

RELATÍV VILÁGOSSÁGÉRZET MÉRÉS A SZÍNLÁTÁS VIZSGÁLATBAN

Wenzel Klára * - Samu Krisztián **

Abstract

A relatív világosság érzéklet-mérést CRT monitorok R, G és B alapszíneinek egymáshoz viszonyított heterokromatikus világosságérzéklet egyeztetése alapján dolgoztuk ki.

A relatív világosság érzéklet egyénenként más és más [10]. Kimutatható az idősebb mérő személyeknél a relatív érzékenység csökkenése a monitor kék alapszínére, míg szintévesztőknél a monitor vörös vagy zöld alapszínére.

Kísérletképpen megpróbáltuk a módszert súlyos retina-betegségek felismerésére alkalmazni. A súlyos retina betegségek esetén az L, M és S csapok közül egy vagy több csaptípus működésképtelen; legsúlyosabb esetben pedig csak a pálcikák működnek. Ezek a betegségek a látásélesség drasztikus csökkenésével és erős fényérzékenységgel járnak együtt, ezért az ismert diagnosztikai módszerek és műszerek nehezen vagy egyáltalán nem alkalmazhatók.

A relatív világosság érzéklet-mérést a monitoron megjelenített színes tesztábrák segítségével végezzük. A tesztábra 60x60 mm méretű, függőlegesen kettéosztott négyzet alakú színes folt, amelynek egyik fele pl. vörös, a másik fele kék. Az egyik fél intenzitását előre beállítjuk, míg a másik fél intenzitását a vizsgált személy egy virtuális csúszka segítségével úgy állítja be, hogy a két fél világosságát azonosnak érezze. A mérés eredménye az a két DAC érték (Watt/Sr,m^2 – re átszámítva), amelyet a vizsgált személy beállít. A tesztábra 60x60 mm-es foltmérete 4° -os látómezőt biztosít, de igény szerint kisebb és nagyobb foltméretet is be lehet állítani. A tesztábra intenzitása is változtatható. Ilyen módon a fényérzékeny és csökkent látásélességű személyek vizsgálata is megoldható.

Kezdeti eredményeink biztatóak.

1. A diagnosztikai relatív világosság érzéklet-mérés alap gondolata

A diagnosztikai relatív világosság érzéklet-mérést (DRVM) a különböző színek világosság egyeztetésének módszere (*heterochromatic brightness matching*) alapján dolgoztuk ki.

A *heterochromatic brightness matching* módszert 1924-ben a CIE a relatív spektrális fényhatásfok függvény, a $V(\lambda)$ meghatározására alkalmazta [1]. A módszer alkalmazása során a kísérleti személyeknek egy fehér (illetve akromatikus) szín ingert kellett világosság szempontjából azonos intenzitásúra beállítani a spektrum különböző, monokromatikus színingereivel.

*Dr.Ing.Habil Gerőfy WENZEL Klára, egyetemi magántanár

Budapesti Műszaki Egyetem, Mechatronika, Optika és Műszertechnika Tanszék
wenzel@fot.bme.hu

SAMU Krisztián, Okleveles gépészmérnök

Budapesti Műszaki Egyetem, Mechatronika, Optika és Műszertechnika Tanszék
samuk@fot.bme.hu

A *heterochromatic brightness matching* módszert három féle képpen szokták alkalmazni. A *direct heterochromatic brightness matching* [13] módszer alkalmazása esetén két különböző színű mező világosságát kell egyenlővé tenni a vizsgált személynek. A *flicker heterochromatic brightness matching* [12] módszer esetében azt a törvényszerűséget használják fel, hogy a színezeti fúziós frekvencia alacsonyabb, mint a világosság érzéklet fúziós frekvenciája, ilyen módon a két fúziós frekvencia közötti frekvenciákon villogtatva az összehasonlítható, különböző színű mezőket, a színezet zavaró hatása kiküszöbölhető a világosság érzéklet egyeztetése során.

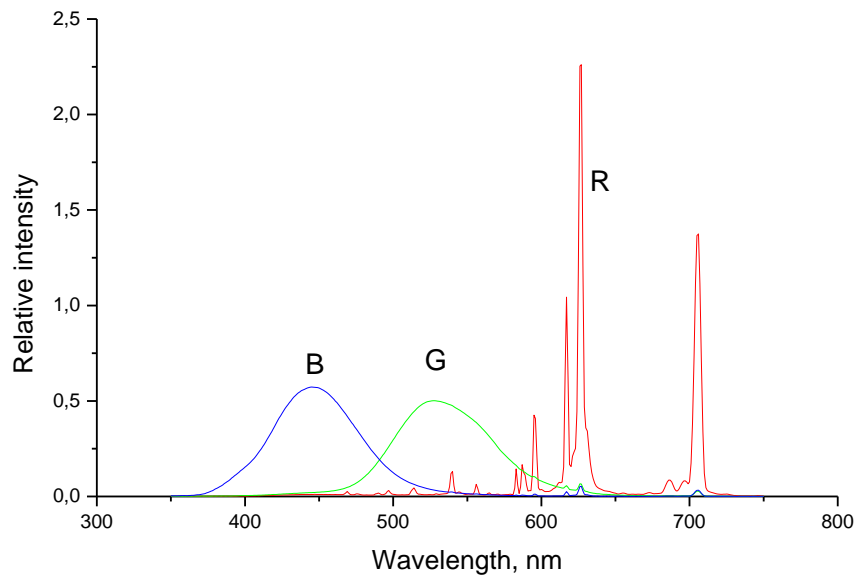
A DRVM mérési módszert színes CRT monitor és a *direct heterochromatic brightness matching* módszer alkalmazásával dolgoztuk ki.

2. A mérési módszer

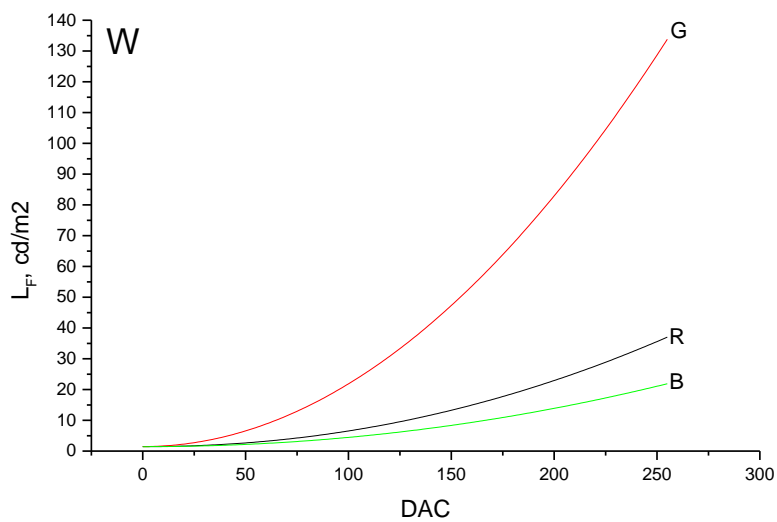
A monitoron két egymás mellett elhelyezett, különböző színű téglalapot mutatunk be a vizsgált személynek. A téglalapok színét a monitor alapszíneivel töltjük ki. A téglalapok világosságát külön-külön változtatni lehet a fel-le billentyűvel, vagy egy virtuális csúszka segítségével. A vizsgált személy számára sötétebbnek tűnő mezőt maximális világosságúra állítjuk be, majd arra kérjük a vizsgált személyt, hogy a világosabbnak tűnő mezőt sötétítse mindaddig, amíg a két mező világosságát azonosnak ítéli meg. A mérés eredménye az a két DAC érték (illetve az a két szám, amelyet a DAC értékekhez energetikai mértékegységben, azaz Watt/Sr,m^2 -ben hozzárendelhetünk), amelyet a vizsgált személy beállít. Ezt a mérést elvégeztetjük az R-G, a B-G és az R-B színek alkalmazásával is. (A három mérés közül elég lenne csupán kettőt végeztetni el, a harmadik mérést viszont érdemes kontrollként megcsinálni.) Minden beállítást háromszor végeztetünk el, és a három mérés átlagát vesszük, Watt/Sr,m^2 -ben.

3. A mérési eredmények kiértékelési módszere

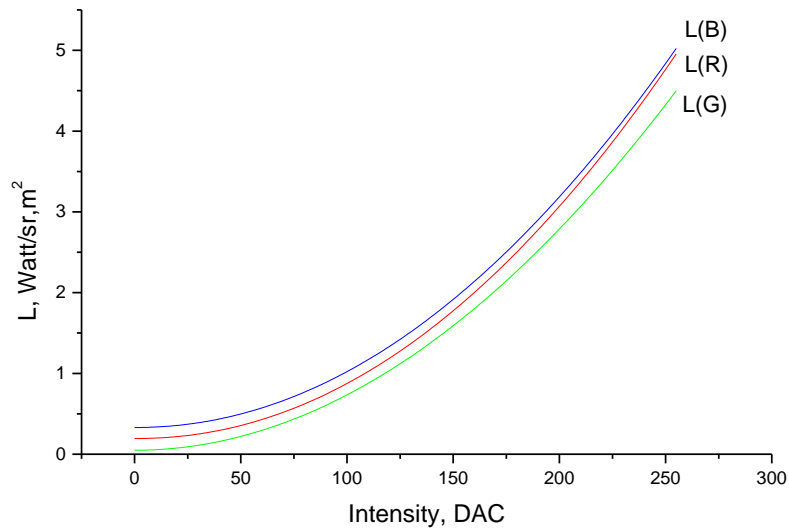
A CRT monitorok képernyőjén megjelenő színeket a monitor három (vörös, zöld és kék színben sugárzó, R, G és B jelű) fényporának felvillanásai hozzák létre. A monitort a mérés előtt kalibrálni kell [2]. Radiometriai módszerrel meghatározzuk a három fénypor relatív spektrális emisszióját (1.ábra), és a monitor fényűrűségét cd/m^2 -ben külön-külön az egyes fényporokkal megvilágítva a digitálisan beállított intenzitás DAC-ban mért függvényében (2.ábra), majd a fényűrűség értékeket átszámoljuk energetikai mértékegységre (3.ábra) [8,11].



1.ábra
CRT monitorok fényporainak spektrális emissziója



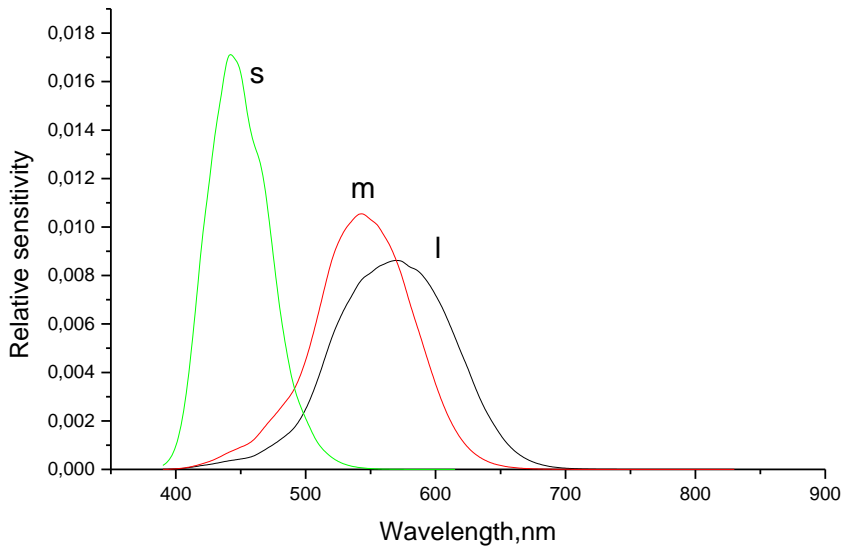
2.ábra
CRT monitor kalibrációs értékei fotometrikus mértékegységekben



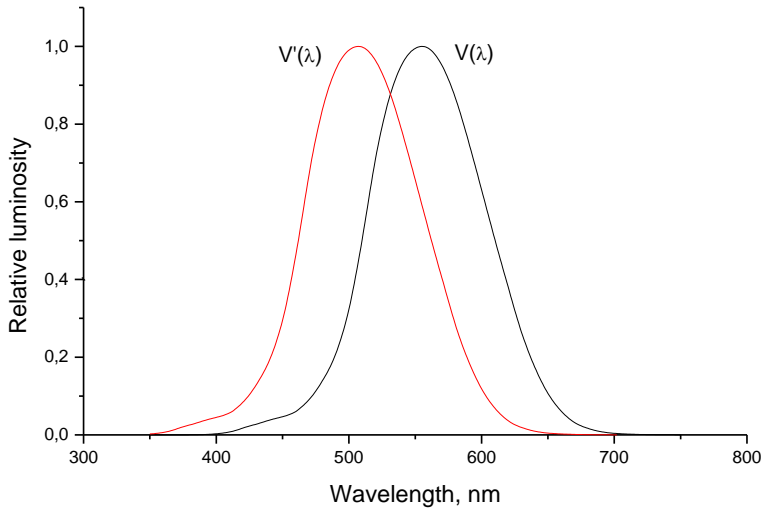
3.ábra

CRT monitor kalibrációs értékei energetikai mértékegységekben

A fényporok sugárzását az emberi szem ugyancsak három (vörös, zöld és kék színre érzékeny, protos, deuterus és tritos nevű, L, M és S jelű) érzékelővel érzékeli. Ezek az érzékelők a retinán elhelyezkedő nappali fényérzékelő elemek, a csapok. Az L, M és S csap $I(\lambda)$, $m(\lambda)$ és $s(\lambda)$ spektrális érzékenységi függvénye Stockman és Sharpe mérései alapján a 4. ábrán látható [3,4,5]. Ezen kívül egy negyedik típusú érzékelő (pálcika) is található a retinán, amely az éjszakai látást biztosítja. Ennek spektrális érzékenységi függvényét $V'(\lambda)$ -val jelöli a szakirodalom. A pálcikák mintegy ezerszer érzékenyebbek, mint a csapok. A pálcikák $V'(\lambda)$ spektrális érzékenységi függvénye az MSZ 9620 alapján a 5. ábrán látható [6].



4. ábra
A normál színlátású emberi szem relatív spektrális érzékenységi görbéi

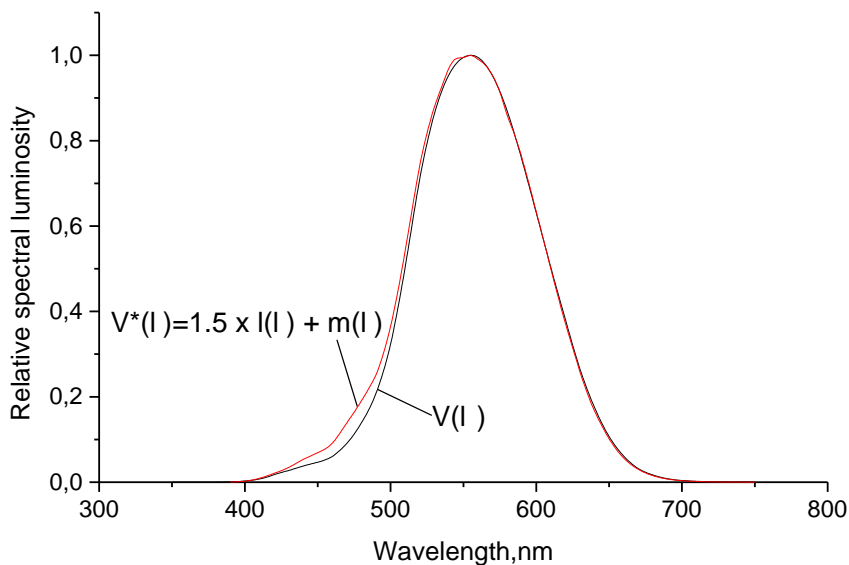


5. ábra
A $V(l)$ és $V'(l)$ relatív spektrális fényhatásfok függvény (Msz 2620)

Az 5.ábrán látható a relatív spektrális fényhatásfok (spectral luminosity) függvény, a $V(\lambda)$ is. A szakirodalom szerint a $V(\lambda)$ függvény az L és M csapok spektrális érzékenységi függvényeinek súlyozott összegeként állítható elő [7].

$$V^*(\lambda) = 1.5 \times l(\lambda) + m(\lambda) \quad \text{ahol } l(\lambda) \text{ az L csapok spektrális érzékenysége, és } m(\lambda) \text{ az M csapok spektrális érzékenysége}$$

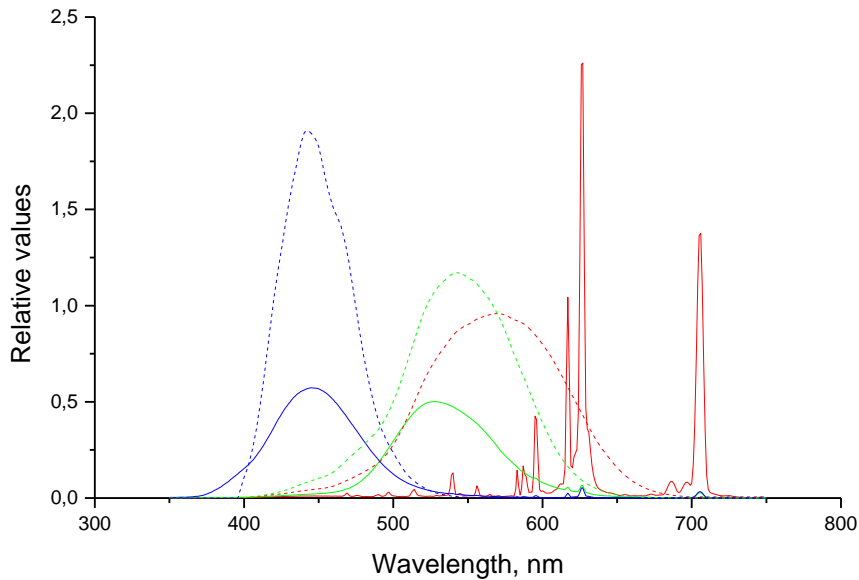
Az adott függvények esetén ez valóban jó közelítéssel teljesül (6.ábra).



6.ábra

Az L és M csap spektrális érzékenységi függvényének súlyozott összege jó közelítéssel megegyezik a $V(\lambda)$ függvénnyel

Az R, G és B monitor-színek mindhárom receptort ingerlik kisebb-nagyobb mértékben [9]. A monitor kék alapszíne például a kék-érzékeny receptort ingerli legerősebben, a zöld érzékeny receptort kevésbé és a vörös érzékeny receptort csak igen kis mértékben. A zöld alapszín viszont a zöld érzékeny receptort ingerli legerősebben, a kék érzékeny és a vörös érzékeny pedig kevésbé. Ennek bemutatására a 7.ábrán együtt mutatjuk be a monitorok fényporainak spektrális emisszióját és a receptorok spektrális érzékenységi függvényeit.



7.ábra

A CRT monitorok fényporai spektrális emissziójának hatása a normál színlátású emberi szem receptoraira (Folyamatos vonal: a monitorok R, G, és B spektrális emissziója; szaggatott vonal: a receptorok $I(\lambda)$, $m(\lambda)$ és $s(\lambda)$ spektrális érzékenysége)

Az R, G és B monitor-színek hatására a normál színlátók L, M és S csap-receptoriban kialakuló $L(R,G,B)$, $M(R,G,B)$ és $S(R,G,B)$ érzeteket, illetve a pálcikákban kialakuló $P(R,G,B)$ érzetet a monitor fényporainak $R(\lambda)$, $G(\lambda)$ és $B(\lambda)$ spektrális emissziójából és a normál szem csap pigmentjeinek Stockmann és Sharpe által meghatározott $I(\lambda)$, $m(\lambda)$ és $s(\lambda)$ relatív érzékenységi görbéiből, illetve a $V'(\lambda)$ -ből az M_{monitor} monitor-mátrix kiszámításával határozhatjuk meg.

A számítás során az $I(\lambda)$, $m(\lambda)$ és $s(\lambda)$ relatív spektrális érzékenységi függvényeket rendre beszorozzuk az $R(\lambda)$, $G(\lambda)$ és $B(\lambda)$ spektrális emisszió függvényekkel, majd integráljuk a szorzatokat 350nm-750 nm-ig. Az eredmények – a monitor-mátrix számszerű értékei - az 1.táblázatban láthatók:

	R	G	B	$V(\lambda)$
L	0.12906	0.24874	0.03739	3.54419
M	0.05852	0.31538	0.06411	29.64413
S	0.01509	0.04793	0.44598	16.51752

1. Táblázat

Ezen számítások alapján elméletileg meg tudtuk határozni azt, hogy a monitor alapszínei milyen mértékben ingerlik az egyes receptorokat. Ezen eredmények alapján az is kiszámítható, hogy a monitor alapszínei milyen világosság érzékletet váltanak ki abban az esetben, amikor a vizsgált személynek mindhárom receptora működik, vagy azok közül csupán valamelyik kettő, vagy csak egyetlen csap működik, vagy esetleg csupán a pálcikák működnek.

A monitor alapszínei által kiváltott világosság érzéklet kiszámításánál az [5] értelmében úgy járhatunk el, hogy az egyes fényporok által a protosból és deuteroból kiváltott érzeteket a fenti súlyozással összeadjuk, míg a tritosból kiváltott érzetet nem vesszük figyelembe.

Elvégezve ezeket a számításokat azt tapasztaljuk, hogy a monitor egyes alapszínei által kiváltott világosság érzéklet nagymértékben különbözik egymástól a különböző képpen hiányos receptor működések esetén (2.táblázat).

A 2.táblázatban a világosság érzékleteket egymáshoz viszonyítva, relatív értékekkel adtuk meg a jobb áttekinthetőség érdekében. A táblázatban feltűntettük a színlátási rendellenességeknek az orvosi szakirodalomban használatos megnevezéseit is.

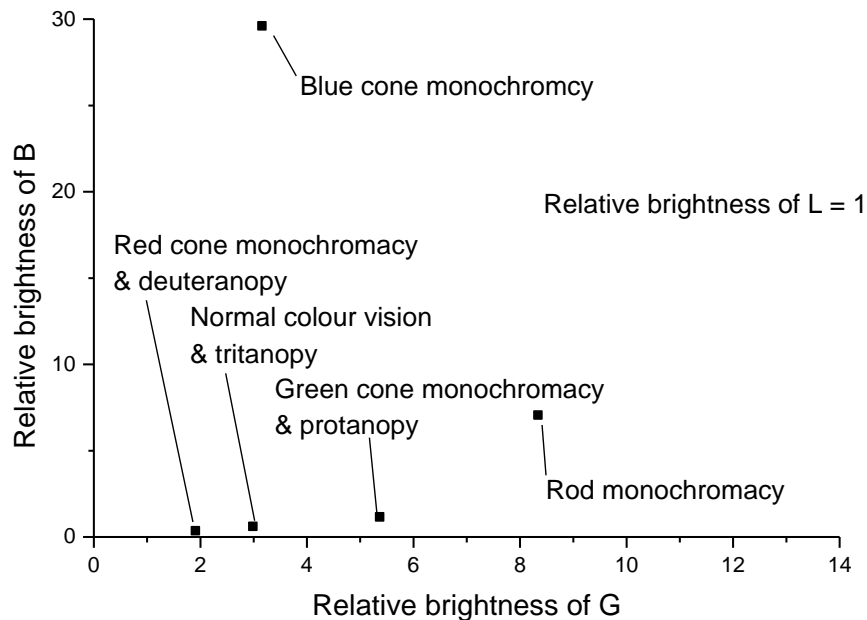
Mivel a [5] szerint a tritos nem vesz részt a világosság érzéklet kialakulásában, a relatív világosság érzéklet alapján nem tudunk különbséget tenni azok között, akiknek csak az L csapjuk működik és a deuteranópok között, akiknek az L csapjuk és az S csapjuk is működik. Ugyanígy nem különböztethetők meg a csak M csappal látók a protanóptól és a normál színlátók a tritanóptól. Ezért a relatív világosság érzéklet mérésén kívül más diagnosztikai lehetőségeket is fel kell használni. Ez a hátrány azonban eltörlődik a módszer előnyei mellett, amint azt a továbbiakban össze fogjuk foglalni.

Típus	V(R):	V(G):	V (B)	
Csak L	1:	1.93 :	0.29	red cone monochromacy
Csak M	1:	5.39 :	1.10	green cone monochromacy
Csak S	1:	3.18 :	29.55	blue cone monochromacy
Csak pálcika	1:	8.36 :	4.66	rod monochromacy
Protanópia	1:	5.39 :	1.10	protanopy
Deuteranópia	1:	1.93 :	0.29	deutanopy
Tritanópia	1:	3.01 :	0.54	tritanopy
Normál színlátás	1:	3.01 :	0.54	normal color vision

2.táblázat

Ha ezek után mérés útján meghatározzuk a vizsgált személy relatív világosság érzékletét a monitor alapszíneire, és ezeket az értékeket összehasonlítjuk az elméleti úton nyert értékekkel, feltehetőleg meg tudjuk válaszolni azt a kérdést, hogy a vizsgált személynek mely receptorai működnek, melyek nem.

A 2.táblázat adatait diagramban ábrázolhatjuk. Ábrázoljuk a vízszintes tengelyen a monitor zöld színe által kiváltott világosság érzékletet a vöröshöz képest, a függőleges tengelyen pedig a monitor kék színe által kiváltott világosság érzékletet a vöröshöz képest! A diagramban pontok jelölik a látási rendellenességek különböző típusait. A diagram a 8.ábrán látható.



8. Ábra

A különböző típusú látási rendellenességek a relatív világosság érzéklet függvényében (Elméleti számítás alapján)

4. Kiinduló feltételezések a relatív világosság érzéklet mérési eredmények kiértékeléséhez

Aösszefoglaljuk azt, hogy a relatív világosság érzéklet mérési eredményeinek kiértékelésénél milyen feltételezésekből indultunk ki.

- Feltételeztük azt, hogy a normál színlátók receptor érzékenységi függvényeinek értékei megegyeznek Stockmann és Sharpe mérései adataival (4.ábra)
- Feltételeztük azt, hogy a pálcikák spektrális érzékenységi függvénye megegyezik az MSz 9620 szerinti $V'(\lambda)$ függvénnyel (5.ábra)
- Feltételeztük azt, hogy a hiányos receptor rendszerrel rendelkező vizsgált személyek maradék receptorainak spektrális érzékenységi adatai megegyeznek a normál színlátók megfelelő receptorainak spektrális érzékenységi adataival
- Feltételeztük azt, hogy a vizsgált szem egyenletes eloszlású fehér színre adaptált állapotú
- Feltételeztük azt, hogy az S receptor nem vesz részt a világosság érzéklet kialakulásában

- Feltételeztük azt, hogy a világosság érzéklet kialakulásában az L és M receptor ingerülete súlyozottan összegződik (4.ábra)
- Feltételeztük azt, hogy a receptor érzetekre fennáll az additivitás törvénye.

Ha ezek a kiinduló feltételek nem teljesülnek maradéktalanul, a diagnózis hiba határai megnövekszenek.

5. A DRVM mérés előnyei

A hiányos csap-rendszerrel rendelkező színlátók diagnózisának felállításánál a DRVM mérésnek jelentős előnyei vannak:

- Kis fényterhelés, kevés kényelmetlenség a vizsgált személy számára
- Erős fényérzékenység esetén a fényerő csökkenthető.
- A vizsgálat során nem kell okuláron keresztül végezni a mérést. Szemteke rezgések esetében az okulárba tekintés nehézséget okozna.
- A mérőfolt mérete alapbeállításnál kb. 4° látómezőt biztosít. Retina rendellenességek esetében a szemészeti műszerekben alkalmazott 2° látómező (pl. anomaloszkóp) általában nehezen kivitelezhetővé teszi a vizsgálatot.
- A mérő folt mérete tovább növelhető. Ez rossz felbontású (alacsony vizusú) szem esetében előnyös, továbbá lehetővé teszi a retina állapotának felmérését különböző nagyságú látómezők esetén.
- A mérés háromszori ismétléssel mintegy 10 perc alatt lebonyolítható
- Kis eszköz-igény (Személyi számítógép és kalibrált monitor)
- Nagy megbízhatóság (Az 1 táblázat szerint a különböző csap-hiányos típusok közötti elméleti különbség nagy, ezért várhatólag a mérési eredmények szignifikánsan elkülönülnek).

6. A DRVM mérés során tapasztalt nehézségek:

- A kiértékelést pontatlanná teheti az, hogy a hiányos receptor rendszerrel látók között nemcsak „tisztá” esetek fordulhatnak elő (Pl. Nem kizárólag csak L, vagy csak M receptorokkal látnak, hanem előfordulhatnak inkomplett esetek is, amikor a működő receptor mellett a többi receptor működése is tapasztalható kismértékben.)
- A kiértékelést pontatlanná teheti az, hogy a hiányos receptor rendszerrel látók receptorainak fejlődését esetleg hibrid gének irányítják, ezért rendellenes spektrális érzékenységgű pigmentek is előfordulhatnak.
- A heterokromatikus világosság egyeztetést ép színlátók csak nagy hibával tudják elvégezni.

7. Az eddig elvégzett mérések

Eddig összesen 14 személyen végeztünk mérést.

Normál színlátó:	2	fő
Deuteranomál:	2	fő
Protanomál:	2	fő
Deuteranóp:	0	fő
Protanóp:	2	fő
Csak M csappal lát:	2	fő
Csak L csappal lát:	0	fő
Csak pálcikával lát:	4	fő

A mérések során arra törekedtünk, hogy a relatív világosság érzéklet mérésen kívül minél több mérési módszert alkalmazzunk minden kísérleti személyen. A mérési eredmények összehasonlítása alapján megpróbáltuk megválaszolni azt a kérdést, hogy a relatív világosság érzéklet mérés eredménye korrelál-e a többi mérés eredményével.

A relatív világosság érzéklet mérésen kívül alkalmazott mérési módszerek:

1. Ishihara teszt

A vizsgált személynek 20 számot mutatunk meg. Ha a 20-ból legalább 18-at felismer, normál színlátónak tekintjük. A teljesítményt a felismertek számával jelöljük, pl. 14/20 azt jelenti, hogy 14-et ismert fel a 20-ból.

2. Mérés anomaloszópon; az anomál quociens meghatározása (BME FOT)

Az anomaloszóp típusa: Oculus gyártmányú Heidelbergi anomaloszóp

Az anomaloszóp mérési tartománya: R/G = 0...73; Y = 0...40.

A látómező látószöge: 2°.

3. Spektrális mérések

A méréseket PDT műszeren végeztük. (BME FOT)

A PDT műszeren

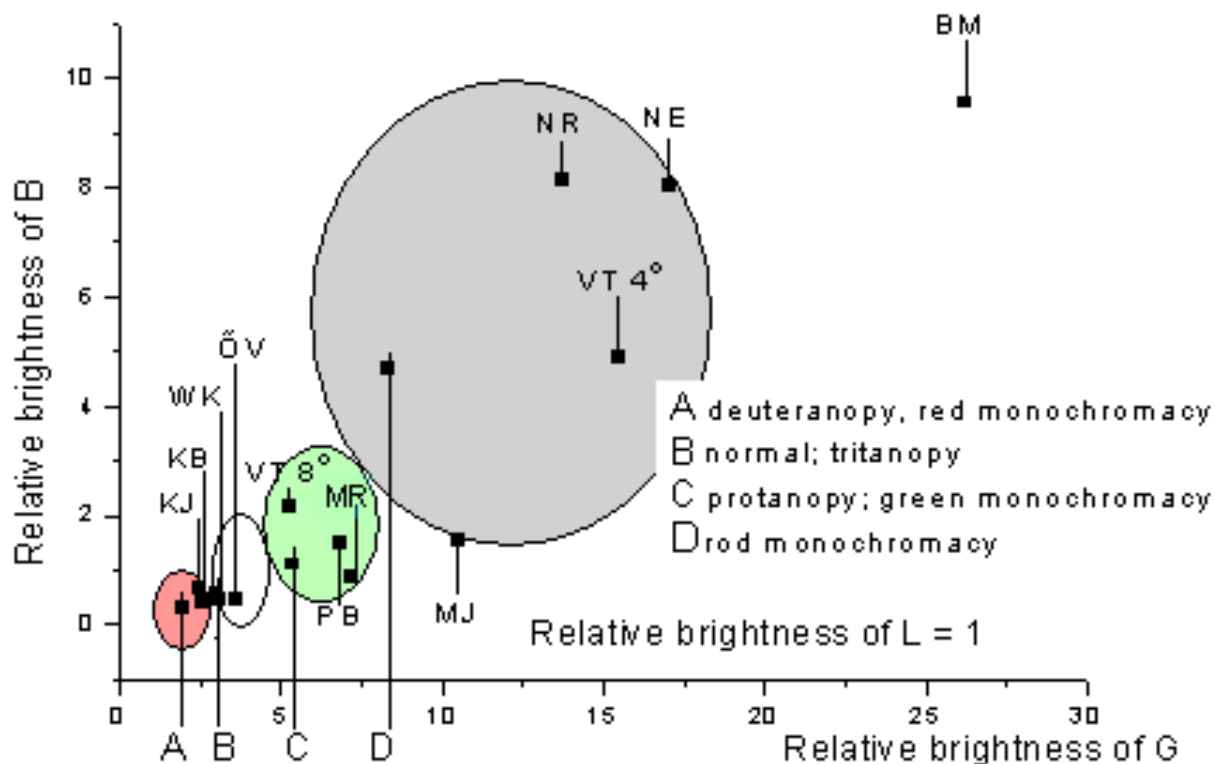
- a spektrumszínek szín identifikációs vizsgálatát végeztük el [Itala],
- a relatív fényhatásfok függvény maximumát határoztuk meg [Gegenfurtner-Sharpe], ez normál színlátók esetén 555 nm +/- 5 nm, protanopoknál 540 nm körül, deuteranopoknál 560 nm körül és azoknál, akiknek csak a pálcikái működnek, 507 nm körül,
- meghatároztuk a neutrális zóna hullámhossz tartományát [Gegenfurtner-Sharpe], ez normál színlátóknál nem létezik, protanópoknál 490-500 nm körül, deuteranópoknál 510-520 nm körül, tritanópoknál 575 nm körül alakul ki. (Ott tapasztalható neutrális zóna, ahol a működő két csap érzékenysége azonos, 4. ábra).

A PDT műszer látómezőjének látószöge 2°-os, ezért a PDT műszeren végzett mérés nehezen, vagy egyáltalán lenne kivitelezhető. Azonban a műszert az okulár előtt kiegészítettük egy gyűjtőlencsével, amely a látómező látószögét 5x nagyobbra növelte meg, a megvilágítás intenzitását pedig 25-ére csökkentette. A mérés néhány kísérleti személyenél - bár nehezen - de mégis elvégezhetővé vált.

4. Genetikai vizsgálatok

A genetikai vizsgálatokat a II.Szemklinika végeztette el a csak M csappal látókon és a pálcika-látókon. A méréseket a Tübingeni Egyetemen bonyolították le.

Az eddigi mérési eredményeket a 9.ábrán mutatjuk be.



9.ábra

Mérési eredmények

Az ellipszisek azt a területet jelölik, amelyen belül eső mért értékek az adott szintévesztési típushoz tartozónak tekinthetők.

A 9.ábrán az ellipsziseket jelenleg becslés alapján rajzoltuk be, pontos adataikat csak nagyobb adathalmaz alapján lehet meghatározni. Az ellipszisek a nagyobb mért értékek irányában növekednek, mivel a méréstechnikában ismert jelenség az, hogy nagyobb mért értéknek mindig nagyobb a véletlen hibája, azaz a bizonytalansága.

A 9.ábrán nem ábrázoltuk azt az esetet, amikor csak az S csap működik (blue monochromacy), mivel ennél a típusnál a függőleges tengelyen igen magas értéket (29.55) kellene ábrázolni, és ezért az ábra többi részét nagyon össze kellene zsúfolni. Ilyen eset a méréseink között egyébként eddig nem is fordult elő.

Az eddigi mérési eredmények két kivétellel egybeesnek az elméleti alapon meghatározott eredményekkel. B.M. és M.J. kísérleti személy (mindkettő pálcika monochromát) mérési pontja nem esik bele az elméleti számítással és becsléssel előre felvett mérési tartományba. Ennek egyik oka az lehet, hogy a tűrésmező mérete nem egyezik meg a becslés alapján felvett tűrésmezővel. Másik oka

feltehetően az, hogy a pálcika-monokromátok látása érzékeny, bizonytalan, és nagyon fényérzékenyek, ezért nagy a mérési bizonytalanságuk. Ráadásul önbizalmuk is kicsi a látási tesztek területén, és ez is növeli a hibát az ő esetükben.

8. További tervek

- a. Nagyobb létszámú normál kontroll csoport létrehozása
- b. A szórási ellipszisek nagyságának meghatározása nagyszámú kísérlet alapján
- c. Az additivitás ellenőrzése a normál kontroll csoporton
- d. A hiányos receptor rendszerrel látók relatív világosság mérési adatait összevetni a klinikai diagnózisok eredményeivel
- e. A hiányos receptor rendszerrel látók relatív világosság mérési adatait összevetni genetikai vizsgálati eredményekkel

9. Hivatkozások

- [1] CIE Publication 51
- [2] K. Samu: Automated Gamma-Curve Measurement of CRT Computer Monitors., Proceedings of GÉPÉSZET 2002, pp. 817-821., Budapest, 2002. május 30-31.
- [3] Stockman, A., Sharpe, L.T., & Fach, C.C., The spectral sensitivity of the human short-wavelength sensitive cones derived from thresholds and color matches, Vision Research, 1999
- [4] Stockman, A. & Sharpe, L.T., The spectral sensitivities of the middle- and long-wavelength sensitive cones derived from measurements in observers of known genotype, Vision Research, 2000
- [5] Stockman, A. & Sharpe, L.T., Tritanopic color matches and the long- and middle-wavelength-sensitive cone spectral sensitivities, Vision Research, 2000
- [6] MSz 9620
- [7] Gegenfurtner, K.R. & Sharpe, L.T., Color Vision From Genes To Perception, Cambridge University Press, 1999
- [8] Charles P. Halsted: Brightness, Luminance, And Co.. Information Display, March, 1993.
- [9] Gaurav Sharma: Digital Color Imaging. IEEE Transactions On Image Processing. Vol. 6, No. 7, 1997.
- [10] H. Yaguchi, A. Kawada, S. Shioiri, Y. Miyake: Individual Differences Of The Contribution Of Chromatic Channels To Brightness. J. Opt. Soc. Am., Vol. 10 No. 6., p. 1373-1379.,1993.

- [11] Ken Sagawa: Supplementary System Of Photometry - Photometric System For Brightness At Any Level. Color And Visual Scales Conf. 2000., 3-5. April, Proceedings, CIE UK, 2000.
- [12] S. Wu, S.A. Burns, A. Reeves, A.E. Elsner: Flicker Brightness Enhancement And Visual Nonlinearity. Vision Res., Vol. 36., No. 11., p. 1573-1583., 1996.
- [13] Samu Krisztián, Wenzel Klára: Crt Monitoron Megjelenített, Világosság-Érzet Kompenzált, Három Primeres Pszeudoizokromatikus Tesztek. II. Lux et Color Veszpremiensi konferencia, Veszprém

Ábra jegyzék

- 1.ábra CRT monitorok fényporainak spektrális emissziója
- 2.ábra A normál színlátású emberi szem relatív spektrális érzékenységi görbéi
- 3.ábra A $V(\lambda)$ és $V'(\lambda)$ relatív spektrális fényhatásfok függvény (Msz 2620)
- 4.ábra Az L és M csap spektrális érzékenységi függvényének összege jó közelítéssel megegyezik a $V(\lambda)$ függvénnyel
- 5.ábra A CRT monitorok fényporai spektrális emissziójának hatása a normál színlátású emberi szem receptoraira
- 6.ábra A különböző típusú látási rendellenességek a relatív világosság érzéklet függvényében
- 7.ábra Wenzel Klára monitorának korigált kalibrációs értékei
- 8.ábra Samu Krisztián monitorának korigált kalibrációs értékei
- 9.ábra Az eddigi kísérletek eredményei a relatív világosság érzékletfüggvényében

A táblázatok jegyzéke

1. táblázat A monitor-mátrix
2. táblázat Relatív világosság érzéklet értékek a különböző csap-hiányos esetekben