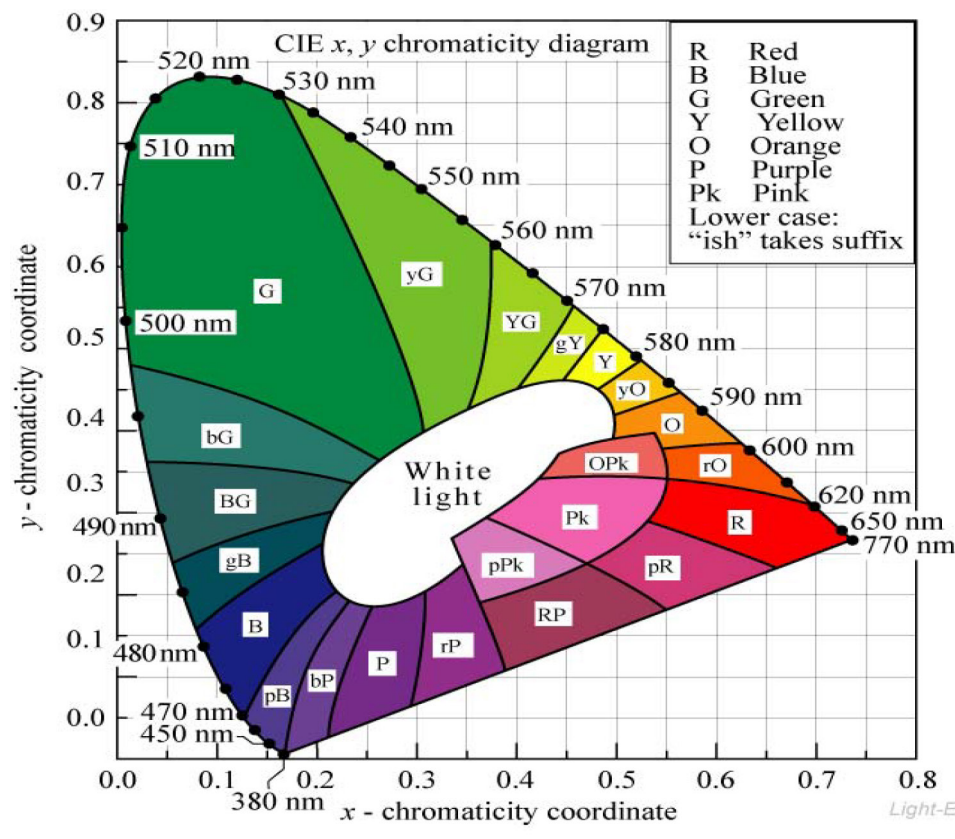


Fig. 17.3. 1931 CIE chromaticity diagram with areas attributed to distinct colors (adopted from Gage *et al.*, 1977).

E. F. Schubert  
Light-Emitting Diodes (Cambridge Univ. Press)  
[www.LightEmittingDiodes.org](http://www.LightEmittingDiodes.org)

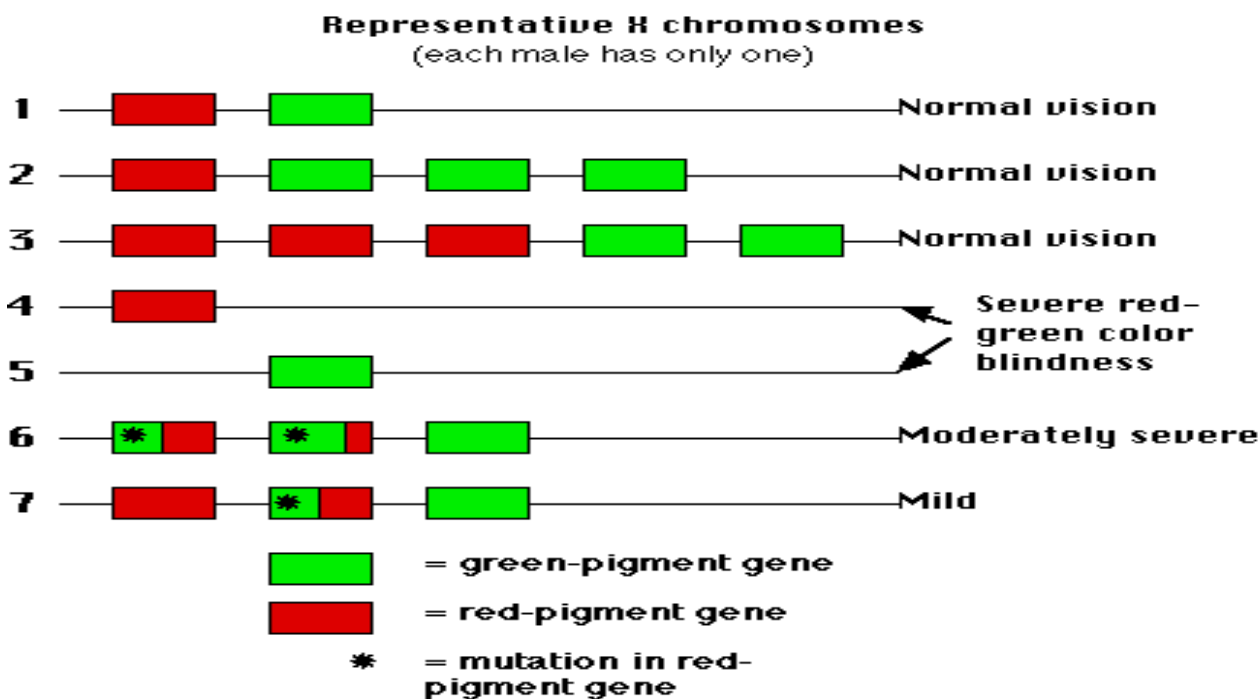
2. ábra: CIE 1931-es évi színkép diagrammja<sup>55</sup>

utóbbi 40 millió évben alakult ki (*Jacobs, Bowmaker, Mollon*). A vizsgálatok azt is valószínűsítették, hogy a *kék érzékelésben* mutatkozó különbséget viszont nem az ivari kromoszómák génei hordozzák.

További vizsgálatok során az igazolódott, hogy a vörösre érzékeny pigment génje mindig egyetlen példányban van jelen, ugyanakkor a zöld festékanyagot kódoló gén egy, kettő, sőt három példányban is előfordulhat (**3. ábra**). A látó pigment gének az X kromoszómákban egymásután helyezkednek el, és ez az úgynevezett tandem elrendezés felelős a gén példányszámában mutatkozó változatosságért (a tandem gének hajlamosak a megváltozásra a petesejtek és ondósejteket létrehozó sejtosztódás, a meiózis során). A homológ kromoszómák párban állásánál, egyes részeik kicserélődhetnek gén veszteség nélkül, viszont, ha mégis *hibás azaz egyenlőtlen homológ rekombináció történik* (az Y kromoszómával párban állásnál az X kromoszóma hibája nem kerülhet javításra), az egyik kromoszóma kap egy már meglévő génből még egy vagy több példányt, vagy egymáshoz hasonló, de nem azonos gének bizonyos részletei cserélődnek ki a két kromoszóma között. A megváltozott kromoszómák azután átkerülnek az ondó-, illetve petesejtekbe. A genetikai anyag kicserélődése a

vörös és a zöld festékanyaggenjeit hordozó normális X kromoszómák között, eredményezheti a vörös és zöld színlátásnak a rendellenességeit. A férfiak egyetlen X kromoszómájának vörös-zöld színek spektrális fényérzékenységét befolyásoló fotopszingén variációinak hét genotípusa van és bármelyik phenotípus kialakulása lehetséges (**3. ábra**): három jó színlátó, egy vörös- vagy egy zöld súlyos szintévesztő, egy közepsúlyos vörös- vagy zöld szintévesztő, illetve egy enyhe vörös- vagy zöld szintévesztő<sup>4</sup>.

A harmadik fotopigment óriási invenció, de 1991-ben *Jay Neitz, Maureen Neitz és Gerald Jacobs* bebizonyították, hogy elég mindössze három aminosav (Ser180Ala, Fala277Tir, Ala285Tre) cseréje ahhoz, hogy a zöldet és vöröset érzékelő opszin abszorpciós maximuma közötti 30 nm-es különbség létrejöjjön és kialakuljon a trikromát látás lehetősége. *Jay Neitz* kifejti: a főemlősök trikromát látásának kialakulása minden valószínűség szerint nem az evolúciósan alapvetőnek tekintett "génduplikáció majd divergencia" sémát követte, hanem *először a divergencia alakult ki, egyetlen gén polimorfizmusa, majd későbbiek során genetikai transzlókációval kerülhetett át az egyik fotopszin gén az egyik X kromoszómáról a másik X kromoszóma fotopszin génje mellé, ahogy az*



3. ábra: A férfiak színlátó képességének lehetséges phenotípusai<sup>4</sup>.

ma az emberekben is található. *Jeremy Nathans* szerint "Érdekes géncsavar a génduplikáció evolúciós dogmáján".

*Nathans* professzor kék monokromát látású szintézisvesztő (autoszomális kromoszóma génhiba) vizsgálata során felfedezett X kromoszómájukon egy deléciót, 4000 bázispárnyi távolságra az egymás mellett elhelyezkedő vörös és zöld fotopszingénektől, ami igazolja, hogy az eltűnt régió egy szabályozó régió, ezen génszakasz működése dönti el, hogy a két gén közül a vörös vagy a zöld íródik át és véleménye szerint szerencsére a duplikáció során ezen régió nem sérült.

*Nathans* további kísérleteivel bizonyította, hogy az állatok tudják kezelni, értelmezni a hirtelen kialakuló újfajta szenzorokat; így a két fotopszingénnel rendelkező nőtény egerek egyik kromoszómájában kicserélte a középhullámra érzékeny fotopszingént emberi hosszuhullámra érzékeny fotopszingénné, és az állatok képesek az agy „újrahuzalozása” nélkül az új receptor tartományába eső színek megkülönböztetésére. Ez arra utal (*Shozo Yokohama*), hogy távoli őseink a ma élőknél is több színt voltak képesek érzékelni: gerinces őseinknek még 5 különböző csap pigmentjük volt, emlős őseink azonban néhányat elveszítettek, viszont az agy értelmező kapacitása megmaradt.

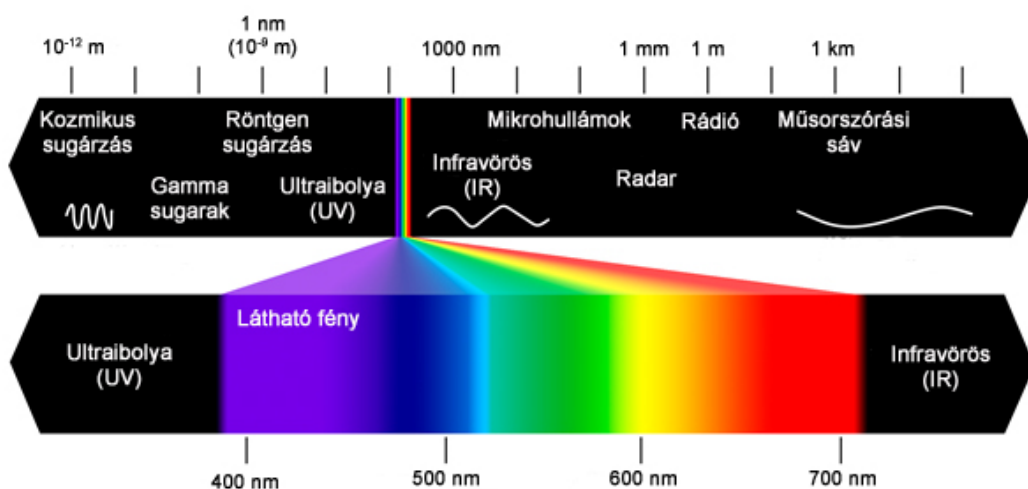
*Neitz* abban reménykedik, hogy a majmokban már

használatos génszövet révén, a három fotopszingén mellé még beültetnek egy negyediket ami csak madarakban fordul elő, így a közeljövőben kezelhetővé válik az emberi színvaktság, sőt visszaszerezhetjük az őseink által elvesztett receptorokat és valamennyien szuper szín-érzékenyebbé válhatunk.

## 2. A látás, színlátás és adaptáció élettani alapjai

A fény elektromágneses sugárzás (4.ábra), melynek a 380 nm hullámhosszúságú „ibolyától” a 780 nm-es „vörösig” terjedő intervallumát a látószervünk képes érzékelni, és a látókéreggel együtt a látás élményét hozza létre.

Színesnek nevezzük a fényt, ha különböző hullámhosszúságokon eltérő intenzitása van. Színesnek nevezzük a felületeket, ha különböző hullámhosszokon más-más mértékben verik vissza a fényt. A szín a szemünkbe érkező fénynek azon tulajdonsága, hogy különböző hullámhosszúságú összetevői nem azonos intenzitásúak. A magyar szabvány definíciója szerint a szín „A látható sugárzásnak az a jellemzője, amelynek alapján a megfigyelő a látótér két azonos méretű, alakú, szerkezetű, egymáshoz csatlakozó része között különbséget tud tenni, és ezt a különbséget a megfigyelt sugárzások spektrális eloszlásának eltérése okozhatja.” A színtan tudományos területén színnek csak azt a spektrális élményt nevezik ame-



4. ábra: Az elektromágneses sugárzás látható fény spektruma

lyet az emberből vált ki színes fényt. A színmérés olyan műszerrel történik amely modellezi az ember színlátását, és számokkal írja le, amit az ember érzékel. A színes látás összetett, bonyolult működés eredménye, *a szín fogalomnak* a CIE és a magyar szabvány szerint is három definíciója van:

- *Fizikai szempontból:* a szín meghatározott hullámhosszúságú fény. („Inger”)
- *Fiziológiai szempontból:* a szín a látás érzékszervében egy vagy több fénysugár által kiváltott ingerület. („Ingerület”)
- *Pszichológiai szempontból:* a szín a látószerv idegpályáin továbbított ingerületek által az agykérgi látóközpontban létrejött érzet. („Színérzet”)<sup>7</sup>.

Bár az emberi szem alapvetően a látható spektrum csak három tartományát: a vöröset, a zöldet és a kéket tudja megkülönböztetni, ebből a három színélményből a látási információt feldolgozó emberi agy több millió színárnyalat színérzet létrehozására alkalmas. A szembe beérkező fény a retina pigment hámlában és a fotoreceptorok külső tagjában fizikokémiai folyamatokat indukál (fototranszdukció), az ingerület a látópályán az occipitalis kéregbe jutva vizuális percepciót eredményez.

A gerinceseknek hat spektrálisfényre érzékeny receptorai vannak: három különböző spektrális fényérzékenységi csúcspontú csap (OPN1S, 419 nm; OPN1M, 530 nm; OPN1L, 559 nm), a pálcikák rhodopszinja (OPN2, 500 nm), a melanopszin ganglion sejtek (OPN4, 480 nm) és a nemrégiben egereknél felfedezett ganglion sejtek OPN5-expressing neuropszinja (380 nm). A dúc, azaz ganglion sejtek szerepe úgy a retinában, mint a központi idegrendszer látó magvaiban képezi több tudományos kutatás területét. A retinában a dúcsejt mérete és a kécsapok körüli elhelyezkedésének sűrűsége szerint engedélyezi/ vagy letiltja a csap reakcióját a reá jellemző hullámhosszú spektrálisfény ingerre. A dúc sejtek aktiválják vagy sem a pálcikák fotopigmentjét, ami aktiválja vagy sem a kécsapokat és ezzel a horizontális sejteken keresztül a vörös-zöld csapokat (ON/OFF input)<sup>3</sup> 6.ábra.

A pálcikák gyenge megvilágítás esetén működő-

képesek, akár egyetlen foton beérkezésekor aktiválódnak. A csapok kevésbé érzékenyek, de nagyobb fényintenzitáshoz is képesek alkalmazkodni, így elsősorban nappali fényben működnek. Az emberi retinában körülbelül 130 millió pálcika, és jóval kevesebb csap található, alig 7 millió.

A szem optikai tengelyén át vezetett keresztmetszetben a csapok eloszlása haranggörbeszerű eloszlást mutat, melynek csúcsa az éleslátás helyén a retina optikai középpontjában, a foveolában helyezkedik el, ahol szinte csak csapok találhatóak, igen nagy sűrűséggel. A csapok felelősek az éleslátásért és a színlátásért.

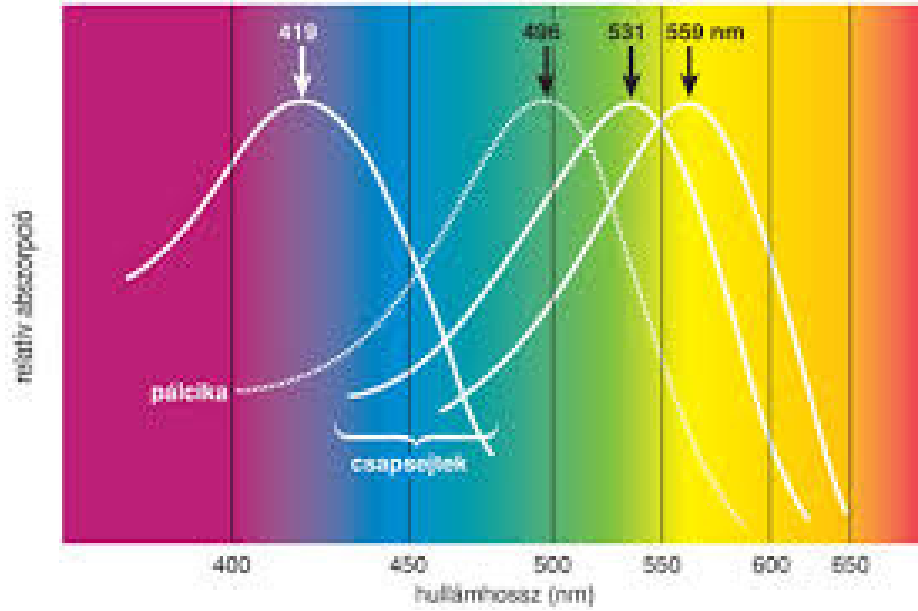
A pálcikák eloszlása a csapokéval ellentétes, a fovea központi része „pálcikamentes zóna”, számuk a periféria felé fokozatosan növekszik.

A pálcikák és csapok *fotopigmentje* különbözik. Pálcikákban ez a fehérje a rodopszin, melynek fényelnyelési maximuma  $\lambda=500\text{nm}$ , ez kékes-zöld színnek felel meg.

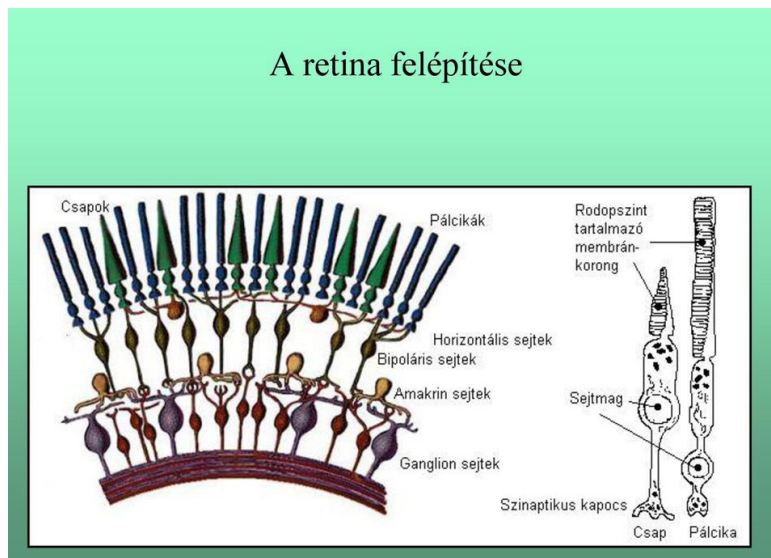
Egészséges emberi szemben háromféle csap van jelen, melyek mindegyikében más a fényt elnyelő fotopigment. A hullámhosszak elnyelési maximuma közeli, de más-más értékek határozzák meg (**5. ábra**). Ennek alapján megkülönböztetünk kék-, vagy rövid hullámhosszú (S,  $\lambda=419\text{nm}$ ); zöld-, vagy közepes hullámhosszú (M,  $\lambda=530\text{nm}$ ) és vörös-, vagy hosszú hullámhosszú (L,  $\lambda=559\text{nm}$ ) fényre érzékeny fotopigmentet, illetve csapot. A színlátásban betöltött szerepük molekuláris felépítésükkel magyarázható. A tudományos irodalomtól függően a fenti értékek 1-2 nm különbséggel adja meg a hullámhosszak elnyelési maximumának értéket.

A retina több rétegből felépített néhány századmilliméter vastag hártya, a legbelső részében vannak a henger alakú, 0,063-0,081mm vastag pálcikák és a vastagabb 0,0045-0,0065 mm átmérőjű, de rövidebb csapok. Ezek végeikkel a pigment rétegbe nyúlnak. A csap és pálcika hasonló felépítésű idegsejt, amelynek a belső szegmentumában található a sejtmag, míg a külsőben a fényre érzékeny anyag (**6.ábra**).

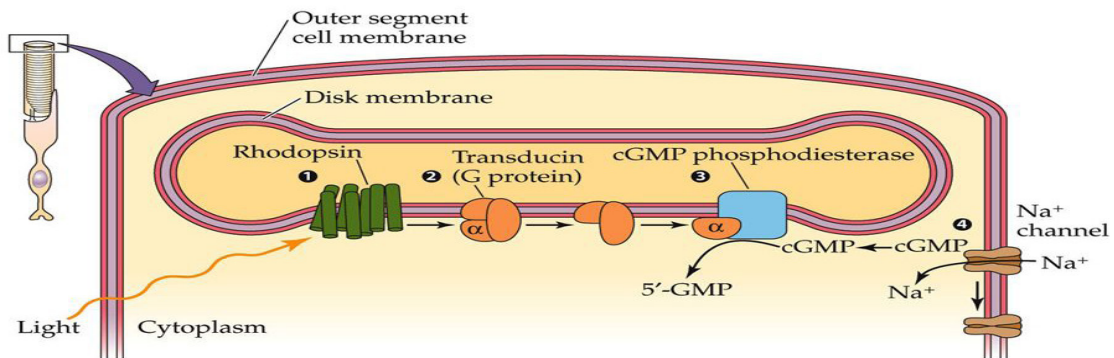
Az alapvető molekuláris mechanizmusok mind-



5. ábra: A fotopigmentek abszorpciós tartománya és maximuma<sup>54</sup>

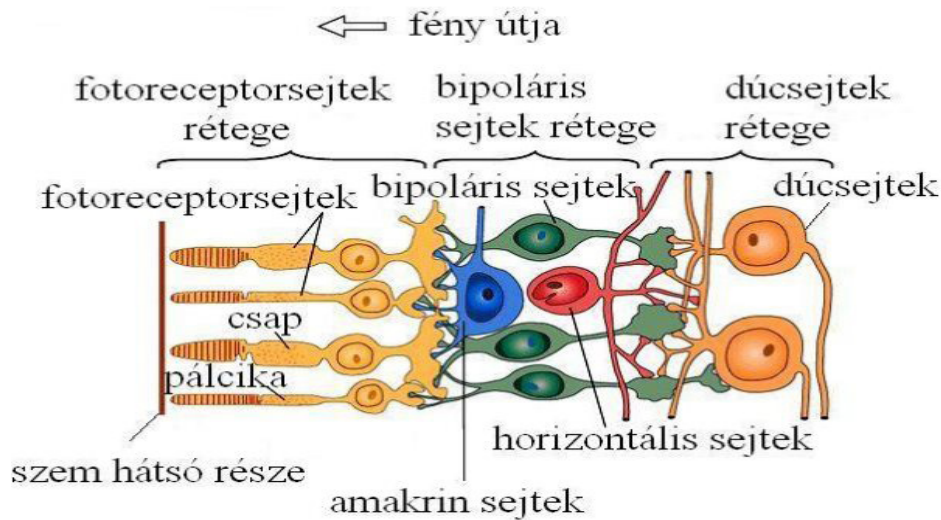


6. ábra: A retina felépítése.



7. ábra: A fototranszdukción folyamat.





8. ábra: A retina sejtjei közötti kapcsolatok

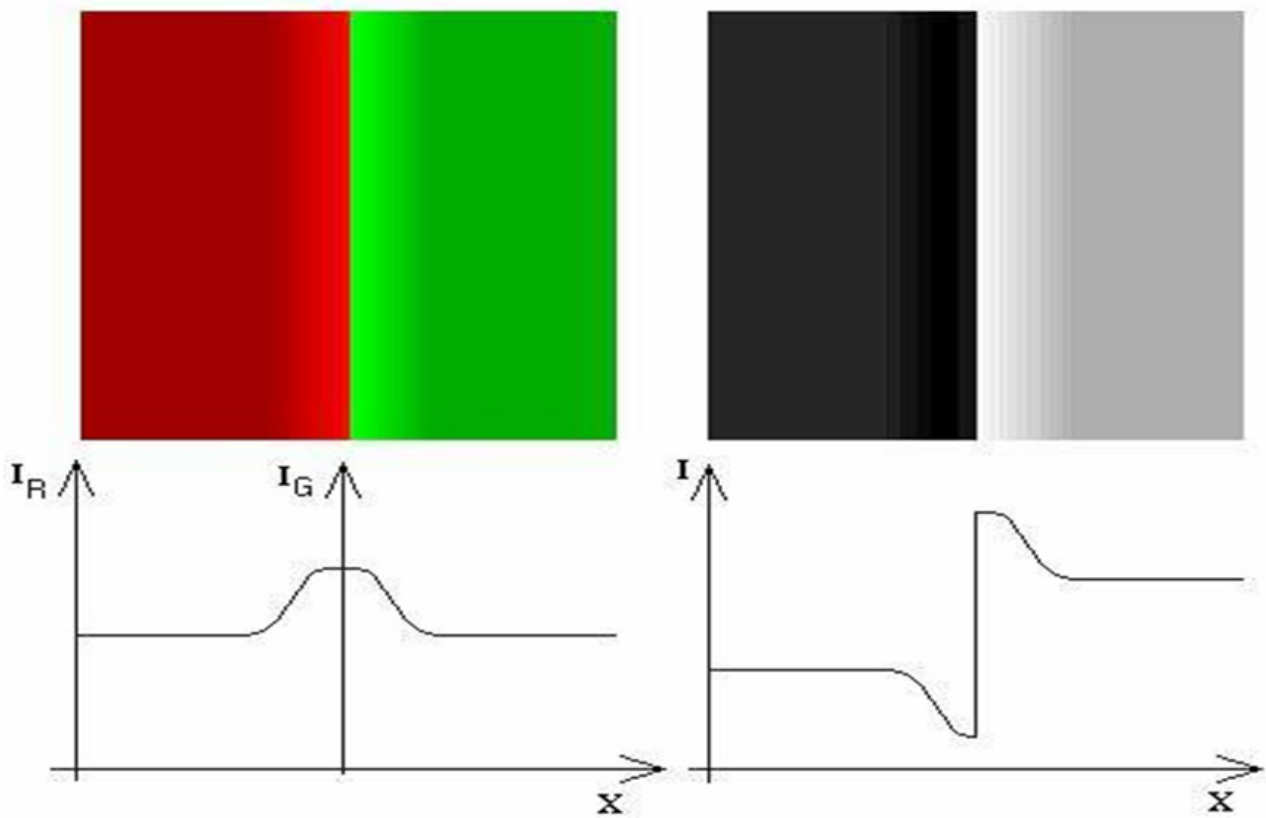
két típusú fotoreceptorban azonosak. A fény aktivál egy opszin-fehérjét, ez cisz-transz izomerizációt okoz a hozzá kapcsolódó kromoforon. Az így aktív állapotba került pigment-fehérje aktiválja a G-protein transzducint, amely ezáltal aktivál egy cGMP-foszfodiészterázt, amely a sejtben a cGMP koncentráció csökkenését eredményezi. Ez a csökkenés a sejtmembrán cGMP-vezérelt kation-csatornáinak záródásához vezet, ami lokális hiperpolarizációs szignálként hat a sejt működésére (7. ábra).

A pálcikák és csapok információi között kereszt-kapcsolatok jönnek létre a bipolaris sejtek rétegén keresztül és ezzel valószínűleg elkezdődik a látási információ feldolgozása, összehasonlításra kerül a különböző színekre érzékeny csapok ingerülete (8. ábra), és valószínűleg itt jön létre a **világosság- és a színkontraszt fokozó hatás**. A kontraszt fokozó mechanizmus működésének alapja a retina szomszédos érzékelő elemei közötti kölcsönhatás. Ha egy fényérzékeny csapot fényhatás ér, a benne lévő fényérzékeny pigment bomlásnak indul. Ez a folyamat kismértékben abban a szomszédos csapban is beindul, amelyik esetleg nem is kap fényt, mert az inger átadódik a szomszédos sejtekbe is. Ezért ez a sötétben lévő sejt a csökkent pigment mennyisége miatt a sötétet még sötétebbnek látja, mint a távolabbi szomszédjai. Az inger mellett a gátlás is átadódik, ezért egy sötétben lévő receptor, amelyben intenzív a pigment termelés, ezt a hatást átadja a szomszédos sejteknek is, amelyek esetleg világosban vannak, ezért a világosságot még világosabbnak látják, mint

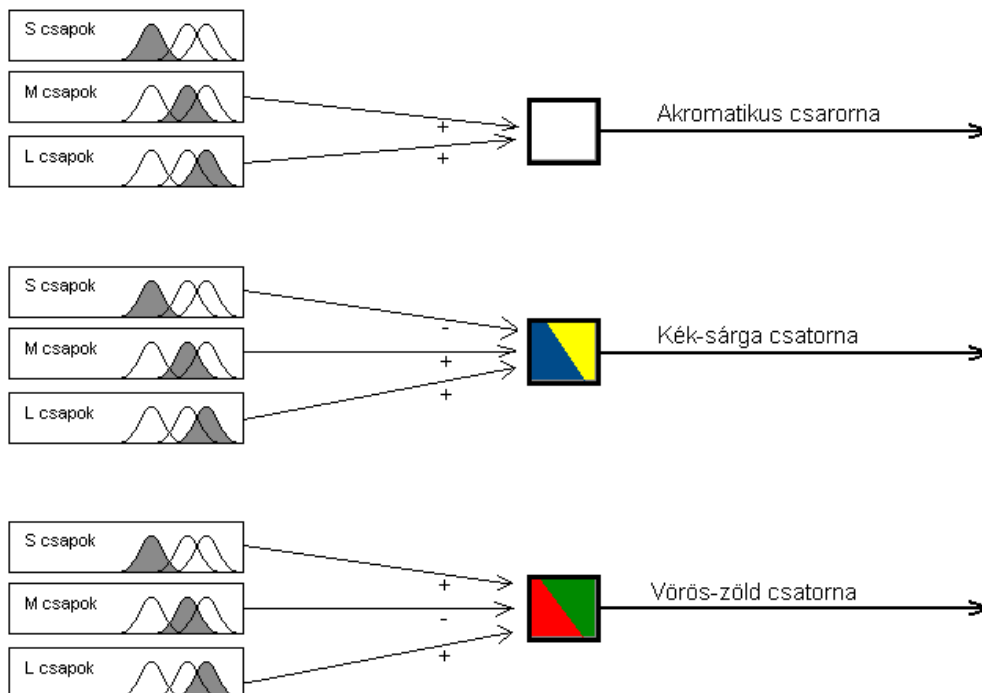
a távolabbi sejtek. Így alakul ki a **9-es ábra** szerinti modell, amelyben egy sötét-világos határvonal mentén a sötét sötétebbnek, a világos világosabbnak látszik, mint a határvonaltól távolabb. A kontraszt jelenség nemcsak sötét-világos határvonalak mentén alakul ki, hanem különböző színű felületek határvonala mentén is. Ez a színkontraszt a legerősebb a kiegészítő (komplementer) színek határvonalán is. A kontraszt segíti a látást a körvonalak kiemelése által, azonban ez zavaró lehet amennyiben erős. Ilyenkor *káprázásról* beszélünk. Ez lehet *zavaró*, ami kellemtelenérzést okoz, de nem zavarja a látást; vagy *rontó káprázás* ami a látási teljesítményt rontja<sup>7</sup>.

A horizontális sejtek után a **bipolaris sejtek** továbbítják a látási információt, majd az **amakrin sejteken** ismét kereszt-kapcsolatok jönnek létre. A három fajta receptortól érkező jelek vörös-zöld, kék-sárga ellentét párokká és egy világosság információt adó csatorna jellé kódolódnak (10. ábra) és a **ganglion sejteken** keresztül a látóközpont neurális hálózatában létrejön a végleges szín-, színezetdúság (telítettség-) és világosság-észlelet.

Tehát a csapok az őket érő fény spektrális érzékenységüknek megfelelő mértékben elnyelik, és az elnyelt energia a csapok fényérzékeny pigmentjét lebontja, a bomlástermék a csapokhoz csatlakozó idegvégződéseket ingerlik és az inger frekvencia kódolással továbbítódik az agyba. A protan, deután és tritan egymáshoz viszonyított értékei alapján alakul ki a színezet, amely a színárnyalatok végtelen sorát



9. ábra: Színkontraszt és világosság kontraszt; az él kontraszt. Prof. Dr. Wenzel Klára



10. ábra: Az akromatikus és kromatikus csatornák. Prof. Dr. Wenzel Klára

jelenti a harsány, a rikító színektől a halvány, finom árnyalatokig: a sötét tompa színektől a világos, csillogó színekig. Mivel mindhárom érzékelő receptor kb. 100-120 világosságfokozat megkülönböztetésére képes, a megkülönböztethető színárnyalatok száma mintegy 1-2 millió.

Tehát a színlátás folyamatában ugyanúgy érvényesül Hering „ellen-szín elmélete”, hogy a retinából az ingerület három csatornán keresztül továbbítódik az agy felé, valamint Young és Helmholtz trichromatikus elmélete, hogy a „színkeverést” az agy látósejtjei végzik.

A fényérzékeny pigment nem csak lebomlik, hanem folyamatosan újratermelődik. A bomlás és újratermelődés a megvilágítás szintjétől függő egyensúlyi állapot kialakulásához vezet, az emberi szem képes alkalmazkodni a környezet fényviszonyaihoz és ezt nevezzük **adaptációnak**.

Ezáltal vagyunk képesek különböző intenzitású megvilágításban is árnyalatok megkülönböztetésére. Az **adaptáció alapja** kémiai folyamat: a fotoreceptorok opszinjának regenerációja. Fény hatására a 11-cisz-retinal konformáció változáson megy keresztül, transz-retinállá alakul. A visszaalakulás nem a fotoreceptorokban, hanem a környező pigmenthám-sejtekben történik, ez időigényes folyamat: a pálcikák fotopigmentjének teljes regenerációja 40-45 perc alatt történik meg, csapoknál ez a folyamat sokkal gyorsabb, mindössze 6-8 percig tart. A lassú regeneráció miatt nappali megvilágításnál a pálcikák retinál raktára szinte teljesen kiürül. Szkotopikus körülmények között mindkét típusú receptor érzékenysége fokozódik. A csapok gyorsabban alkalmazkodnak, ingerküszöbük körülbelül két nagyságrenddel csökken. A pálcikák lassabban adaptálódnak, azonban érzékenységük többszázszorosra nő.

A színes látás (**trichromázia**) két legfontosabb jellemzője :

- a színárnyalat megkülönböztető képesség (*szín diszkrimináció*) az a képesség, amellyel két, egymástól csekély mértékben eltérő szín között különbséget tudunk tenni,
- a színelismerési képesség (*szín identifikáció*) az

a képesség, amellyel az egyes színeket és színárnyalatokat helyesen meg tudjuk nevezni.

### 3. A veleszületett színtévesztési rendellenességek típusai: anomáliás trichromázia, dichromázia, monochromázia, teljes színvaktság.

A színtévesztők a színtévesztés típusainak spektrális érzékenységi görbéi, típus szerinti színeképe és %-os előfordulási aránya a **11.ábrán** látható.

Nagyon ritka előfordulási aránya az örökletes retina disztrófiák ideghártya genetikailag meghatározott betegségei mind a klinikai(fenotípus), mind a genetikai háttér (genotípus) tekintetében rendkívül heterogén kórképek gyerekkorban melyek egyéb genetikai betegségek mellett színtévesztést, színvaktságot okoznak: acromatopszia, Stargardt-féle macula degeneráció, vitteliform maculadisztrófia, X-kromoszómához kötött juvenilis retinosis, Leber féle hereditær opticus neuropathia, retinitis pigmentosa (kezdetben pálcikákat érinti, későbbiekben a csapok működését is)<sup>10</sup>.

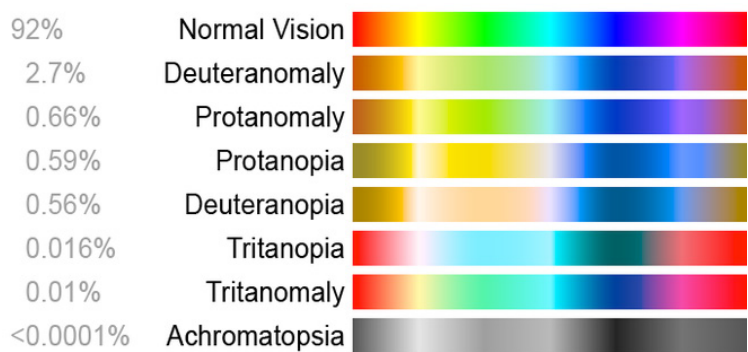
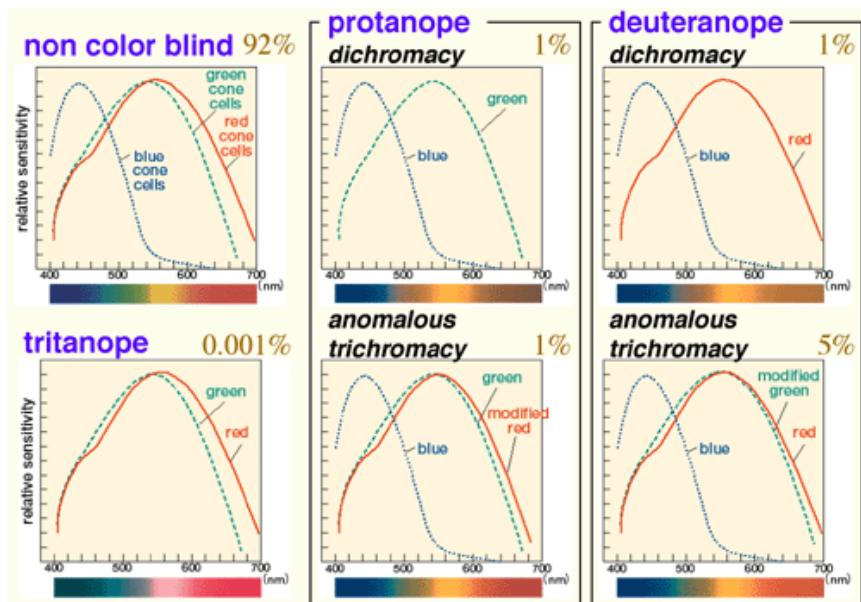
Ezen rendellenességek jellemző elváltozásai és genetikai háttere az I. táblázatban részletezett.

Az öröklődő színtévesztés leggyakoribb formája a vörös-zöld színtévesztés, a kaukázusi emberi fajnál előfordulási aránya 8%-os a férfiaknál és 0,4-0,5%-os a nőknél; kialakulásáért az X-kromoszóma Xq28-as régiójában a OPN1LW és OPN1MW gének felelősek. Az X és az Y kromoszómák ugyanis eltérő alakúak és méretűek, különböző géneket tartalmaznak. Ezért a férfiakban az ivari kromoszómán levő génekből csak egy-egy példány, egy allél van jelen, így az X ivari kromoszómához kötötten öröklődik a vörös-zöld színtévesztés.

A domináns allél normális színlátást alakít ki (jele: XA). A recesszív allél ezzel szemben vörös-zöld színtévesztést okoz (jele: Xa). A nőknek két X ivari kromoszómájuk van, ezért sejtjeik az ezeken levő génekből is két-két példányt tartalmaznak, genotípusuk háromféle lehet: XAXA, XAXa, XaXa. A homozigó-

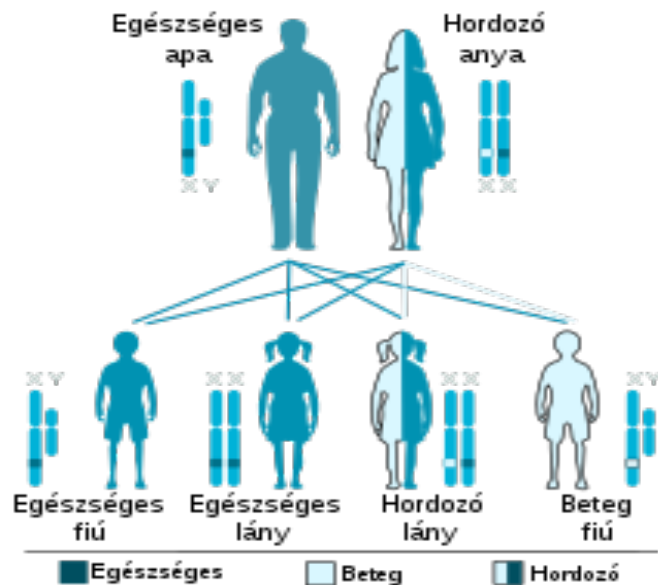
## A veleszületett színtévesztési rendellenesség

Színtévesztés típusa	Jellemző elváltozások; genetikai háttér
<b>1. Rendellenes színlátás (anomáliás trichromázia).</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protanomália</li> <li>• Deuteranomália</li> <li>• Tritanomália</li> </ul>	<p>Zavar a vörös színek érzékelésében, a fehéret a zöldszínnel téveszthetik, vöröset a sárgával és zölddel; színdiszkriminációjuk egyéni. A vörös fényre csökkent az érzékenységük, színkeverésnél több pirosat adnak a zöldöz ( R+G=Y). X- kromoszóma Xq28-as régiójában a OPN1LW génhiba recesszív öröklődés menettel.</p> <p>Zavar a zöld színek érzékelésében, a fehéret a zöldszínnel téveszthetik, a vöröset a sárgával és zölddel; színdiszkriminációjuk széles skálán megoszlik és nagyon egyéni. A vörös fényre csökkent az érzékenységük, színkeverésnél több zöldet adnak a piroshoz ( R+G=Y). X- kromoszóma Xq28-as régiójában a OPN1MW gén hiba recesszív öröklődés menettel.</p> <p>Zavar a kék színek érzékelésében, ezen csap működési zavara nagyon ritka; a kék-, zöldes-kék- és zöldszínek meg különböztesítésének zavarával járó rendellenesség. Részleges veszteség a kék spektrális fényre érzékeny csap opszin termelését szabályozó génben.</p>
<b>2. Részleges színvaktság (dichromázia):</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protanopia</li> <li>• Deuteranopia</li> <li>• Tritanopia</li> </ul>	<p>A vörös színekre érzékeny receptorok funkcióképtelensége, illetve nagymértékű hasonlósága a zöldre érzékeny receptorokhoz); nagyon csökkent színelismerési rendellenesség, tévesztik a vörös színt a sárgával és zölddel, a fehéret a zölddel és a kéket a lilával. Csökkent az érzékenységük a vörösfényre. X- kromoszóma Xq28-as régiójában a OPN1LW génhiba recesszív öröklődés menettel.</p> <p>A zöld színekre érzékeny receptorok funkcióképtelensége, illetve nagymértékű hasonlósága a vörösre érzékeny receptorokhoz, nagyon csökkent színelismerési képesség, tévesztik a vörös színt, a sárgaszínt a zölddel, és a fehéret a zölddel. X- kromoszóma Xq28-as régiójában a OPN1MW génhiba recesszív öröklődés menettel.</p> <p>A kék színekre érzékeny receptorok hiánya, illetve hibája, nagyon csökkent színelismerési képesség. Tévesztik a kékszínt a zöldes-kékkel és a zöldszínnel és a fehéret a sárgával. A kékszínvaktságot okozó betegségért a 7q32.1 kromoszóma OPN1SW génje a felelős, (genomikus koordinátái GRCh38: 7:128,772,488-128,775,789 - NCBI szerint), 3 fenotípusa van és autoszomális dominánsan öröklődik.<sup>57</sup></p>
<b>3. Monokromázia:</b> csak egyetlen csap típus működik, általában a kékszínre érzékeny receptorok maradnak meg.	A színeket csak a világosságuk szerint különböztetik meg. A vörös fényt egyáltalán nem érzékelik. Klinikailag: nystagmus, csökkent látás (0,5-0,25 vizus), fájdalmas fotofóbia jellemzi. Autoszomális domináns öröklődés menet.
<b>4. Teljes színvaktság:</b> egyetlen csap típus sem működik, csupán az éjszakai pálcikalátást biztosító rhodopszin van.	A congenitális achromatopsia, más néven pálcika-monochromázia, a retina autoszomális recesszív öröklésmentet mutató betegsége, bizonyítottan a CNGA3 (2-es kromoszóma q11.2 régió)-, CNGB3 (8q 21-q22 régió)- és GNAT2 gének mutációja. Felmerült a 14-es kromoszóma mutációja, de nem tudták sem megerősíteni, sem kizárni. Jellemző tünetei a szín megkülönböztető képesség teljes hiánya, erősen csökkent (0,1-0,2) látásélesség, kifejezett fényérzékenység és szemtekerézés. Az irodalmi adatok alapján az achromatopsia becsléselt prevalenciája világszerte 1: 30000- 1: 50000. Ez alapján Magyarországon a teljes színvaktságban szenvedő betegek várható száma 200-300 <sup>6</sup> .

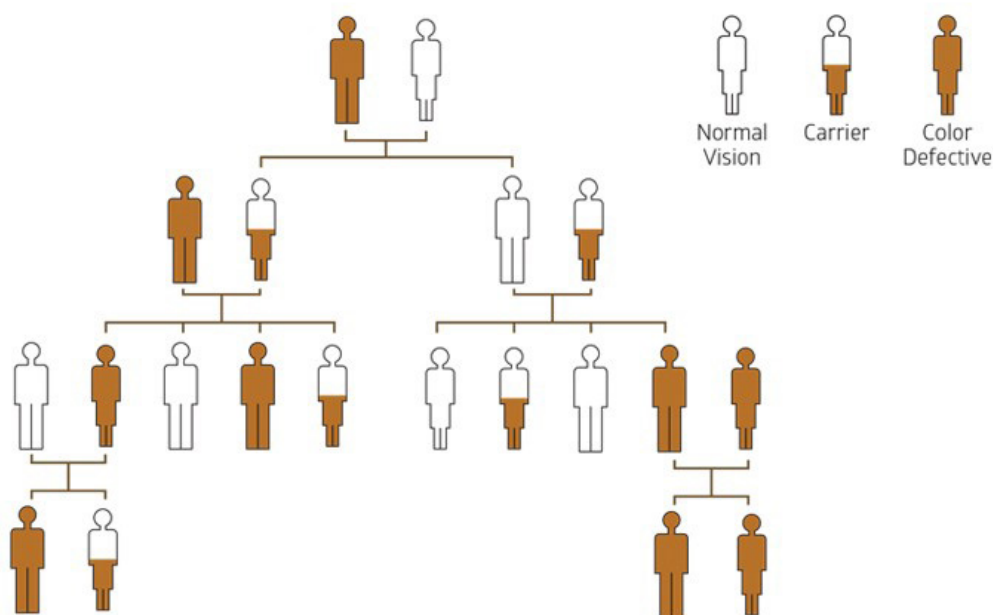


11. ábra: A színtévesztők spektrális érzékenységi görbéi, típus szerinti színeképe és előfordulási aránya %.

X-kromoszómához kötött recesszív öröklődés a hordozó az anya



12. ábra: X-kromoszómához kötött recesszív öröklődés.



13. ábra: A vörös-zöld színtévesztés 4. generációs öröklődés menete.

ta domináns és a heterozigóta nők normál színlátásúak, a homozigóta recesszívek színtévesztők.

A férfiak genotípusa csak kétféle lehet: XAY, illetve XaY. A domináns allél normál színlátást, a recesszív színtévesztést eredményez. A ivari kromoszómához kötődő recesszív jellegek éppen ezért férfiakban sokkal gyakrabban alakulnak ki, mint nőkben. A férfiaknál a vörös-zöld színtévesztés akkor lép fel, ha az anyjuktól örökölt X kromoszómájuk hordozza a rendellenességet, a nőknél viszont csak akkor, ha mindkét szülőtől rendellenes kromoszómát kaptak (12.ábra, 13.ábra).

#### 4. A szerzett színlátás zavara<sup>14, 21, 19</sup>

Okai:

##### 4.1. Szembetegségek:

**4.1.1. Vörös-zöld színtévesztés:** opticus neuritis, pappilitis, Leber féle atrophia n. optici, trauma, macularis degeneratio, fundus flavimaculatus.

**4.1.2. Kék-sárgaszíntévesztés:** glaucoma, cataracta, diabetes mellitus, retina decollatio, chorioretinitis, papilla oedema, sclerosis multiplex, hepatopathia.

#### 4.2. Gyógyszerek.

4.2.1. Vörös-zöld színtévesztés: orális antidiabeticumok, tuberkulosztatinok.

4.2.2. Kék-sárga színtévesztés: erythromycin, chlorokin, indomethacin.

4.2.3. Vörös-zöld, kék-sárga színtévesztés: digitalis, orális fogamzásgátlók, Parkinson kór és Alzheimer kór gyógyszerei, leukémia kemothérapie.

**4.3. Veszélyes vegyi anyagok:** higany, karbon disulphid, etanol, aceton, aromás szénhidrogének. A „Clinical ocular Toxicology–Drugs, Chemicals and Herbs” by Fraunfelder megnevez: 96 biztosan-, 21 valószínű- és további 16 anyag lehetséges színlátást károsító anyagot.

#### 5. Alkohol, cannabis, dohány.

#### 6. Étrend kiegészítők.

#### 5. A színtévesztés diagnózisa

A színtévesztés felismerése, típusának és súlyosságának meghatározása nehéz feladat, mert egy pszichofizikai mennyiséget a szem *színérzékenységet*

kell megmérni. Az elmúlt 200 év során több száz mérési módszert, eszközt dolgoztak ki a szintévesztés mérésére.

Mivel a más és más módszerekkel kapott mérési eredmények ellen mondhatóak is lehetnek, a szintévesztést több különböző módszerrel kell megvizsgálni.

Hazánkban a leggyakrabban a pszeudoizokromatikus tesztek (ISHIHARA, Verlhagen) és az anomaloszkópos vizsgálatot alkalmazzák, a szakmai- és munkaköri alkalmassági vizsgálatok során ez a jelenleg előírt és elvárt módszertan.

A színlátás vizsgálatánál fontos a megfelelő megvilágítás, a CIE D65 standard ( a Nap felszíni hőmérsékletével megegyező, 6500 K színhőmérsékletű, természetes nappali fény) megvilágítása ajánlott.

### 5.1. Pszeudoizokromatikus tesztek.

A színlátás vizsgálatának a legismertebb, legerjedtebb módszere, mely a színlátás zavarok leggyakoribb, veleszületett formáinak kiszűrésére alkalmas, egyszerűen elvégezhető vizsgálat. A színek közötti különbségtétel képességét ellenőrzik. A szintévesztőknél a színes foltokat nem színárnyalatuk, hanem világosságuk alapján ítélik meg, míg az ép színlátóknál a színárnyalat az elsődleges a világossághoz viszonyítva. Az achromatopsziás betegek is kiszűrhetőek ezzel a vizsgálattal, hiszen a teljes spektrumon képtelenek az árnyalatok megkülönböztetésére.

A legismertebbek az Ishihara-(Japán), Velhagen-(Németország), Rabkin- (Oroszország), Dvorin-(USA), Richmond HRR 2002 4. kiadás- (USA) és Neitz- ( USA) tesztkönyvek.

**5.1.1. Ishihara Tests** 1906-ban elsőként a japán katonáorvos Sinobu Ishihara teszt könyve jelent meg és még most is a legerjedtebb használatú a világon, mert elfogadott, könnyen elérhető és nem túl költséges. A *24 oldalas tesztkönyvvel* enyhe vagy súlyos vörös vagy zöld szintévesztést lehet megállapítani; viszont a Melbourni Egyetem adatai szerint 30-40% arányban értékelhetetlen az eredmény,

így az optometrista az Ishihara Tests 38 oldalas tesztkönyvet használja.<sup>15</sup> Kis gyerekeknek ki fejlesztették a 10. és 8. oldalas változatát is. Az Ishihara teszt eredményeinek értékelése: 3-4 hiba = lehetséges szintévesztés, 5 hiba és felette= szintévesztés.

**5.1.2. A 4. kiadású Richmond HRR 2002 tesztkönyv** a vörös-zöld és kék szintévesztés típusának és súlyosságának vizsgálatára fejlesztették, pontosabb és érzékenyebb mint az Ishihara <sup>teszt 18,27,30,31</sup>; a gyengén látók vizsgálatára kifejezettebb precizitású <sup>44</sup>. A számokon kívül szimbólumokat is tartalmaz, így kisgyerekek vizsgálatára is használható. Két hibával lehetséges szintévesztő a vizsgált személy, míg két hiba felett biztosan az; az első 5 tesztlapban a kífokú-, a következő 3 lapon tévesztő közepes- súlyos- míg az utolsó 2 lapon tévesztő súlyos szintévesztő. A tritan szimbólumok egy vagy több tévesztése tritanomáliát vagy tritanopiát igazol. Diagnosztikai kutatási célú felmérés<sup>45</sup> igazolja, hogy a Nagel anomaloskóppal történő besorolás 96% egyezést mutatott; egyéb felmérés<sup>18</sup> pedig pontosabbnak véli.

**5.1.3. A Medmont C-100 teszt** magas pontosságú és érzékenységgű, két perc alatt elvégezhető. A vörös és zöld szintévesztést elkülönítő és súlyossági csoportba sorolási teszt. A jó színlátó protanomáliás és protanopiás génhibás heterozigota nők is kiszűrhetőek vele <sup>15</sup>. Felmérések alapján, viszont a HRR teszt érzékenyebb eredményeket adott a színes felületek felismeréséhez szükséges szintévesztésről.<sup>31</sup>

**5.1.4. Neitz Test.** Molekuláris genetikai vizsgálatoknál használja megalkotója, illetve munkatársai.

**5.2. Az anomaloszkóp** a legpontosabbnak tartott készülék. Elvét Lord Raylight dolgozta ki és ismert típusa a *Nagel anomaloszkóp*. A vizsgált személynek egy kettéosztott kör alakú látómező felső téréfelére vetített vörös (R) és zöld (G) monokromatikus fényt kell összekeverni, mindaddig, míg a kevert szín a látómező alsó téréfelére veti-

tet „cél színnel”, azaz sárga (Y) monokromatikus fényvel azonosnak tűnik. Ha a látómező felső és alsó felét azonos színűnek és azonosan világosnak látjuk, a mérőműszer kijelzőén R/G és Y intenzitása olvasható le. A normális színlátású személy esetében az érték R/G=45 és Y=15. A keverésben alkalmazott színek mennyiségéből pontosan lehet következtetni a szintévesztés típusára és fokára számszerű mérési eredménnyel; a szintévesztő anomáliás trichromátokat elkülöníti a dichromát anopiásoktól, *de a középsúlyos szintévesztést nem tudja elkülöníteni a súlyostól.*

Nehézséget képez, hogy a műszer pigmentszínét használ nem spektrálisakat, amelyekkel a normálok is áthangolhatók; kezelése és az eredmény kiértékelése komplikált, így a kellő tapasztalattal nem rendelkező vizsgálatot végző személy téves eredményt adhat. Ára igen magas, és kevés szemészeti szakrendelésen érhető el.

Egy modernebb variációt jelent a *Heidelbergi anomaloszkóp*, az *Oculus cég HMC anomaloszkópja*. A *Pickford-Nikolson anomaloszkópot* nemcsak vörös-zöld színekre, hanem kék-sárga defektus vizsgálatára tervezték. A japán *Tomey anomaloszkóp* a vörös+zöld=sárga színkeverés mellett még kék+zöld=türkiz-zöld színkeverést is lehetővé tesz.

**5.3. Színsorba rendező tesztek:** Farnsworth D15 hue-, ennek deszaturált változata a Farnsworth-Lanthony D15 teszt; Farnsworth – Munsell 100 Hue-, Medmont C- 100 teszt.

*Farnsworth D15* tesztet (**15.ábra**) a pszeudoizokromatikus tesztek és anomaloszkopos vizsgálatot követően használják, mert elkülöníthető az *enyhe szintévesztést a középsúlyos-súlyostól*, viszont nem tudja kiszűrni azon kisfokú szintévesztőket akik a vörös fényingerlésre nem reagálnak; így azokban a szakmákban ahol a fényforrás színfelismerése szakmai és munkabiztonsági szempontból fontos ott el kell végezni a Lantern tesztek. Ezzel a teszttel kiszűrhetőek a kékszín felismerési zavarok is.

A szintévesztők 62,5% deuteranomáliás és 12,5% protanomáliás <sup>9</sup> (**14.ábra**), így minden négy szintévesztőből három személy kisfokú szinté-

vesztő, ők a mindennapi életben nem tévesztik a színeket csak színárnyalat megkülönböztető zavaruk van és ezzel a vizsgálattal bizonyítható a kisfokú funkciózavaruk ami nagyon sok színlátást igénylő szakmában nem akadályozza a pontos szakmai munkavégzésben. A világon a leggyakrabban használt és legprecízebb színsorba rakó teszt<sup>30,31,34</sup>, de az elektronika-elektrotechnika területén és a színes felületek felismerését igénylő szakmákban további vizsgálatokat kell kezdeményezni.<sup>15,23,24,25</sup>

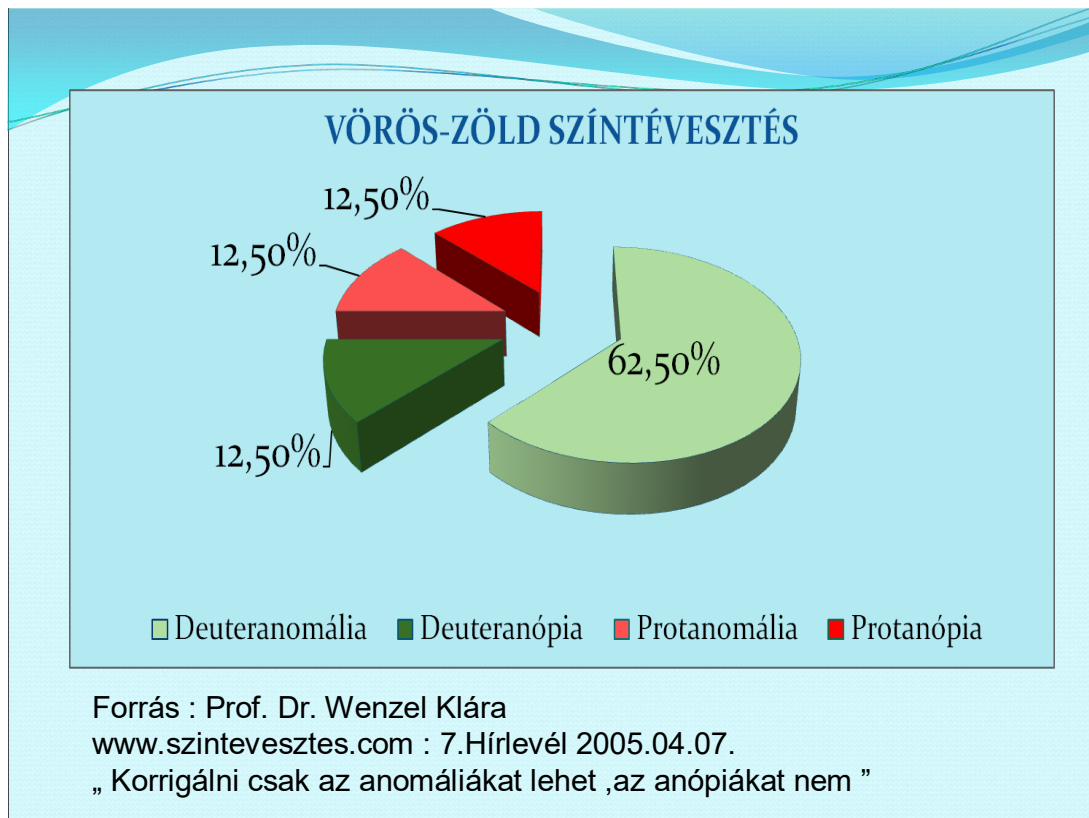
A teszt során 15 különböző színárnyalatú (hue) korongot kell a vizsgált személynek sorba állítani a korongok színének hasonlósága alapján (**15. ábra**). Ajánlott mindkét szemre külön-külön ismételt elvégezni.

A vizsgált személy által felállított sorrendet a teszthez mellékelt kördiagram sablonon kell rögzíteni, az esetleges tévesztések a színlátás-zavarra jellemző tengelyekkel párhuzamos egyenesekként/átlókként ábrázolhatóak. *Normál színlátónak* véleményezhető az az *enyhe szintévesztő* személy aki a kördiagram sorrendjében állítja fel a sorrendet, elfogadható egy hiba; két átlós tengely(Protan, Deutan) valamelyikén történő hiba középsúlyos-súlyos szintévesztést határoz meg. A kék szintévesztők a tritán átlós tengelyén helyezik el a színes korongokat.

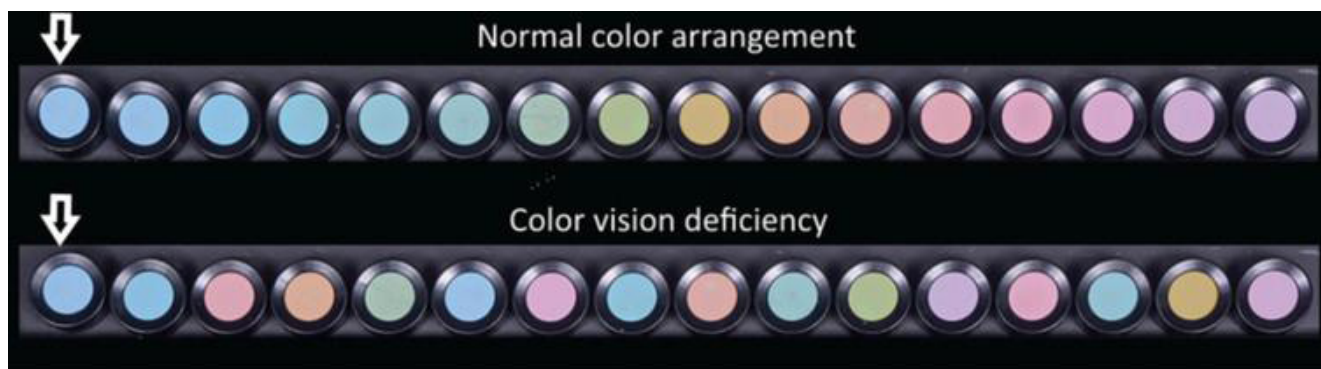
A tesztnek G15 változata monitoron elérhető, természetesen bizonyos képernyő szín- és pontsűrűség beállítása mellett. Aki hibátlanul sorba rakja, feltehetően jó színlátó, a jellegzetes sorba rendezési hibákról meg lehet állapítani hogy szintévesztése milyen típusú: protanomáliás vagy deuteranomáliás, azaz súlyosabb deuteranop vagy protanop szintévesztő<sup>9</sup>.

A teszt deszaturált változatai *Farnsworth-Lanthony D 15 teszt*, a *Farnsworth-Lanthony 100 teszt* vagy a *Farnsworth-Munsell 100 teszt* pontosabbak, még specifikusabb ezen kisfokú szintévesztésen belül a szintévesztők kiszűrésére, még azokat a szintévesztőket is kiszűrik akik felismerik az elektromos vezetékek színét.<sup>15</sup>





14. ábra: A vörös-zöld színtévesztés % előfordulási aránya



15. ábra: Farnsworth D15Hue tesztsor.

Hasonló A *City University* *teszt 3. kiadása* : első részében megállapítja a színtévesztés tényét, majd a második részében meghatározható a színtévesztés típusa és súlyossága. Mindhárom csap működési zavara vagy hiánya értékelhető, valamint elkülöníti az enyhe- és extrém súlyos színtévesztést. Az Egyesült Királyság Optometriai Kollégium ajánlásával a hatósági Health and Safety Executive <sup>14</sup> határozata alapján az előírt optometriai színlátás diagnosztikájában az Ishihara- és a Lantern teszt vizsgálata mellett.

**5.4. Színes fényforrás színfelismerési képességet vizsgáló tesztek** <sup>26,28,29, 33,34,35,36,37,39,41,42,43,47,48, 60,61,62,63</sup> : Holmes-Wright Colour lantern A és B - (UK), Giles-Archer lantern- (UK), Edrige-Green lantern- (UK), Farnsworth lantern = Falant- (USA), Beyne Lantern-(F), PIP- (USA) teszt.

A közúti-, vasúti-, tengeri-, légitársaságok biztonságáért, valamint a fegyveres erők alkalmazottainál a fényforrások helyes színfelismerésére kidolgoztak különböző színes fényforrás színfelismerési képességet vizsgáló teszteket. Ezek a

tesztek ellenőrzött feltételek mellett, különböző megvilágítású sötét kamrában történnek, tesztől függően különböző színű (vörös, zöld, sárga, fehér) és intenzitású, meghatározott idejű fényin-gerlés mellett történik a vizsgálat; nem a szintévesztés típusára és súlyosságának megállapítására lettek kidolgozva, hanem a pontos színmegnevezés képesség felmérésére, aminek alapján történik a munkaköri csoportba való besorolás.

A biztonságért felelős nemzetközi szervezetek rendszeresen felülvizsgálják a hatályban lévő módszertant, és szükségszerűen javasolják a színlátás vizsgálatával kapcsolatos szabályozás módosítását, figyelembe véve a CIE (Nemzetközi Világítástechnikai Bizottság) által a közlekedéssel összefüggésben a színlátás kapcsán meghatározott nemzetközi ajánlások (International Recommendation for Colour Vision Requirements for Transport) alapján (CIE-143-2001 és további változatai, CIE 208: 2014 Effect of stimulus size and color appearance, CIE 2011:2014 Colour Appearance in peripheral vision).

Az irodalomban felsorolt felmérések során tekintést nyerünk különböző országok (UK, USA, CAN, AUS, NL, RUS, CN) színlátás vizsgálati módszertanára.

**5.5. Genetikai kutatások** során a retina funkciójának vizsgálata pszichofizikai- (sötétadaptáció vizsgálata, színlátás vizsgálat a fentiekben említett vizsgálati típusokkal, világosság érzet vizsgálata, elektroretinográfia, Optikai Koherencia Tomográfia) és molekuláris genetikai vizsgálatokkal történik (PCR/RFLP és PCR direkt szekvenálás, kapcsoltsági vizsgálatok, a legújabb technikák: GWAS-genome wide association scan segítségével egyszerre több ezer, akár több százezer genetikai variáns vizsgálható egyszerre nagyszámú egyénben; DNS-mikrochip azaz microarray, Mas-Array array). Több mint ezer szintévesztő genetikai vizsgálata során a géntérkép elváltozása típus és súlyosság szerint tudja osztályozni a szintévesztést, eredményeik megegyeztek az alkalmazott pszichofizikai vizsgálatok eredményeivel.<sup>4</sup>

**5.6. A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Mechatronika, Optika és Műszertechnika (BMGE MOM) Tanszéke**<sup>7,8</sup> több szintévesztés pontos diagnosztizálására alkalmas vizsgálatot dolgozott ki:

- **Relatív világosságérzet vizsgálata:** mérés útján meghatározzák a vizsgált személy relatív világosság érzetét a monitor alapszíneire, és ezek összehasonlításra kerülnek az elméleti úton nyert értékekkel, így megállapítják, hogy a vizsgált személynek mely receptorai működnek.
- **Spektrális világosságérzet vizsgálata:** a retinában működő fotoreceptorok fényelnyelési tartományának meghatározására alkalmas módszer.<sup>10</sup>
- **Anomal Tester** három szín-egyensúly megkeresése alapján működik. A műszerbe három LED van: vörös, zöld és kék. A vizsgált személynek három szín-egyensúlyt kell meghatározni: a vörös és zöldből kikevert sárga színt ami nem narancsos és nem zöldes, a vörösből és kékből kikevert lila nem vöröses és nem kékes, a kékből és zöldből kikevert türkiz nem zöldes vagy kékes. A beállított adatok alapján számítógépi programmal lehet meghatározni a szintévesztés típusát.
- **A Színlátást Vizsgáló Atlasz:** három sorozat képével lehetővé teszi a vörös-zöld szín megkülönböztetési hiba súlyosságának, és a szintévesztés típusának megállapítását is.

Teljes diagnózis állítható fel, és ennek alapján kitudják választani a megfelelő korrekciós szemüveget is. A **COLORLITE szíkkorrekciós szemüveg** először a világon, még 1994-ben kapott nemzetközi szabadalmat a gyártásra, feltalálói a tanszék egyetemi tanárai *Dr. Wenzel Klára* és *Dr. Ábrahám György*.

A szemüveg vörös-zöld szintévesztők részére speciális transzmissziójú színszűrő rétegekkel ellátott lencsékkel készül, a rendellenesség kiküszöbölésére egy speciálisan erre tervezett filtert használnak. A réteget úgy kell megtervezni, hogy a rajta áthaladó fény spektrumát oly módon vál-

toztassa meg, hogy a szintévesztőben az ép színlátóhoz hasonló ingerületen váltson ki: a közepes hullámhosszokon, ahol a rendellenesség fellép, fejtse ki hatását, miközben a hosszú és rövid hullámhosszokon minél kevesebb hatása legyen. Az anomáliás trichromátok részére súlyosságtól függően 100% színfelismerő, szín elkülönítő képességet biztosít, míg a dichromátoknál a színlátás javítása 50-70% vagy akár több is lehetséges<sup>9</sup>.

## 6. Psychofizikai tesztek érzékenységét összehasonlító tudományos felmérések.

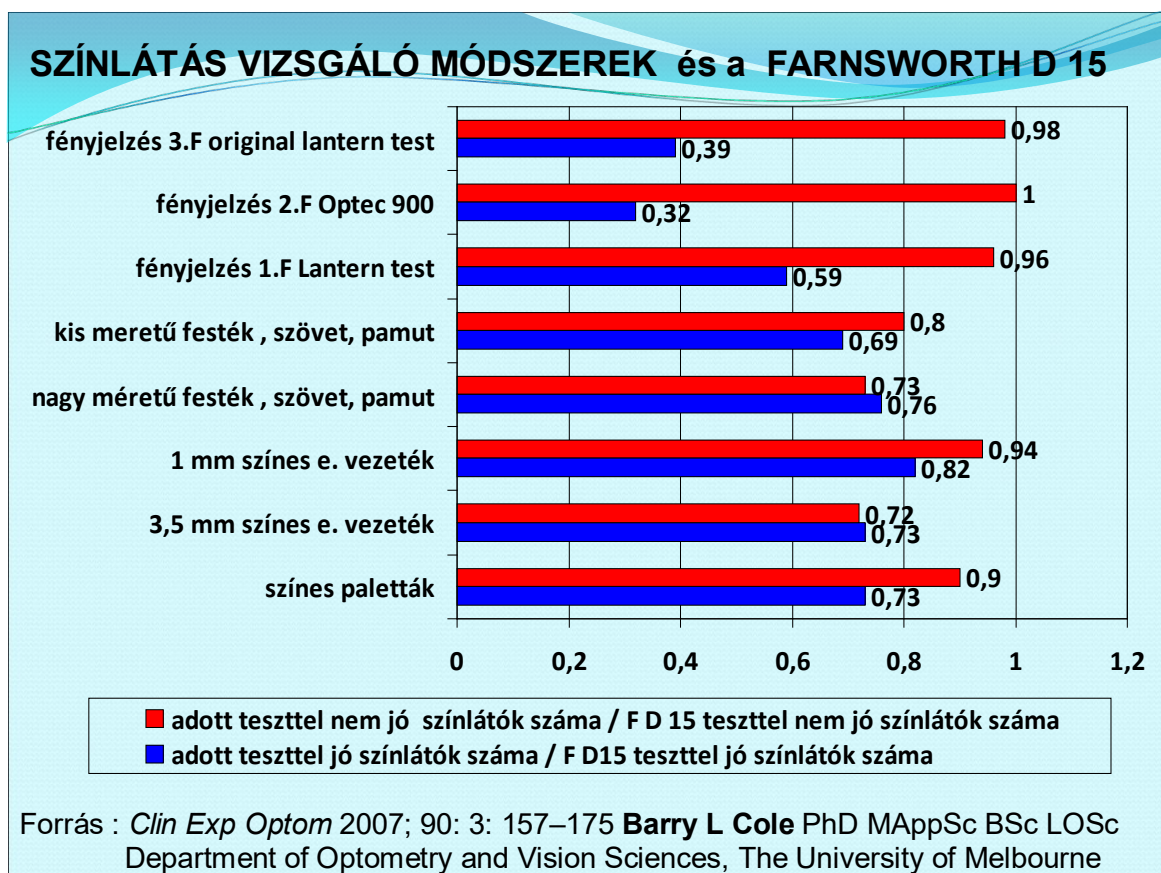
Az áttanulmányozott irodalmi jegyzékben szereplő publikációk alá támasztják véleményem, hogy a szintévesztőket differenciáltan szükséges diagnosztizálni és a színlátást igénylő munkavégzésre az *enyhe szintévesztőket* nem szabad kizárni olyan területekről, ahol színfelismerési-, szín-elkülönítési képességük alapján biztonságosan, szakmai elvárásoknak megfelelően tudnak dolgozni ; természetesen figye-

lembe véve azon biztonságból szabályozott területet ahol a jó színlátás 100%-os alapkövetelmény.

A továbbiakban szeretném bemutatni a legszemléltetőbb összehasonlító tudományos felmérés eredményét (16.ábra)<sup>15</sup>, ami igazolja a Farnsworth D15 teszt magas szintévesztés diagnosztikai érzékenységét.

Azon munkakörökben ahol elegendő mérettől függően a színes felületek felismerése/elkülönítése, vagy a színes vezetékek felismerése / elkülönítése, ott a Farnsworth D15 tesztet tévesztőknél kevesebben tévesztik a többi vizsgálatot, így ők a FD15 vizsgálat alapján indokolatlanul alkalmatlanok.

Mivel ez egy megbízhatósági teszt/ újra teszt, az elfogadható megbízhatósági koeficiens értéke 0,96- 1 %. A három fény színfelismerési teszt közül az OPTEC 900-as a legmegbízhatóbb teszt (a CIE-143-2001 nemzetközi ajánlata is ez) a közlekedési és más fényjelzéssel történő fokozottan veszélyes munkavégzés területén.



16. ábra:Farnsworth D15 színsorba rakó teszt összehasonlító vizsgálata.<sup>15</sup>

## 7. Szakmai Módszertani Útmutatók és nemzeti jogi szabályozás a színlátás vizsgálatához:

A *Southern California College of Optometry*<sup>58</sup> 2005-ös évi megjelent útmutatója szerint a pszeudoizokromatikus tesztek közül színlátás vizsgálatra előnyben részesíti a *Richmond HRR tesztet* (kiemeli a kék szintévesztőt, illetve elkülöníti a vörös-zöld enyhe-középsúlyost a súlyos fokú tévesztéstől) az Ishihara és Dvorin tesztekkel szemben; a *Farnsworth D15-* és ennek fejlettebb deszaturált 15-ös vagy 100-as színSORBA rakó tesztet javasolja az enyhe fokú szintévesztés differenciálására a középsúlyos-súlyos szintévesztők elkülönítésére. A genetikai vizsgálat és az anomaloszcopia nehezen elérhető, és az utóbbi nem tudja annyira differenciáltan rangsorolni súlyosság szerint a szintévesztést, mint a fenti két gyorsan elvégezhető vizsgálat.

Az *Egyesült Királyságban* a munkaegészségügyi szolgáltatók részére készült módszertani útmutató a már említett HSE Guidance Note MS7 (harmadik kiadás)<sup>14</sup>, amely az egészségügy-, munkahigiénés-, kémiai biztonság-, mezőgazdaság-, gépészet- és egyéb/általános munkaterületre vonatkozó színlátást vizsgáló követelményeket határozza meg. *Luxemburgban* a közlekedési szakmára vonatkozó nemzetközi előírások mellett a többi szakmánál szintén a HSE útmutatót alkalmazzák.

*Svájcban* a közúti- és vasúti közlekedésre vonatkozó nemzeti szabályozás, a színlátás vizsgálatára előírja a pszeudoizokromatikus (Ishihara) tesztet, amennyiben szintévesztést állapítanak meg, úgy az anomaloszkopos vizsgálat pontosan meghatározott coeficiens érték függvényében –AQ- döntenek a munkacsoportba sorolással az alkalmasságról. A nemzeti munkaegészségügyi szabályozás a színlátás vizsgálatra előírja a színlátás vizsgálatát PI táblákkal: Ishihara, Velhagen; szükségszerűen a Farnsworth-, anomaloszkopos vizsgálatot is.

*Norvégia.* Színlátás vizsgálatra az Ishihara tesztet használják. Szintévesztőknél további vizsgálatot kezdeményeznek: Hardy-Rand-Ritter (HRR) 4. kiadás, Farnsworth D15, OPTEC 900 Lantern (nem-

zetközi szabályozás alapján ez az előírt lantern teszt), Holmes Wright A, Medmont teszt és CAD. A színlátást igénylő szakmákra vonatkozó nemzeti jogi szabályozás elérhető online: [www.lowdata.no](http://www.lowdata.no). A légi-, vasúti- és hajózási közlekedés szabályozása a CIE 143-2001 előírásai szerint történik.

*Románia.* A színlátást pszeudoizokromatikus táblával, színSORBA rendezési teszttel és anomaloszkopiával vizsgálják.

*Szlovénia.* Szakmai és munkaköri alkalmassági orvosi vizsgálat során a színlátást Ishihara teszttel végzik. A szintévesztő személyt tovább küldik szemészeti szakvizsgálatra ahol a további vizsgálatok a Melbourne Egyetem, Optometriai és Szemészeti Tudományok Tanszékének<sup>15</sup> 2007-es évi útmutatója szerint történik egy komplex színlátás vizsgálat.

*Ausztrália.* Az előbb említett módszertani útmutatón kívül az Australian College of Optometry módszertani útmutatója színlátás vizsgálatra előírja a következő vizsgálati lehetőségeket: Ishihara-, Oscar-, D15 panel-, H 16 panel-, Lanthony deszaturált-, Medmont C100 teszt; Nagel anomaloszkopia, Wright A és B lantern teszt, Fansworth lantern (OPTEC) teszt.

*Magyarország.* A munkaköri és szakmai alkalmasságot véleményező foglalkozás-egészségügyi szakorvosok, iskolaorvosok a színlátás vizsgálatára a legtöbbször az Ishihara tesztet, kevesebben a Velhagen tesztet használják. A szintévesztőket további szemészeti szakvizsgálatra kell irányítani, ahol anomaloszkopos vizsgálatot kell megmérni a szintévesztés súlyosságát és AQ értéke alapján kell meghatározni a trichromát funkció zavart, vagy a dichromát csap hiányt. A munkavégzéshez szükséges megvilágítás a MSZ EN 12464-2:2014 *Fény és világítás. 1. Munkahelyi világítás. 2. rész: Szabadtéri munkahelyek*; MSZ EN 1838 *Alkalmazott világítástechnika.* és MSZ EN 13032-3 *Tartalékvilágítás.* című szabványokban meghatározottak. Ezek az európai szabványok azoknak a belső és külsőtéri téri, emberi munkahelyeknek a világítási követelményeit tartalmazza, amelyek látási komfortot és teljesítőképességet igényelnek, a személyek szokásos szemészeti (vizuális)

képességeit feltételezve. Valamennyi szokásos látási feladatot figyelembe vesznek, beleértve a képernyős megjelenítőket is.

A közlekedési szakmákra nemzetközi egyezmények, előírások érvényesek, melyek a hazai jogszabályokban is érvényesülnek.

## **8. Enyhe szintévesztők színelismerési, szín-elkülönítési képességének vizsgálata.**

A Nemzeti Népegészségügyi Központ Foglalkozás-egészségügyi és Munkahigiénés Főosztály és jogelődjének az Ifjúsági Szakrendelésén 1952. év óta végezzük a tanulók pályaválasztási orvosi tanácsadását, még a középiskola kiválasztását megelőzően a nyolcadik osztály első félévében; továbbá országos hatáskörrel felülvizsgáljuk másodfokon azon tanulók szakmai alkalmasságát akik első fokon a választott szakmára nem alkalmas véleményt kaptak az iskola egészségügyi alapszolgálat által végzett orvosi szakmai alkalmasság vizsgálata során.

A véleményezések során évtizedek óta egyik gyakori orvosi bizonytalansággal társult kérdéskör a szintévesztés, mivel sok szakmában abszolút kizáró tényező vagy egyéni elbírálás az előírt. A színlátás vizsgálatot Ishihara pszeudoizochromatikus teszt könyvvel végzik és további vizsgálat nem történt/nem történik a pontosabb diagnózis felállítása céljából, mert az anomaloszkopos vizsgálati lehetőség kevés szakrendelésen van és nehezen elérhető rövid időn belül. A tanulók gyakran akkor kerülnek hozzánk vizsgálatra, amikor már kiválasztották a szakképző intézményt, illetve már felvételt nyertek nyolcadik osztály utolsó hónapjaiban a választott szakképzésre, és az esetleges alkalmatlanság miatt pályamódosításra már csak pár hónapjuk marad a pótfelvételi időszakában.

A szakrendelésen már korábbról ismert volt, hogy a szintévesztőknél színes vezetékekkel és fényezői színekártyákkal differenciáltan lehetne véleményezni az enyhe szintévesztőket, de mivel a szakmai és jogi előírások erre nem adtak lehetőséget, azért nem kerültek bevezetésre. A színeskorrekciós szemüveg

megalkotása és a BGME MOM tanszék további kutatásainak eredményei előtérbe hozták, hogy meg kell próbálni az enyhe szintévesztők szakma tanulási lehetőségének engedélyezését olyan szakmákra amelyeknél nem abszolút kizáró tényező a legenyhébb szintévesztés sem, és természetesen a jogi szabályozás tilalma alatt sincs.

2006. második felében kezdtük el az új módszer szerint vizsgálni a szintévesztő tanulókat.

### **Vizsgálati módszer.**

1. Ishihara Tests 38. táblás tesztkönyv olvasása, elért eredmény értékelése a teszt könyv útmutatója szerint: enyhe/súlyos deutan vagy enyhe/súlyos protan.
2. Gyakorlati színlátás vizsgálat:
  - 14 színárnyalatú, árnyalatonként 6-6 darab, 1mm-es és 1,5 mm-es elektromos vezeték keverékének (fehér,sárga,narancssárga, világos- és sötét piros, három különböző színárnyalatú zöld, világos és sötét barna, világos és sötét kék, világos lila,fekete) színárnyalat szerinti szét választása. Eredmény értékelése: sikeres vagy sikertelen teljesítés=enyhe vagy súlyos deutan vagy protan szintévesztő.
  - 48 darab különböző színárnyalatú számkódolt autó fényezésnél használt színes paletta (vörös-, zöld-, barna-, kék-, kékeszöld, fehér, sárga, narancssárga) keverékének (10,5cm/8,5cm) alapszínszerinti csoportosítása. Eredmény értékelése: sikeres/sikertelen teljesítés= enyhe/súlyos deutan-, protan szintévesztő.

6 év tapasztalata alapján 2013.év második felétől a vörös-zöld szintévesztők három-három csoportba lettek sorolva: enyhe-, közepes- vagy súlyos deutan vagy protan szintévesztők.

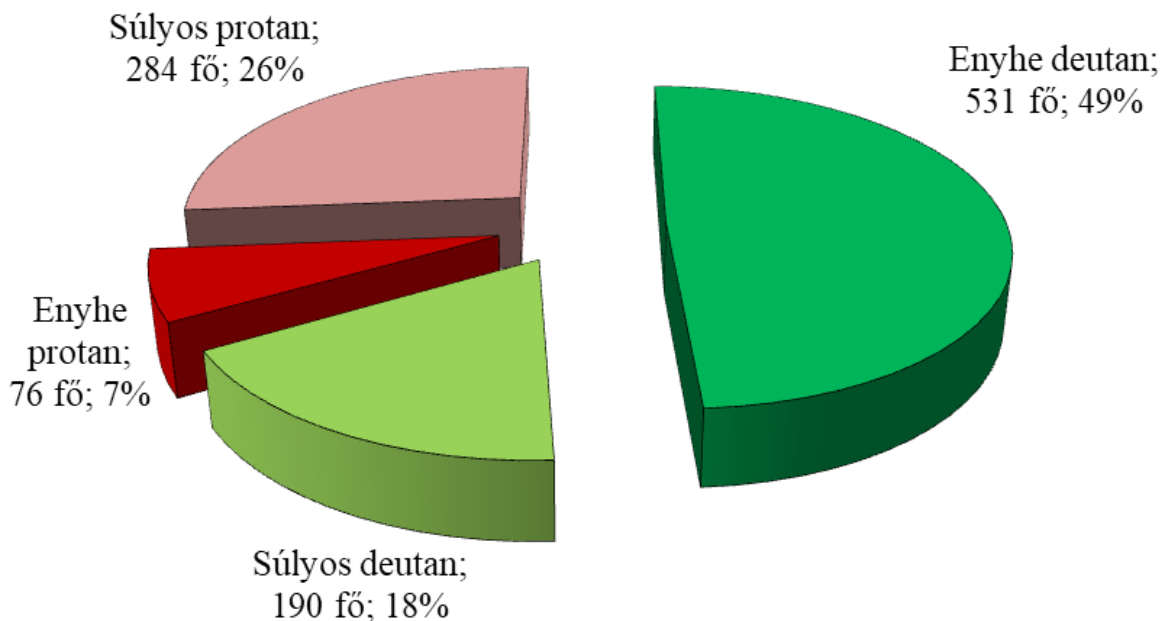
Az *enyhe csoportba* lett sorolva az a szintévesztő tanuló aki az Ishihara tesztkönyv szerint enyhe (mild) csoportba sorolt, tehát hat hiba lehetőségen belül teljesít és a gyakorlati színlátás vizsgálatot

100%-an teljesítette. A *középsúlyos csoportba* sorolt az a szintévesztő aki Ishihara szerint enyhe szintévesztő, de a gyakorlati színlátás egyik vizsgálatot nem teljesítette, illetve ide sorolt az a szintévesztő is aki Ishihara szerint súlyos (strong) szintévesztő, de a gyakorlati színlátási eredménye egyik vagy mindkét vizsgálati módszerben jó. A *súlyos szintévesztők* csoportjába tartozik az a tanuló aki Ishihara szerint súlyos szintévesztő

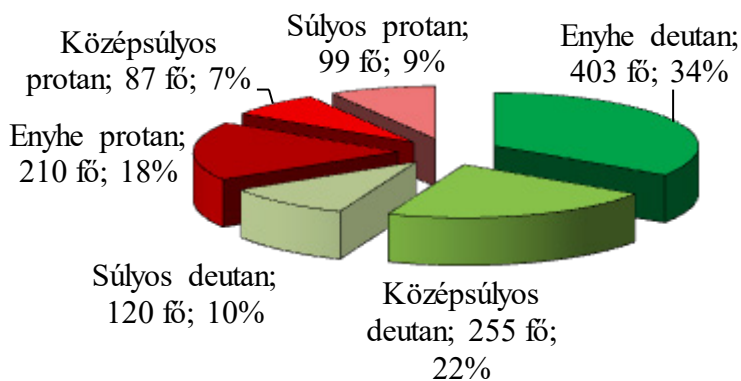
és egyik gyakorlati színlátást vizsgáló tesztünket sem teljesítette.

### Vizsgálati eredmények

2006-2019 évek között **2255 szintévesztő tanuló** vizsgálata történt, ebből 1499 tanulónál (66,47%) zöld- és 756 tanulónál (33,52%) vörös szintévesztés került megállapításra. A szintévesztés súlyossá-



17. ábra: 2006.-2013. évben vizsgált szintévesztő tanulók száma (1087 fő) és típus szerinti %-os megoszlási aránya



18. ábra: 2013.-2019. évek között vizsgált szintévesztő tanulók száma (1174 fő) és a szintévesztés formáinak %-os arányú megoszlása

ga szerint csoportosított rendellenesség formáinak (négy illetve hat csoport) összesített száma és előfordulási aránya a 17. és 18. ábrán látható.

A választott szakmára a tanulók 68%-a (1532 fő) alkalmas véleményt kapott, illetve 32 %-a (723 fő) pályamódosításra kényszerült.

A vizsgálaton megjelent tanulók fele elektrotechnika-elektronika szakmacsoport szakképzéseire jelentkezett és közülük 30%-a (338 fő) súlyos szintévesztése miatt jó színlátást igénylő szakmában nem dolgozhat.

A vizsgálaton megjelent tanulók másik fele (2-5%-os megoszlási arányban) gépészeti-, informatika-, mezőgazdasági, erdészeti, vadászati-, vegyészeti-, egészségügyi-, élelmiszergyártási-, kereskedelmi-, közlekedési szakmacsoport szakmáira-, valamint térképész-, grafikus-, dekoratőr-, lakberendező-, fényező-, festő és fodrász szakképzésre jelentkeztek.

Közülük 385 tanuló kényszerült pályamódosításra.

Két enyhe vörös-zöld szintévesztőnél merült fel a kék szín téves érzékelése, ők további vizsgálatokra lettek irányítva a Műszaki Egyetemre.

85 tanulónál monitoron elérhető COLORIT szín-sorba rakó G15 online tesztet (BGME MOM által fejlesztett) is végeztünk. A vizsgálat eredménye: Normál színlátó 52 fő, Danomaliás 16 fő, Danop 9 fő, Panomál 1 fő, Panop 7 fő. Minden tanuló besorolása egyezett a saját vizsgálati módszerünk szerinti besorolással.

Colorlite színkorrekciós szemüveggel 120 tanulót vizsgáltam, az enyhe-középsúlyosnak általam diagnosztizált tanulóknál a szemüveg korrekciója 100 %-os, míg a súlyos szintévesztőknél csak részlegesen korrigált.

A választott szakmára alkalmas tanulók minden esetben fel lettek világosítva a színlátást javító szemüvegről, elérhetőségéről és arról, hogy érdemes megpróbálni beszerezni, hiszen a világ színesebben látása hangulat javító hatású. Továbbá amennyiben szakmai képzésük során szakoktatóik színfelismeré-

si zavart észlelnének, ami a szakmai munkavégzés minőségét rontaná, vagy lassítaná a bizonytalansággal a munkatempót, úgy számukra kötelezően el kell készíteni a színkorrekciós szemüveget. Amivel még szembesülhetnek a tanulók szakképzést követően az az a tény, hogy a munkaerő-piaci versenyhelyzetben szintévesztésük negatív diszkriminációs helyzetet teremthet egy új munkahelyre jelentkezéskor.

## Összefoglaló

A szintévesztés számos szakmában jelent kizáró tényezőt és a szakmai alkalmasság orvosi véleményezése során jelenleg rendelkezésre álló diagnosztikus eszközök azonban nem elégségesek ahhoz, hogy valódi képet nyújtsanak az egyén színlátási képességeiről.

Szükséges lenne:

- felmérni a szakmák jelenlegi színigényét,
- az Ishihara teszt mellé új nemzetközileg elfogadott tesztek bevezetése ( Farnsworth D 15 szín-sorba rakó teszt, színes felületek felismerése/ elkülönítése, színes vezetékek elkülönítése) és amennyiben lehetséges anomaloszkopos vizsgálati lehetőség biztosítása, ahonnan csak AQ értékkel fogadjuk el a szakvéleményt, hogy megfelelően tudjuk értékelni a mérést,
- a véleményező orvosok más elbírálási szemléletére, hogy a szakmák színigényét ismerve hozzanak tiltásokat,
- időben elvégezni a pályaorientációs vizsgálatot és a szemészeti szakvizsgálatot, még a középiskola kiválasztása előtt, legkésőbb a nyolcadik osztály első félévében.

A Colorlite színkorrekciós szemüveg több mint 25 éves találmánya a világnak, ideje lenne jogilag is elfogadni a hazája munkavilágában, hiszen egy segédeszköz, amire bármikor nem csak veleszületetten rá kényszerülhet bármelyikünk.

## Irodalom

1. Nathans J, Thomas D, Hogness DS. Molecular genetics of human color vision: the genes

- encoding blue, green, and red pigments. *Science*, 1986;232:193-202.
2. Neitz J, Neitz M. The genetics of normal and defective color vision. *Vision Res.* 2011;51: 633-651.
  3. Neitz J, Neitz M. Evolution of the circuitry for conscious color vision in primates. *Eye (Lond)* 2017 Feb;31(2):286-300. Published online 2016 Dec 9 doi: 10.1038/eye.2016.257 PMID: PMC5306459
  4. Davidoff C, Neitz M, Neitz J. Genetic testing as a new standard for clinical diagnosis of color vision deficiencies. *Trans Vis Sci Tech.* 2016;5(5);doi:10.1167/tvst.5.5.2.
  5. Melissa Wagner-Schuman, Jay Neitz, Jungtae Rha, David R. Williams, Maureen Neitz, Joseph Carroll. Color-deficient cone mosaics associated with Xq28 opsin mutation: A stop codon versus gene deletions. *Vision Res.* 2010 Nov 23;50(23):2396-2402.doi:10.1016/j.visres.2010.09.015
  6. Cone photoreceptor mosaic disruption associated with Cys203 mutation in the M-cone opsin. Edited by J. Nathans, 20948-20953 *PNAS*, Dec. 8. 2009, vol. 106, no 49.
  7. Elméleti színtan \_ B M E G E - M I M M 3 1 \_ 2 0 1 3 \_ 0 2 \_ 1 2 . d o c c x . 4 . f e j e z e t - S z í n t a n
  8. Wenzel Klára Dr. habil, Samu Krisztián. Világosság-észlelet Kompenzált színlátás-vizsgáló tesztek megvalósítása számítógéppel vezérelt CRT képernyőn. PhD értekezés, Budapest, 2000-2005.
  9. Prof. Dr. Wenzel Klára. *Hírlevelek*. www.szintevesztes.com
  10. Dr. Varsányi Balázs, doktori értekezés, *SE Klinikai Orvostudományok Doktori Iskola, Budapest 2006*, Velezületett teljes színvakság klinikai és molekuláris genetikai vizsgálata.
  11. Varsányi Balázs. Genetika a szemészetben. *Szemészet Ophthalmologia Hungarica* 151. évfolyam. 2014;4. szám. 151-166.
  12. Ungváry Lilla. *Munkaegészségtan 2010*. 757-758 oldal
  13. Ungváry Lilla. A színtévesztés kérdései a foglalkozás-egészségügyben. www.citymed.hu, www.csf.hu/cikk\_pdf/1013\_200506rv30.pdf
  14. HSE Guidance Note MS7 (Third editin) Color vision examination, a guide for occupational health providers, www.hse.gov.uk/pubns/ms7.pdf
  15. Barry L. Cole. Assessment of inherited colour vision defects in clinical practice *Clinical and Experimental Optometry* 2007;90:3:157-175;
  16. 2010 Australian College of Optometry. Color Vision Assessment. WEB development by Butterfly. Last update 06 december 2019.
  17. Maureen Neitz and Jay Neitz, Department of Ophthalmology, University of Washington, Seattle, Curing Color Blindness-Mice and Non-human Primates; Cold Spring Harb and *Perspect Med* 2014;4:a017418.
  18. Bailey JE, Neitz M, Tait DM, Neitz J. Evaluation of an updated HRR color vision test. *Vis Neurosci.* 2004 May-Jun;21(3):431-6.
  19. LV Prasad Marg, Banjara Hills Hyderabad, India. Importance of color vision. *Vision Rehabilitation Centres Newsletter* 17, Aug 2005.
  20. Richmond Products, USA, Color vision deficiency. Concise Tutorial for Optometry and Ophthalmology, www.
  21. Friedrich T. Faundfelder, Frederick W. Faundfelder, Wiley A. Chambers, Elsevier Health Sciences, 2008, *Clinical Ocular Toxicology E-Book: Drug Induced Ocular Side effect*
  22. Stella Beckman, Ellen A Eisen, Michael N. Bates, Sa Liu; Acquired Color Vision defects and Hexane exposure: A study of San Francisco Bay Area Automotive Mechanics; *Am. J Epidemiol.* 2016;183(11):969-976
  23. Barry L. Cole, PhD, FAAO, Ka-Yee Lian, BOptom, Ken Sharpe, PhD, and Carroll Lakis, PhD, FAAO; Australia; Categorical Color Naming of Surface Color Codes by People with Abnormal Color; *Vision, Optometry and Vision Science*, Vol. 83, No. 12, PP. 879-886, December 2006 American Academy of Optometry
  24. Birch J. Henry Wellcome Laboratories, Applied Vision Research Centre, City University, London, UK Failure of concordance of the Farnsworth D15 test and Nagel anomaloscope matching range in anomalous trichromatism; *PMID: Pub Med-indexed for Medline*
  25. Cole BL. Orenstein JM.; University of Melbourne; Does the Farnsworth D15 test predict the



- ability to name colours? *Clin Exp Optom* 2003 Jul;86(4):221-9.
26. Cole BL, Lian KY, Lakkis C. Color vision assessment: fail rates of two versions of the Farnsworth lantern test. *Aviat Space Environ med*, 2006 Jun;77(6):624-30. PMID:16780241 [*PubMed-indexed for Medline*]
  27. Cole BL, Lian KY, Lakis C.; The new Richmond HRR pseudoisochromatic test for colour vision is better than the Ishihara test.; *ClinExp Optom*, 2006 Mar;89(2):73-80
  28. Cole BL, Lian KY, Lakis C.; Color vision assessment: fail rates of two versions of the Farnsworth lantern test. *Aviat Space Environ Med*. 2006 Jun;77(6):624-30.
  29. Cole BL, Lian KY, Lakis C.; Can color vision defective subjects who pass the Farnsworth lantern test recognize surface color codes?. *Aviat Space Environ Med*. 2007 Jan;78(1):21-5.
  30. Cole BL, Lian KY, Lakis C.; Using Clinical tests of color vision to predict the ability of colour vision deficient patients to name surface colour; *Ophthalmic Physiol Opt*. 2007 Jul;27(4):381-8.
  31. Cole BL, Lian KY, Search for coloured objects in natural surroundings by people with abnormal color vision. *Clin Exp Optom*. 2006 May;89(3):144-9.
  32. Cole BL, Lian KY, Lakis C.; Color Vision assessment by Farnsworth lantern: results using alternative pass-fail criteria.; *Aviat Space Environ Med*. 2008 May;79(5):509-13.
  33. Cole BL, Maddocks JD, Color vision testing by Farnsworth lantern and ability to identify approach-path signal colors. *Aviat Space Environ Med*. 2008 Jun;79(6):585-90.
  34. Siu AW, Yap MK., China, The performance of color deficient individuals on airfield color task. *Aviat Space Environ Med*. 2003 May;74(5):546-50.
  35. Sosnova TL, Quantitative criteria for the evaluation of congenital chromatic vision disorders.; *Gig Sanit*. 2004 May-Jun;(3):40-4, PMID:15197857-  
*Indexed for MEDLINE*
  36. Squire TJ, Rodriguez-Carmona M, Evans AD, Barbur JL., City University London, Color vision tests for aviation: comparison of the anomaloscope and lantern types. *Aviat Space Environ Med*. 2005 May;76(5):421-9.
  37. Nelda J. Milburn, Henry W. Mertens. Office of Aerospace Medicine, Washington, Predictive validity of the aviation lights test for testing pilots with color vision deficiencies. [www.cami.jccbi.gov/aam-400A/index.html](http://www.cami.jccbi.gov/aam-400A/index.html).
  38. Birch J., Pass rates for the Farnsworth D15 colour vision test.; *Ophthalmic Physiol Opt*. 2008 May;28(3):259-64.
  39. Birch J., Performance of colour-deficient people on the Holmes-Wright lantern (type A): consistency of occupational colour vision standard in aviation. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2008 May;28(3):253-8.
  40. Diaconu V., Sullivan D., Bouchard JF, Vucea V. University of Montreal, Discriminating colors through a red filter by protanopes and colour normals. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2010 Jan;30(1):66-75.
  41. Dain SJ, Casolin A, Long J, Hilmi MR, Australia, Color Vision and Railways: Part 1. The railway LED Lantern Test. *Optom Vis Sci*. 2015 Feb;92(2):138-46.
  42. Dain SJ, Casolin A, Long J, Color Vision and Railways: Part 2. Comparison of the CN Lantern used on the Canadian Railways and Railway LED Lantern Test. *Optom Vis Sci*. 2015 Feb;92(2):147-51.
  43. Dain SJ, Casolin A, Long J, Color Vision and Railways: Part 3. Comparison of FaLant, OPTEC 900, and Railway LED Lantern Tests. *Optom Vis Sci*. 2015 Feb;92(2):152-6.
  44. Thiadens AA, Hoyng CB, Polling JR, Bernaerts-Biskop R, van der Born LI, Klaver CC., (NL), Accuracy of four commonly used color vision tests in the identification of cone disorders. *Ophthalmic Epidemiol*. 2013 Apr;20(2):114-21.
  45. Birch J., Clinical use of the American Optical Company (Hardy, Rand and Rittler) pseudoisochromatic plates for red-green colour deficiency. *Ophthalmic Physiol Opt* 1997 May;17(3):248-54.
  46. IET The Institution of Engineering and Technology, Factfiles Colour vision defects, [www.theiet.org/factfiles](http://www.theiet.org/factfiles), 2007.
  47. Meyer, Jean-Jacques, Rey, Paule. Vision and Work. 11. Sensory Systems, *ILO*, 2011, Geneva.
  48. Royal Canadian Mounted Police. Vision standards. [www.rcmp-grc.gc.ca/recruiting-recrutement/rec/health-sante-eng.htm](http://www.rcmp-grc.gc.ca/recruiting-recrutement/rec/health-sante-eng.htm)

49. Maritim and Coastguard Agency.Southampton. Vision standard for seafarer vision test.
50. Will Holmes.University of Manchester. Colour vision testing: what can be achieved in everyday practice? *Optometry in Practice* 2011 Volume 12 issue 4 167-178.
51. www.color-blindness.com by Daniel Colblindor. Color blind essentials. 1-28.
52. www.google.hu/imgres?imgurl=http://pmolnar.nhely.hu/Biofizika\_Biokemia/Latas/Szinlatas.gif&imgrefurl=http://pmolnar.nhely.hu/Biofizika\_Biokemia/Latas/index.htm&docid=t8iiF1kCBklLIM&tbnid=GR80E4B0kUw9NM:&vet=1&w=400&h=353&bih=637&biw=1440&ved=2ahUKEwie4afPkpXnAhXM\_KQKHeOgAa4QxiAoBXoECAEQIw&iact=c&ictx=1
53. International recommendations for colour vision requirements for transport,CIE 143-2001 ISBN: 978 3 901906 09 1 Division 4
54. 54.https://www.google.hu/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjH2KP0kpXnAhUNjqQKHewZBi0QjRx6BAgBEAQ&url=https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/2011\_0001\_524\_Biofizika/ch04s02.html&psig=AOvVaw3SkrjuGcuFnVw6soszrjuo&ust=1579710579327273
55. E.F.Shubert, Light-Emitting Diodes, Cambridge University Press
56. Nathans J, Piantanida,T.P.,Eddy,R.L., T.B.,Hogness, D.S. Molecular genetics of inherited variation in human color vision. *Science* 232:203-210,1986 PubMed:3485310
57. Weitz,C.J.,Wenz,L.N.,Nathans,J.Human tritanopia associated with a third amino acid substitution in the blue-sensitive visual pigment. *Am.J.Hum. Genet.*51:444-446,1992.PubMed:1386496
58. Southern California College of Optometry, Diagnostic Test, www.apps.scco.edu/ceonline/coursewiew
59. Indian Oil. Guidelines and Criteria for physical fitness for pre-employment medical examination. Procedure for medical examination:3.12,3.13. Online publication.
60. DOT/FAA/-09/11. Minimum color Vision Requirements for Professional Flight Crew,Part III: Recommendations for new color vision standards, www.faa.gov/library/reports/medical/oamtechreports.
61. Linda Werfelman. *AVIATIONMEDICINE*. Color deficient? Flight safety foundation/aerosafetywordl/december 2008.
62. CAA.Flying. www.caa.co.uk/medical
63. Jaff Rabin,John Gooch, Douglas Ivan.Rapid Quantification of color Vision: The cone contrast test.Distribution Statement A:approved for public release.311ABG/PA No.10-309, 5 AUG 10.

Dr.Simon Judit  
 Email:simon.judit@nnk.gov.hu  
 Nemzeti Népegészségügyi Központ  
 Munkahigiénés és  
 Foglalkozás-egészségügyi Főosztály