

MH Központi Honvédkórház Szemészeti Osztály
Abt. Neuroophthalmologie, Universität-Augenklinik, Tübingen¹

A színtévesztés korszerűelmélete és diagnosztikája

Dr. Aczél Klára,
Dr. Markó Gábor orvosőrnagy,
Wolfgang Jagla¹,
Tanja Breitsprecher¹,
Dr. Deák György ny. orvosezredes

Kulcsszavak: színlátás, színtévesztés, színdiszkrimináció, fotopigment, genetikai vizsgálat, pszeudoizokromatikus (PIC) teszt, anomaloszkóp, színelrendező teszt

A szerzők áttekintik a színlátás biokémiai és genetikai alapjairól szerzett legújabb kutatási eredményeket, a veleszületett színlátás zavarok felosztását és differenciáldiagnosztikáját. 50 genetikailag azonosított színtévesztő férfi pszichofizikai vizsgálatának eredményeit elemezve értékelik az összefüggést a fotopigmentek spektrális abszorpciós maximumainak különbsége és az egyes teszteknél elért teljesítmény közt. Megállapítják, hogy a fotopigmentek spektrális elkülönülése legszorosabb összefüggést a Farnsworth Panel D-15 színelrendező teszt eredményével, gyengébb korrelációt a számítógépes pszeudoizokromatikus teszt eredményével és az anomaloszkópos beállítási szélességgel mutatott. Eredményeik alapján javasolják a színdiszkrimináció kvantitatív értékelésére legalkalmasabb módszerek bevezetését.

Amint a természetben a trikromatikus színlátás kialakulása hatalmas evolúciós előnyt eredményezett, úgy a társadalom életében ennek hiánya, a színtévesztés, komoly hátrányt jelent a továbbtanulás, hivatás és karrier lehetőségek terén. Egészséges, jó képességű fiatalok ezrei küzdenek azért, hogy e rendellenesség ellenére megfeleljenek az álmodott hivatás alkalmassági vizsgálatok során. Különösen szigorúak e téren a fegyveres testületek előírásai, ezért az egészség-

ügyi alkalmassági vizsgálat során a színlátás korszerű elméletének ismerete, a színtévesztés fokozatainak elkülönítése és kvantitatív értékelésének új módszerei fontos előrelépést jelentenek.

Mindennapi életünkben a szín, mint a nem-nyelvi jelrendszer része, nélkülözhetetlen információforrást jelent: az érett gyümölcs, a friss hús vagy egy bőrkiütés megítélése csak színe alapján lehetséges [2, 3, 5]. A futballmeccs

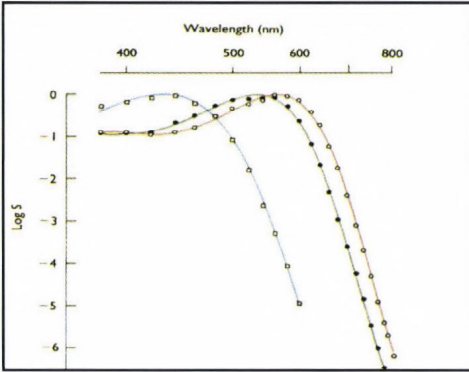
* Dr. Aczél György egyetemi tanár (1929-1984) emlékére, halálának 20. évfordulóján.

is élvezhetetlenné válik, ha a játékosok színes mezét nem tudjuk megkülönböztetni. Évszázadok óta ismert, hogy egyes emberek másképp látják a színeket, kevesebb színárnyalat megkülönböztetésére képesek; *John Dalton* 1794-ben saját magán tett megfigyelései alapján írta le a dikromatikus színlátást. 1875-ben a svédországi Lagerlund közelében történt vasúti szerencsétlenség, ami feltehetőleg a színtévesztő mozdonyvezető hibájából következett be, hívta fel a figyelmet arra, hogy a közlekedésben alkalmazott színes jelek (elsősorban a vörös) nem megfelelő észlelése veszélyforrás lehet [1]. A színlátás zavar és pályaalkalmasság összefüggésének többféle fokozatát különíthetjük el [2]. Szigorú korlátozás érvényesül minden olyan pályán, például a légi, vasúti vízi és közúti közlekedésben, ahol a kiterjedten alkalmazott színes jelek nem megfelelő észlelése mások életét is veszélyezteti. Nem alkalmazhatók színtévesztők olyan szakterületeken, ahol az objektumok szín alapján történő megkülönböztetésének hiánya hibás terméket, anyagi kárt (például elektronikai és vegyipar) vagy akár egészségkárosodást (élelmiszeripar, gyógyszeripar) okozhat. Olyan munkakörök, ahol a szín megkülönböztetést igénylő munka a színtévesztő számára nehezebb, kevésbé eredményes, így karrier hátrányt jelent, színtévesztők számára nem ajánlottak. Nem hagyható figyelmen kívül az a tény, hogy bár sok színtévesztő jó megvilágítás mellett alig téveszt, a színelismeréssel járó feladatot sokszor rossz megvilágítás mellett kell elvégezni, amikor teljesítőképességük lényegesen rossz-

szabb. Másrészt, egyes színtévesztők esetében a jellegzetes tónusok megkülönböztetésének zavara más tónustartományokban a normál színlátóké felülmúló diszkriminációs képességgel jár: ezért alkalmaztak a II. világháborúban deuteranomálokat a légi felderítésben, hiszen számukra a tankok álcázására használt, fonnyadt zöld lomb az élő erdő zöldjétől jobban elkülönül [1].

A színérzékelés biokémiai alapjai

A színlátás a retinában lévő fotoreceptorok közül a csapokhoz kötődik. A csapokban 3-féle fotopigment található, ezek spektrális érzékenységi görbéi jelentős részben átfedik egymást, de jól elkülöníthető abszorpciós maximumaik vannak, *in vivo* a 440, 545 és 558 nm-es hullámhossznál; ennek alapján rövid hullámhosszú, S-, közepes hullámhosszú, M és hosszú hullámhosszú, L-fotopigmentekről beszélünk (1. ábra) [3, 6]. Az S,M és L-fotopigmentet tartalmazó csapok nem azonos számban fordulnak elő; a csap-mozaik vizsgálata során kimutatták, hogy mindössze a csapok 7%-a tartalmaz S-pigmentet, 93% L- és M-pigmentet; ezen belül az L:M arán 1,7:1 [6]. Adott fényingerre tehát a 3-féle csapban a fotopigmentjeik abszorpciós görbéinek megfelelő arányban jön létre foton abszorpció, és az abszorbeált fotonok számával arányos ingerületet továbbít. Az egyes csap mint egyszerű foton számláló tehát színvak; ahhoz, hogy színlátás, tehát hullámhosszon alapuló diszkrimináció létrejöjjön, a 3-féle csap-jel egybevetése szükséges a postreceptorális neurális csatornákon.

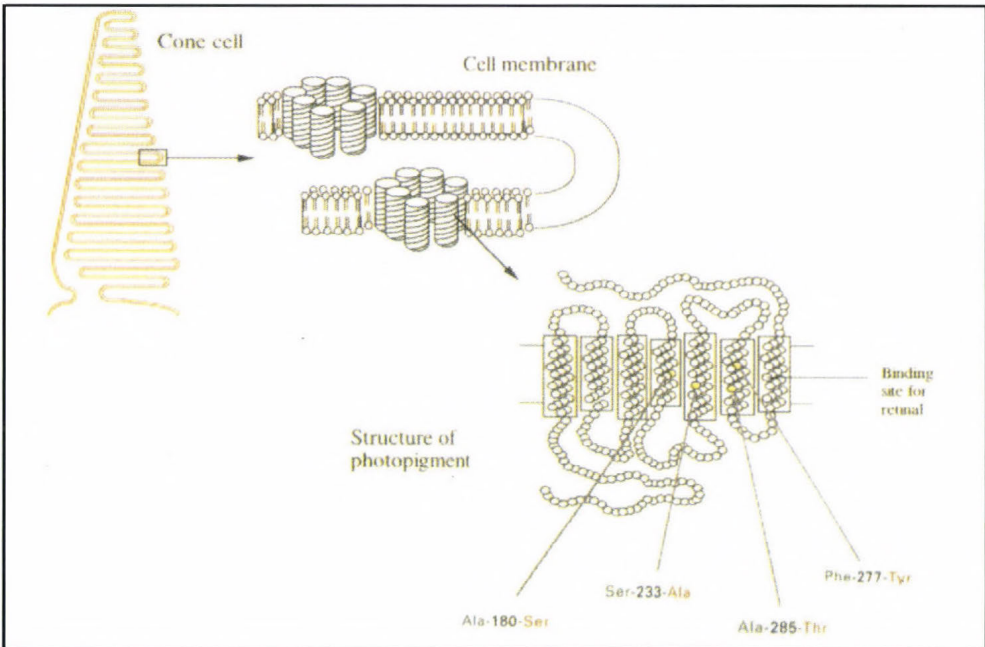


1. ábra: A csap-fotopigmentek abszorpciós görbéi (B.Nunn, J.Schnapf, D.Baylor) [2]

A fotopigmentek (a pálcikák rodopszinja és a csap-pigmentek) a pálcikák és csapok kültagjában, membrán szerkezetbe ágyazva találhatóak (2. ábra) [3]. Alapszerkezete mindegyiknek azonos: fehérjérszből (opsin) és ahhoz kötődő kromofórból épülnek fel. A kromofór valamennyi fotopigment-

ben a 11-cis-retinal, a 360 aminosavból álló fehérjérsz alapszerkezete is azonos: 7 membrán-közi ívet alkot, amelyen belül a kromofór kötési helye a 7-es íven található.

A 90-es években Merbs és Nathans, Asenjo valamint Stockmann és Sharpe tisztázták a fotopigmentek fehérjérszének teljes aminosav sorrendjét és az ezeket meghatározó gének bázisszekvenciáját (6). A fehérjérszt felépítő aminosavak jelentős része spektrális szempontból indifferens; az L és M pigment opsin része mindössze 15 aminosavban különbözik, ezek közül mindössze 7 olyan, ami a fotopigment spektrális érzékenységi maximumának jelentős eltolódását eredményezi. Azok az aminosav szubsztitúciók, amelyek megváltoztatják a poláris oldalláncok számát és helyzetét a retinal-kötő hely



2. ábra: A fotopigmentek biokémiai szerkezete (J.Mollon) (2)

közelenben, spektrálisan áthangolhatják a 11-cis-retinal abszorpciós maximumát. Legjelentősebb ezek közül a 277-es és a 285-ös pozíció, amelynek eltérése 16 illetve 24 nm eltolódást eredményez, ezáltal ezek határozzák meg a fotopigment M vagy L jellegét. Jelentős még a 180-as, ami 3-7 nm eltolódást okoz, további négy (116, 230, 233 és 309) mindössze 1-4 nm-t [5, 6]. Az egyes aminosavak eltérései sokféle fotopigment variációra adnak lehetőséget, ezek M- és L-altípusra oszlanak: az M-pigmentek abszorpciós maximumai 530 nm körül, az L-pigmentekéi 560 nm körül halmozódnak, azonban az M-csoportba tartozó leghosszabb és az L-csoportba tartozó legrövidebb hullámhosszúságú abszorpciós maximum között az eltérés mindössze 10 nm. Az egyes pigmentpárok abszorpciós maximumainak eltérése tehát viszonylag széles skálán változik, és ennek a szín diszkriminációs képesség meghatározásában döntő jelentősége van [5].

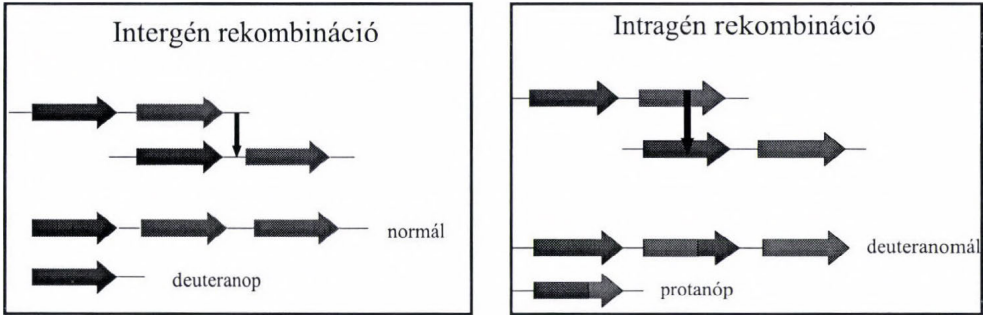
A trikromatikus színlátás evolúciója

A három alapszínen alapuló (trikromatikus) színlátás, bár ősbibb formában egyes alacsonyabb rendű állatfajokban megfigyelhető, a törzsfejlődés során csak a főemlősöknél jelenik meg. A fotopigmentek protein részében az aminosav egyezések aránya nagymértékben különböző, ebből következtethetünk evolúciós elkülönülésük idejére. Míg a rodopszin és az S-pigment között 42%, az S-pigment és az L-pigment között 43%, az S-pigment és az M-pigment között 44%, addig az L- és az M-pig-

ment között 96% az aminosav egyezések aránya, tehát a vörös-zöld diszkrimináció az evolúció jóval későbbi szakaszán alakult ki [3, 6]. Az X-kromoszómán található legősibb, primordialis opsin gén egy, a mai M- és L-pigment közti, a napfény spektrális megoszlásának megfelelő (555 nm körül) abszorpciós maximummal rendelkező fotopigmentet határozott meg. Kb. 500 millió évvel ezelőttre tehető az S-érzékeny csapok kialakulása. Ez a hideg (kékes) és meleg (vörös) színek elkülönítése révén a zöld növényzeten belüli jobb tájékozódást biztosítja. Kialakul a kéksárga neurális csatorna, ami a kétféle csap-ingerület összehasonlítását teszi lehetővé. A primordialis M-gén kettéválása, az M- és L gén elkülönülése a törzsfejlődés során a főemlősöknél következett be: a vörös-zöld tartományban finom tónus-diszkriminációt tesz lehetővé, ami az érett és éretlen gyümölcs, illetve különböző minőségű levelek megkülönböztetése révén a táplálékszerzésben volt nagy jelentőségű.

A színtévesztés genetikai alapjai

Régóta ismert, hogy a vörös-zöld színtévesztés nemhez kötött, receszszív öröklésmentet mutat, a jóval ritkább tritanopia viszont autoszomális domináns öröklődésű. A csappigmentek közül az S-pigment gén nem mutat változékonyságot, gyakorlatilag állandó. Az X-kromoszómán egymás mellett elhelyezkedő, filogenetikailag jóval később elkülönült L- és M-gén azonban nagyfokú változékonyságot mutat, ez az oka a valeszületett vörös-zöld színtévesztések



3. ábra: Az X-kromoszómán elhelyezkedő L- és M-pigment gének rekombinációs lehetőségei

gyakori előfordulásának és változatlanságának. Az L- és M-gén 6 exonja közül 4 tartalmaz olyan kodonokat, amelyek a spektrális eltolódás szempontjából jelentős aminosavakat kódolják. Ezek közül is a legjelentősebb az 5-ös exon, ahol a 277-es és 285-ös aminosav kódja található. Az L- és M-gének nagyfokú polimorfizmusa a gyakori rekombináció következménye. A homológ szerkezet folytán a meiosis során nem egymásnak megfelelő génrészek kerülnek egymás mellé és crossing over jön létre (3. ábra) [5, 6].

Az intergén rekombináció következménye egyrészt génredukció, dikromázia, illetve a gének többszöröződése, aminek nincs hatása a fenotípusra.

Az intragén rekombináció következtében változatos hibrid gének alakulnak ki, melyek, aszerint, hogy az 5-ös exon az L- vagy M-meg-

határozó kodonokat tartalmazza, fog inkább az L- vagy inkább az M-csoportba tartozó fotopigmenteket meghatározni. Az így képződő fotopigmentek spektrális abszorpció maximuma különböző mértékben eltolódik, így a színlátás zavarok változatos formái jöhetnek létre. A hibrid gének normál színlátók közt is nagy számban fordulnak elő, és a szintévesztők nagy gyakorisága miatt ismételt rekombinációk és többszörös hibrid gének is előfordulnak, ami igen nagyfokú polimorfizmust eredményez a genotípus és a fenotípus vonatkozásában is.

A szintévesztés differenciáldiagnosztikája

A veleszületett színlátás zavarokat feloszthatjuk egyrészt annak alapján, melyik alapszín iránti érzékenység érintett, illetve ennek súlyossága szerint (I. táblázat) [1, 2].

Defektus típusa:	Protan	Deutan	Tritan
Dikromázia	Protanopia	Deuteranopia	Tritanopia
Extrém anomális trikromázia	Extrém protanomália	Extrém deuteranomália	
Anomális trikromázia	Protanomália	Deuteranomália	

I. táblázat: A veleszületett színlátás zavarok felosztása

A 7-es kromoszómán elhelyezkedő S-pigment mutációja igen ritka, ennek megfelelően a tritanopia előfordulása mindössze 1/10 000, anomális változata, a tritanómália előfordulása vitatott. Az L- és M-gén nagyfokú polimorfizmusa folytán a vörös-zöld defektus gyakorisága 4-5% (a férfiak 8, a nők 0,4%-át érinti) [1, 2]. A mindennapi gyakorlatban szintévesztőn tehát általában a vörös-zöld tévesztőket értjük, a szűrővizsgálatok többsége is a vörös-zöld tévesztés, tehát a protan vagy deutan defektus kimutatására irányul.

Dichromáziáról beszélünk, ha az egyik alapszín iránti érzékenység teljes mértékben hiányzik. Ilyenkor az S-pigmentet kódoló gén mellett protanopia esetén csak egy M-gén, deutanopia esetén csak egy L-gén található (monogén állapot); amennyiben 2. gén is van jelen, az vagy mutáció folytán inaktív, vagy spektrálisan az elsőtől nem különül el [5]. Az anomális trichromátok esetében mindhárom alapszín iránti érzékenység kimutatható, de az egyik jelentősen csökkent mértékben, az anomális trichromázia extrém formái pedig átmenetet képeznek a dichromázia irányában. Anomális trikromázia esetén az X-kromoszómán legalább két pigment-gén található: így protanomáloknál két M-csoportba tartozó pigment, deutanomáloknál két L-csoportba tartozó pigment van jelen (kettőnél több gén esetén azonban csak az első kettő manifestálódik). Az azonos csoportba tartozó két pigment között különböző mértékű spektrális eltolódás van, így az anomálok szín-megkülönböztető

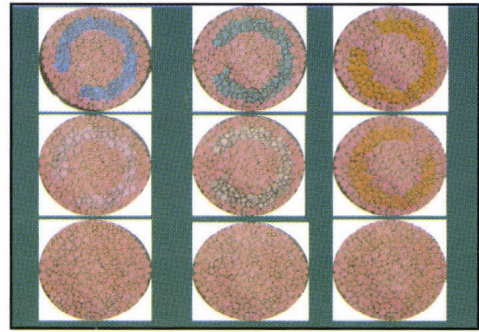
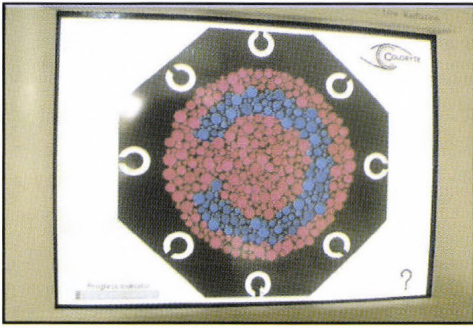
képessége igen változó lehet, de a dikromátokénál mindenképpen jobb.

A színlátás zavarok diagnosztikájának módszereit három fő csoportba oszthatjuk:

1. Pszeudoizokromatikus (PIC) táblák
2. Színkeveréses módszerek (anomalouszókópok)
3. Színelrendező, szintest felépítő tesztek

A mindennapi gyakorlatban jól ismert pszeudoizokromatikus tesztek lényege, hogy a színes pöttyök között elrejtett jel (szám, betű vagy egyéb jel) megkülönböztetése csak szín-kontraszt alapján lehetséges. Az ábrák tervezésekor a háttér és a jel színeit az egyes szintévesztők ún. konfúziós főtengelyének megfelelően választják ki, ezért számukra az adott jel nem látható. Magyarországon leginkább az *Ishihara*- és a *Velhagen*-féle teszt-sorozatot használjuk, de világszerte számos változat létezik. Az utóbbi évtizedben az egyre jobb minőségű és megbízható színvisszaadású monitorok megjelenésével a pszeudoizokromatikus tesztek számítógépes változatai is megjelentek. Ez a módszer a szűrésen túlmenően már a színdiszkrimináció kvantitatív vizsgálatára is alkalmas: a színes háttérben egyre kisebb színekontraszt alapján kirajzolódó jel az érzékelt legkisebb különbséget, tehát a küszöb-érzékenységet határozza meg az egyes tengelyek (protan, deutan és tritan) mentén (4. ábra).

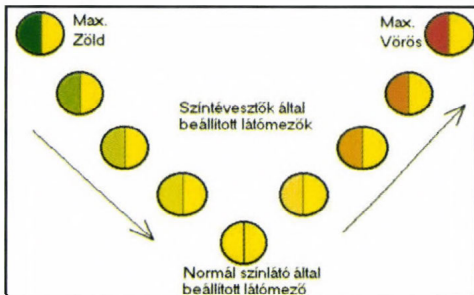
A színlátás zavar típusának differenciáldiagnosztikájában az anomalousz-



4. ábra: Számítógépes pseudoizokromatikus teszt képernyője és jelsorozatai a protan, deutan és tritan tengelyben

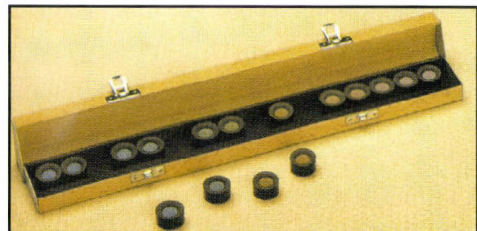
kópok játsszák a döntő szerepet. A gyakorlatban legismertebb Nagel-anomaloszkóp a vörös-zöld tévesztés típusának (protan vagy deutan) és súlyosságának (dikromázia vagy anomális trikromázia) elkülönítésére alkalmas, így minden, a pseudoizokromatikus teszttel kiszűrt szín-tévesztőnél elvégezzük, ha az alkalmasságot a defektus súlyossága is befolyásolja. Lényege, hogy a látómező egyik felében különböző arányú vörös-zöld színkeverék, a másik mezőben különböző világosságú sárga között kell a vizsgált egyénnek egyenletet (tehát ami számára azonos érzetet jelent) találnia (5. ábra). Normál trikromát számára ez egyetlen pont, a

dikromátok ellenben valamennyi vörös-zöld keverékhez találnak egyenletet, de ehhez különböző világosságú sárgát használhatnak. Az anomális trikromátok egyrészt a normáltól valamilyen irányban eltolódott egyenletet találnak, másrészt ennek tartománya is többnyire kiszélesedett. Az eltolódás mértékét fejezi ki az ún. anomál kvóciens (AQ), melynek 0,7-1,3 közötti értéke normál trikromátot, 0,7 alatt protanomáliát, 1,3 felett deuteranomáliát jelent. A beállítási szélesség, tehát az a tartomány, amelyen belül az illető a vörös-zöld keveréket a sárgával egyenlőnek látja, a színdiszkrimináció mértékét jelzi.

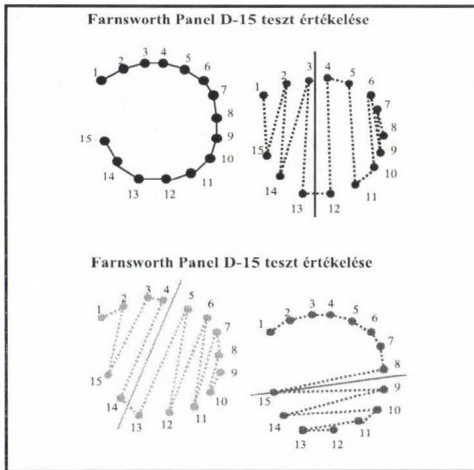


5. ábra: Normál színlátók és színtévesztők beállításai a Nagel-anomaloszkópon

A színrendező (színtest felépítő) tesztek a nemzetközi standardok alapján pontosan definiált színmin-



6. ábra: Farnsworth Panel D-15 teszt



7. ábra: A Farnsworth Panel D-15 teszt eredményének grafikus ábrázolása normál, protan, deutan és tritan színlátás zavar esetén

tákból álló különböző sorozatok, ahol a feladat általában a mintakorongok szín szerinti sorba vagy párba rendezése. A hibás elrendezés a színdiszkrimináció csökkenésének a következménye, és miután az egyes minták matematikailag definiált pontot jelentenek a színdiagramban, az eredmények feldolgozása matematikai módszerekkel lehetséges és kvantitatív értékelést tesz lehetővé. A legrégibbi színrendező teszt a Holmgren-féle pamutpróba; ma a legismertebb ilyen tesztek a *Farnsworth-Munsell* 100-hue teszt, a Farnsworth Panel D-15 (6. ábra) és Desaturated D-15 teszt, és a *Lanthony New Color Test*. Ezeket a módszereket leginkább a szerzett színlátás zavarok kimutatására használjuk a klinikai gyakorlatban, de veleszületett színtévesztők esetében is jobban értékelhető így a diszkriminációs képesség, mint az anomaloszkópos vizsgálat alapján.

Vizsgálati módszer

A MH Központi Honvédkórház Szemészeti Osztályán 2001-ben, egy klinikai vizsgálatban részt vett 50 színtévesztő férfitől, előzetes tájékoztatás és bejegyző nyilatkozat aláírása után vérvétel történt genetikai vizsgálat céljából. A DNS analízist a Tübingeni Neuro-Ophthalmológiai Klinikán végezték. Kompetitív PCR (polymerase chain reaction) -amplifikáció és SSCP (single strand conformation polymorphism) analízis módszerével meghatározták az X-kromoszómán elhelyezkedő L- és M-photopigment gének számát és arányát, majd meghatározták az első helyen álló, valamint az azt követő gén(ek) jellegét és szerkezetét (L, M, L/M vagy M/L hibrid) [4]. A fotopigmentek spektrális elkülönülését a normál és hibrid pigmentek korábbi *in vivo* és *in vitro* meghatározott spektrális abszorpciós maximumai [6] alapján számítottuk ki. Minden páciensnél részletes szemészeti vizsgálat történt, a színtévesztésen kívül minden egyéb, a színlátást befolyásoló elváltozás kizárása céljából. A színlátás vizsgálata során Nagel-anomaloszkóp segítségével meghatároztuk a színlátás zavar típusát, anomális trikromázia esetén az AQ-t és a beállítási szélességet is, elvégeztettük a *Farnsworth Panel D-15* színrendező tesztet, és a *Coloryte* által kifejlesztett számítógépes pseudoisokromatikus (CPIC) tesztet. A *Farnsworth Panel D-15* teszt eredményét (7. ábra) vektoranalízis segítségével értékeltük [7], amellyel három érték határozható meg: az eltérés szöge (protan, deutan vagy tritan), a polaritás erőssége (S-

Anomaloszkópos dg	Esetszám	Genotípus alapján számított elkülönülés (nm)	
		Minimum – maximum	átlag
Protanop	5	0 - 0,7	0,15
Extrém protanomál	5	0,7 - 7,6	1,94
Protanomál	12	0,7 - 7,6	5,66
Deuteranop	2	0	0
Extrém deuteranomá	8	0 - 9,1	4,5
Deuteranomál	15	7,3 - 15,5	10,95

II. táblázat: Az anomaloszkópos diagnózis és a genetikai vizsgálat alapján számított fotopigmentek spektrális elkülönülése beteganyagunkban

index) és a zavar súlyossága (C-index). A CPIC teszt eredményét, a normál színlátók eredményéhez viszonyítva, százalékban fejeztük ki.

Eredmények

Az 50 vizsgált férfi átlag életkora 31,4 (19-58) év volt, esetleges fénytörési hibán kívül egyéb szemészeti elváltozás, a színérzékelést befolyásoló általános betegség vagy gyógyszer-szedés nem fordult elő.

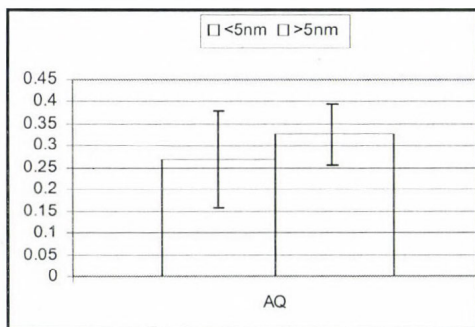
Az anomaloszkópos vizsgálat alapján kapott diagnózisok megoszlását mutatja a II. táblázat. Látható, hogy a dikromázia nem minden esetben jelentett monogén állapotot: fenotípusosan dikromáziát eredményez, ha a két gén által meghatározott fotopigment abszorpciós maximuma gyakorlatilag egybeesik (az elkülönülés kisebb, mint 1 nm). Az anomális trikromátoknál az elkülönülés az esetek többségében 5 nm felett volt. Az extrém anomálok csoportjának a genotípus megoszlása meglehetősen heterogén volt: 3 extrém deuteranomál és egy extrém protanomál genotípusosan dikromát volt (3 monogén, 1 esetben az elkülönülés 1 nm alatt), a többi extrém anomál az

anomális trikromátoknak megfelelő genotípust mutatta.

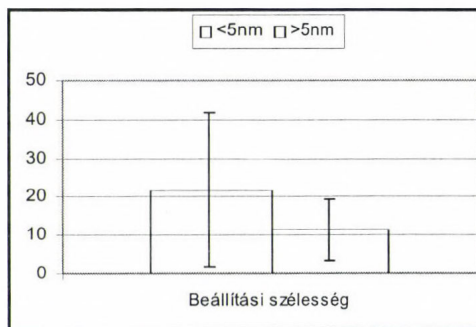
Megvizsgáltuk anomális trikromátok esetében az AQ, a beállítási szélesség és a fotopigment abszorpciós maximumok hullámhossz-különbségének összefüggését. Az AQ értéke sem protanomálok, sem deuteranomálok esetén nem mutatott szignifikáns összefüggést, azonban a beállítási szélesség a hullámhossz-különbséggel fordított korrelációt mutatott, különösen deuteranomálok esetén (8. ábra). A deuteranomálok között 5 nm alatti, protanomálok között 10 nm feletti hullámhossz-különbség nem fordult elő.

A számítógépes pszeudoizokromatikus teszt eredményeit egybevetve a genetikai adatokkal, azt találtuk, hogy azoknak a pácienseknek a teljesítménye, akiknél a fotopigment abszorpciós maximumok elkülönülése nagyobb, mint 10 nm, szignifikánsan jobb volt (63% versus 33%), mint akiknél ez az érték 10 nm alatt van (9. ábra).

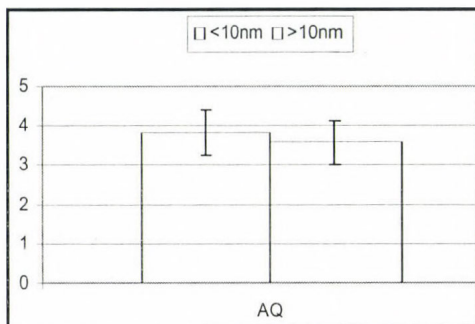
A Farnsworth Panel D-15 teszt eredményeket értékelve, a diszkriminációs zavar súlyosságát kifejező C-in-



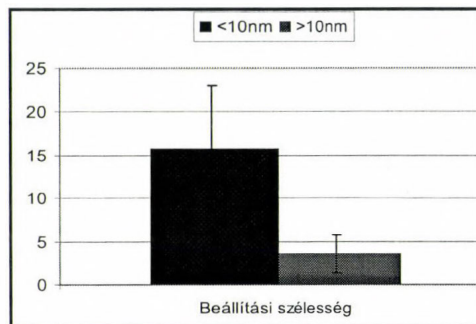
8/a. ábra



8/b. ábra



8/c. ábra



8/d. ábra

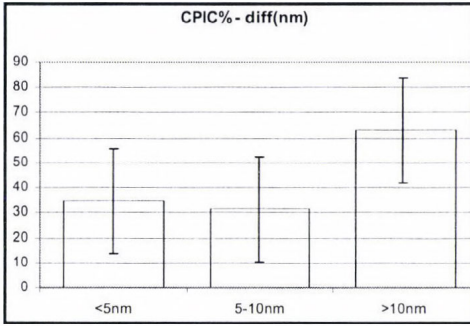
8. ábra: Az anomál quotiens (AQ) (8/a,c) és az anomaloszkópos beállítási szélesség (8/b,d) megoszlása a fotopigmentek spektrális elkülönülése alapján protanomálok (8/a,b) és deuteranomálok (8/c,d) között

dex szignifikánsan különbözött az abszorpciós maximumok különbsége alapján elkülönített 3 csoportban (10. ábra); azoknál az anomális trikromátoknál, akiknél ez a különbség 10 nm felett volt, a C-index minden esetben 1 volt, ami azt jelenti, hogy hibátlanul végezték el a sorba rendezést.

Megbeszélés

A veleszületett színlátás zavarok diagnosztikájában a genetikai vizsgálat ma még nem tekinthető rutin eljárásnak, és nem helyettesítheti a pszichofizikai módszereket. Az elvégzett vizsgálat sorozat jelentőségét az adja, hogy a genetikai elemzés során

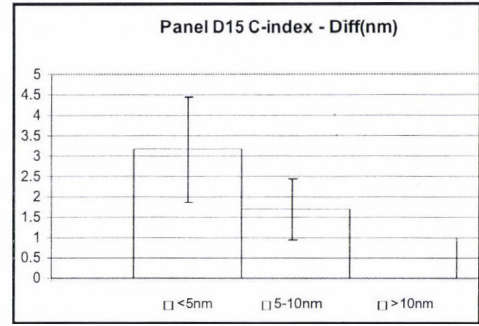
nyert objektív adatot, a fotopigmentek spektrális abszorpciós maximumainak elkülönülését összehasonlíthattuk a különböző pszichofizikai tesztek eredményeivel, és ezzel képet kaphattunk ezeknek a teszteknek az értékéről a színlátás zavar súlyosságának megítélésében. Az anomaloszkópos vizsgálat során a dikromátok és az anomális trikromátok elkülönítése a genetikai vizsgálat eredménye alapján megalapozottnak bizonyult, az anomál kvóciens (AQ) értéke azonban nem tükrözi a defektus súlyosságát. A hullámhossz alapján történő diszkriminációs képesség szoros összefüggést mutat a fotopig-



9. ábra: A computer pszeudoizokromatikus (CPIC) teszt eredményeinek megoszlása (normál színlátók eredményének %-ban kifejezve) a fotopigmentek spektrális elkülönülése alapján alkotott csoportokban

mentek spektrális abszorpciós maximumainak különbségével, ezt a végzett vizsgálatok közül legjobban a Farnsworth Panel D-15 teszt eredménye, valamint az anomaloszkópos beállítási szélesség és a computer pszeudoizokromatikus (CPIC) teszt során mérhető küszöbérzékenység mutatta. Azok az anomális trikromátok, akiknél a fotopigmentek spektrális elkülönülése 10 nm felett volt, ezen tesztekben a normál színlátókat megközelítő teljesítményt nyújtottak.

Eredményeinket **összefoglalva**, az alkalmassági vizsgálatok során az anomaloszkópos vizsgálatnak első-sorban a dikromátok és az anomális trikromátok differenciáldiagnosztikájában van jelentősége; az anomál quotiens számítása helyett az anomália súlyosságának megítélésében egy színrendező teszt vagy számítógépes PIC teszt alkalmazható, melynek normál színlátók értékét elérő eredménye esetén az alkalmassági korlátozások enyhítése megfontolást érdemel.



10. ábra: A Farnsworth Panel D-15 teszt C-index megoszlása a fotopigmentek spektrális elkülönülése alapján alkotott csoportokban

IRODALOM

- [1] Aczél Gy.: A szintévesztés elmélete és gyakorlata. Kandidátusi értekezés, 1963.
- [2] Birch, J.: Diagnosis of Defective Colour Vision. Butterworth-Heinemann, Oxford, 1998.
- [3] Colour: Art and Science ed. Lamb, T., Bourriau, J.: Cambridge University Press, Cambridge, 1995.
- [4] Jagla, W., Breitsprecher, T., Jeagle, H., Kucsera, I., Kovács, G., Wissinger, B., Deeb, S., Sharpe, L. T.: Hybrid Pigment Genes, Dichromacy and Anomalous Trichromacy. In: Proceedings of the Thomas Young Symposium of the International Color Vision Defects. Society, Cambridge, 2001 megjelenés alatt.

- [5] Neitz, M., Neitz, J.: Molecular Genetics of Color Vision and Color Vision Defects. Arch. Ophthalmol Vol. 2000, 118: 691-700.
- [6] Sharpe, L.T., Gegenföhler, N.: Color Vision from Genes to Perception. Cambridge University Press, Cambridge 1999.
- [7] Vingrys, A.J., King-Smith, P.E.: A Quantitative Scoring Technique For Panel Tests of Color Vision. Invest. Ophthalmol and Vis. Sci, 1988, Vol 29: 50-63.

**Klára Aczél M.D.,
Maj. G. Markó M.D.M.C.,
W. Jagla M.D.,
Tanja Breitsprecher,
Col. (ret.) Gy. Deák M.D.**

Advanced theory and diagnostic methods of color vision deficiency

Authors present the latest results of biochemical and genetical research in the field of color vision, classification and differential diagnostic methods of

color vision deficiencies. Evaluating the psychophysical test results of 50 color deficient males with identified genetical basis, correlation between the separation of the maximal spectral absorption of their photopigments and the score of several tests was compared. The photopigment spectral separation showed the most close correlation with the result of the *Farnsworth* Panel D-15 arrangement test, less significant correlation was found with the result of the computer pseudoisochromatic (CPIC) test and with the width of the anomaloscope matching range. Considering these results, authors suggest to introduce the most appropriate diagnostic methods for evaluation of color discrimination.

*Dr. Aczél Klára
1553 Budapest, Pf. 1.*