

HANNU SAARNILEHTO
VÄRINÄKÖ

**PAINO
VOIMAA**

©Metropolia Ammattikorkeakoulu

PAINOVOIMAA-HANKKEEN JULKAISUJA
painovoimaa.metropolia.fi
metropolia.fi/julkaisut

Helsinki 2023

JULKAISIJA

Metropolia Ammattikorkeakoulu

TEKIJÄ

Hannu Saarnilehto

JULKAISUN TOIMITTAJA

Tuire Ranta-Meyer

Julkaisu on tuotettu osana Metropolia Ammattikorkeakoulun toteuttamaa PAINOVOIMAA-hanketta, jonka tavoitteena on elvyttää ja säilyttää Suomessa graafisen tekniikan korkeakoulutusta, kehittää sitä ja luoda edellytykset sen kansainväliselle yhteistyölle. Hanke on saanut rahoitusta C.V.Åkerlundin mediasäätiöltä ja Media-alan tutkimussäätiöltä.



— c.v. —
ÅKERLUNDIN MEDIASÄÄTIÖ

MEDIA-ALAN  TUTKIMUSSÄÄTIÖ

SISÄLLYS

VÄRINÄKÖ

| | |
|--|-----------|
| <u>I VÄRINÄKÖKYVYSTÄ JA SEN POIKKEAMISTA</u> | 3 |
| <u>Miten värit nähdään</u> | 3 |
| <u>Perinnöllisyys</u> | 5 |
| <u>Värinäön luokittelu</u> | 7 |
| <u>Poikkeavat värihavainnot</u> | 8 |
| <u>Värinäkökyvyn erikoistapauksia</u> | 9 |
| | |
| <u>II VÄRINÄKÖKYKYYN VAIKUTTAMINEN</u> | 10 |
| <u>Värinäkökykyyn vaikuttamisen lähtökohdat</u> | 10 |
| <u>Silmälasit ja piilolinssit</u> | 12 |
| <u>Optoelektroniset lasit ja tekniset laitteet värinäkökyvyn korjaamisessa</u> | 15 |
| <u>Geeniterapia</u> | 17 |
| | |
| <u>LÄHTEET</u> | 18 |
| | |
| <u>LIITE</u> | 20 |

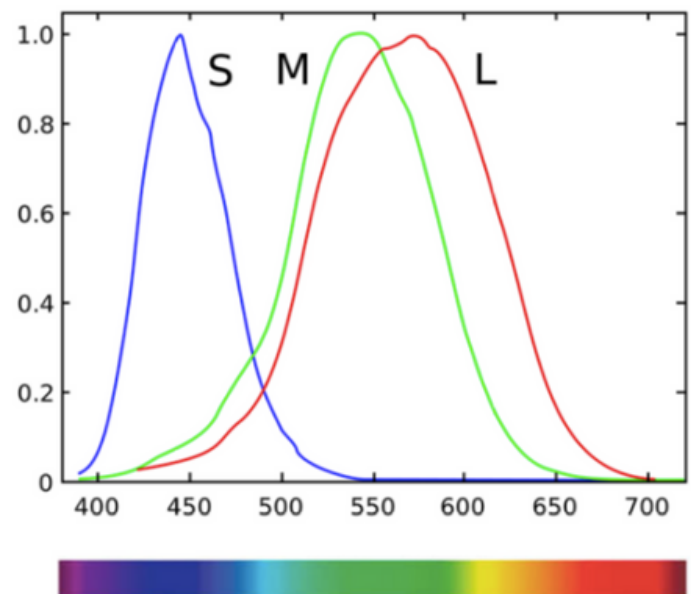
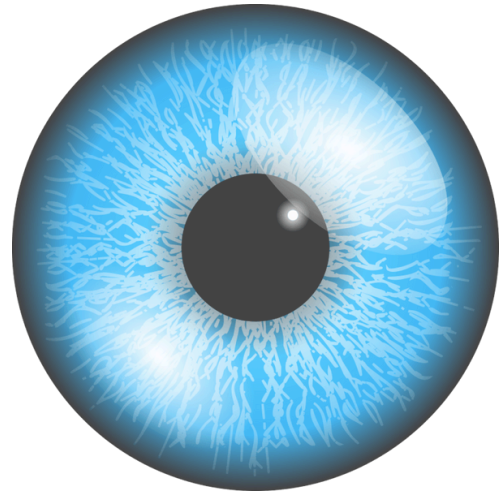
I VÄRINÄKÖKYVYSTÄ JA SEN POIKKEAMISTA

MITEN VÄRIT NÄHDÄÄN?

Metropolian Painovoimaa-opintokokonaisuuden yksi keskeinen opintojakso on 5 opintoviikon laajuinen ”Painomenetelmät, materiaalit, visuaalisuus”. Siihen sisältyy osio, jossa opiskelijoiden pitää miettiä, miten eri väreistä muodostetaan värijärjestelmien (RGB; CMYK) mukaisia värejä. Tämän artikkelin tavoitteena on hieman laajentaa ymmärrystä värinäöstä ja tarkastella visuaalista näköhavainnon muodostumista silloin, kun henkilön havainto ei vastaakaan samaa kuin useimmilla ihmisillä.¹

Ihmisen näköhavainto muodostuu kolmen erilaisen tappisolun aistimuksista. Tappisolut ovat herkistyneet tietyille aallonpituuksien alueille. Kuva 1. näyttää eri tappisolujen vasteet eri aallonpituuksilla. Huiput aistimuksissa ovat aallonpituuksilla 420–445 (sininen), 530–535 (vihreä) ja 560–575 (punainen) nanometriä. Aallonpituuksissa on siis välystä eli luvut eivät ole aivan tarkkoja. Hämärässä ihmiset näkevät ainoastaan sauvasoluilla, joiden herkkyys on maksimissaan 500 nanometrin aallonpituudella.

Useimmat meistä tietävät, että joillakin ihmisillä on punavihervärisokeudeksi nimetty ominaisuus. On todellakin niin, että Suomessa perinnöllisesti noin kahdeksalla prosentilla miehistä ja noin 0,5 prosentilla naisista värinäkö ei vastaa samaa kuin enemmistöllä. Värisokeudesta puhuminen sen sijaan on hieman liioiteltua.² Miehistä vain noin kahdella prosentilla jotkin tappisolut – tai tarkemmin sanottuna niiden pigmentit – eivät toimi ja aiheuttavat vakavan poikkeaman värinäkökykyyn. Henkilöitä, joilla kaikki värit jäävät näkemättä on esimerkiksi Suomessa ilmeisesti vain muutamia kymmeniä, korkeintaan muutamia satoja. Englannin kielessä käytetään kuitenkin yleisesti sana *colorblindness* riippumatta poikkeaman vakavuusasteesta.



KUVA 1. Tappisolujen vaste eri aallonpituuksille (eye spectral response). (Kuva Stockman, MacLeod & Johnson 1993 artikkelin ”Spectral sensitivities of the human cones” mukaan.)

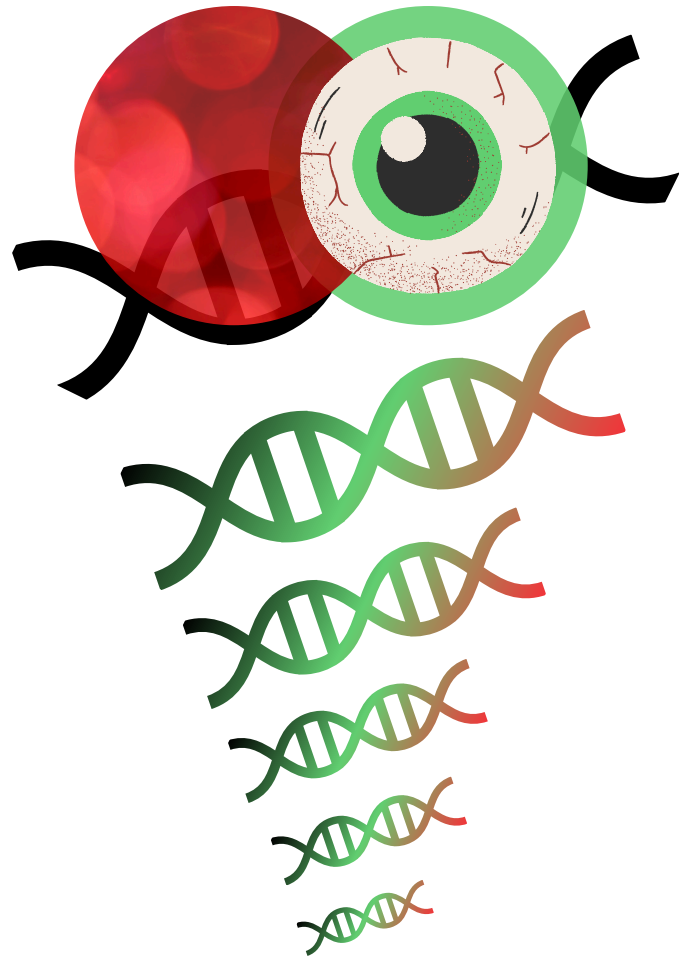
1) Kiitän Painovoimaa-hankkeen johtaja Tuire Ranta-Meyerä julkaisun toimittamisesta, kielenhuollosta ja julkaisukuntoon saattamisesta sekä optometrian lehtorin Pia Mäkelää keskustelusta ja artikkelini kommentoinnista.

2) Eri maissa värisokeus on määritelty toisistaan hieman poikkeavalla tavalla, eikä yhtenäistä termistöä ole käytössä. Tässä artikkelissa käytetään yleisterminä sana ”värisokeus” sen lyhyden vuoksi.

PERINNÖLLISYYS

Punaviheralueeseen liittyvät ongelmat periytyvät ihmisellä X-kromosomin kautta. Värinäön poikkeama siis periytyy yleisesti värisokealta äidinisältä oireettoman, mutta virheellistä X-kromosomia kantavan äidin kautta pojille. Isältä pojat nimittäin perivät Y-kromosomin, jossa virhe ei esiinny. Jos nainen on punavihervärisokea, hänen on pitänyt periä sekä äidin että isän virheellinen X-kromosomi, toisin sanoen hänen perimässään on kaksi virheellistä X-kromosomia.

Virhe voi periytyä myös äidinäidiltä, joka on joko kantaja (toinen X-kromosomi normaali, toinen virheellinen) tai värisokea (molemmat X-kromosomit virheellisiä). Kantajana äiti on oireeton. Mutta hänen mahdollisesti saamansa poikalapset ovat värisokeita. Tyttäreillä voi olla värinäössä poikkeama vain silloin, kun isällä on poikkeama (virheellinen x-kromosomi) ja äiti joko kantaja (vain toinen X-kromonomi virheellinen) tai myös hänellä on poikkeama (molemmissa X-kromosomeissa poikkeama).



| | | I | | S | | Ä | | |
|-------------------|--|-------------------|------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------|---|
| | | Normaali värinäkö | | Isä on värisokea | | | | |
| | | X | Y | X ^c | Y | | | |
| Ä | Normaali värinäkö, eikä taudinkantaja. | X | XX | XY | X | XX ^c | XY | |
| | | X | XX | XY | X | XX ^c | XY | |
| | Normaali värinäkö, mutta taudinkantaja | X | XX | XY | X ^c | X ^c Y | X ^c | Y |
| | | X ^c | X ^c X | X ^c Y | X ^c | X ^c X ^c | X ^c Y | Y |
| Äiti on värisokea | X ^c | X ^c X | X ^c Y | X ^c | X ^c X ^c | X ^c Y | Y | |
| | X ^c | X ^c X | X ^c Y | X ^c | X ^c X ^c | X ^c Y | Y | |

Taulukon värien selitykset

- = terve
- = taudinkantaja
- = värisokea

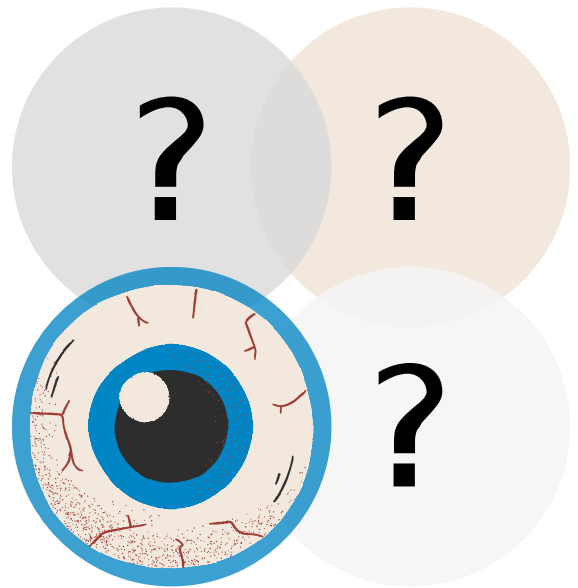
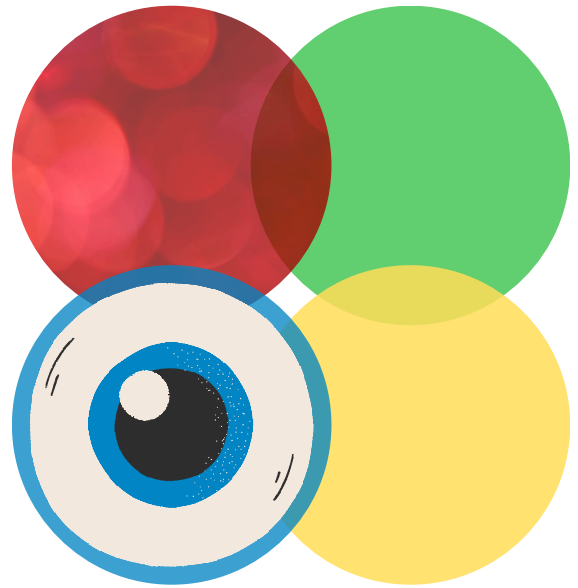
KUVA 2. Punnettin (1905) perinnöllisyystaulukko havainnollistaa punavihervärisokeuden liittymisen X-kromosomiin.

Punnettin ideaan ja hänen kirjaansa *Mendelism* perustuva kaavakuva on vuodelta 1905. Se havainnollistaa kaikki eri tapaukset värinäön poikkeamien periytyvyydessä. Kuvassa virheellinen kromosomi on merkitty pienellä c-kirjaimella ja värikoodit ovat vihreä = normaali, sininen = kantaja ja musta = värinäkökyvyn poikkeama. On hyvä huomata, että Punnettin neliössä on lähdetty siitä, että kyse on aina samasta poikkeamasta. Todellisuudessa tilanne on mutkikkaampi, sillä on olemassa sekä punaisen että viheralueen poikkeamia, ja naispuolisella henkilöllä siis voi olla nämä molemmat, silloin kun hän on vanhempien kautta perinyt keskenään erilaiset virheelliset X-kromosomit.

Poikkeavan värinäkökyvyn omaavilla voi olla tarkka erottelukyky. Värinäön puute ilmetessään punaviheralueella haittaa kyllä puolukoiden poimimista, mutta useimmissa arkipäivän asioissa sitä ei juuri lainkaan huomaa. Esimerkiksi liikennevaloissa aiheutuva haitta on pieni, sillä vaikkapa Suomessa punainen on aina ylhäällä ja vihreä aina alhaalla. Hämärässä ja vaakatasossa olevissa liikennevaloissa haitta on kuitenkin selkeämmin tunnistettavissa.

Värinäkökyvyn osalta punaviheralueella olevat häiriöt ovat yleisempiä. Niitä on kahdenlaisia: viheralueen (*deutaranopia*) tai punaisen alueen (*protanopia*). Häiriö voi olla pieni poikkeama viheralueella niin, ettei ihminen itse ole siitä edes tietoinen. Häiriö voi kuitenkin olla myös sini-kelta-alueella. Sinistä aistivien tappisolujen puutteellinen toiminta (*tritanopia*) on huomattavasti harvinaisempaa: vain muutamalla sadalla suomalaisella on tämä häiriö. Tritanopia ei periydy X-kromosomin, vaan kromosomin numero 7 kautta. Tällöin yleensä punaviheralueella ei ole häiriötä. (ks. www.orpha.net, s.v. tritanopia)³. *Akromatopsia* eli täydellinen värien näkemättömyys on harvinaista.









On paljon vakavan värinäkökyvyn häiriön omaavia henkilöitä, jotka eivät tiedä heillä olevan jokin poikkeama. Erikoislääkäri Osmo Saarelman (2021) mukaan 40 prosenttia niistä miehistä, joilla on heikko värinäkökyky punaviheralueella, ei tiedä sitä. Lapsille Suomessa tehdään kuitenkin nykyään neuvolassa tai kouluterveydenhuollossa testejä, ja siksi meillä monet saavat jo nuorena tiedon ainakin merkittävimmistä poikkeamista.



³ www.orpha.net (The portal for rare diseases and orphan drugs) on harvinaisia sairauksia ja harvinaislääkkeitä koskeva sivusto, johon on koottu muualla julkaistuja tieteellisiä artikkeleita. Sivustolla harvinainen sairaus on määritelty siten, että esiintyvyys on 1-4 % väestötasolla.

VÄRINÄÖN LUOKITTELU

Värinäköä voidaan tarkastella saksalaisen psykologi Johannes von Kriesin jo vuonna 1897 kehittämän luokittelun avulla seuraavasti:

| | | | Miehet / Naiset |
|-------------------|---|----------------------------|-----------------|
| Normaali näkökyky |  | Normaali näkökyky | 92 % |
| Deuteranomalia |  | Poikkeama vihreässä | 4,63 % / 0,36 % |
| Protanomalia |  | Poikkeama punaisessa | 1,08 % / 0,03 % |
| Protanopia |  | Punaiset tapit eivät toimi | 1,01 % / 0,02 % |
| Deuteranopia |  | Vihreät tapit eivät toimi | 1,27 % / 0,01 % |
| Tritanopia |  | Siniset tapit eivät toimi | 0,0001 % |
| Tritanomalia |  | Poikkeama sinisessä | 0,0002 % |
| Akromatopsia |  | Kaikki tapit toimimattomia | 0,00003 % |

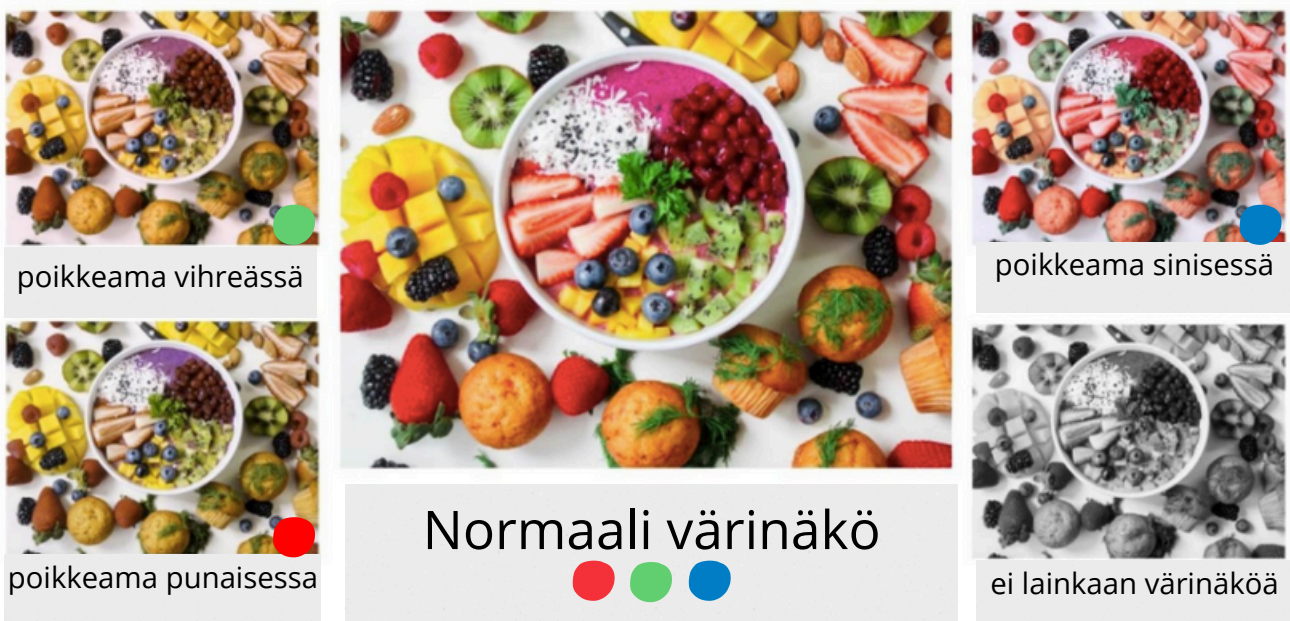
KUVA 3. Värinäön poikkeamat suhteessa normaalinäköön (ks. tarkemmin colorjack.com/labs/colormatrix). Taulukon oikean reunan esiintyvyyss prosenttien osalta lähteenä on käytetty Gegenfurtner ja Sharpe 1999, 28).

Poikkeamat on kuvassa 3. esitetty esiintyvyyden mukaisessa yleisyysjärjestyksessä Euroopassa. Gegenfurtnerin ja Sharpen (1999) mukaan esiintyvyyssluvuissa on jonkin verran eroa verrattaessa eri maanosissa tehtyjä tutkimuksia, mikä selittyy osittain erilaisista kriteereistä. Myös määrittelyt poikkeavat toisistaan eri maissa. Joissain maissa voidaan esimerkiksi sallia normaaliin värinäkökykyyn sisältyväksi enemmän virheellisiä havaintoja väritesteissä.

On hyvä muistaa, että jos jonkin tappiryhmän pigmentit eivät toimi, niin muutos vaikuttaa henkilön värien havainnointiin kokonaisuutena, ei vain kyseessä olevalla alueella.

POIKKEAVAT VÄRIHAVAINNOT

Seuraavassa kuvassa 4 on havainnollistettu sitä, miten värimaailmat poikkeavat toisistaan ja miltä arkielämän tilanteet näyttävät silloin, kun värinäössä on aiemmin esiteltyjä poikkeamia. Lähteenä on erään värinkorjauslasien valmistaja Pilestonen sivusto. Voit käydä halutessasi tekemässä oman värinäkötestisi [Pilestone Color Blind Test -sivulla](#).



KUVA 4. Tältä kuvassa 3. esitellyt poikkeavuudet näyttävät arkielämän tilanteessa (pilestone.com)

Värinäkökykyyn liittyvät puutteet voivat johtua myös jostain sairaudesta, jota voidaan mahdollisesti hoitaa. Tällaisia ovat esimerkiksi eräät silmäsairaudet, kuten glaukooma, eräät aivo- tai hermostosairaudet kuten Alzheimer ja MS-tauti sekä traumaperäiset silmä- tai aivovauriot. Joillain lääkkeillä on myös todettu vaikutuksia värinäköön. (Ks. esimerkiksi [Causes of Color Blindness | National Eye Institute](#)).

On hyvä huomata, että tässä artikkelissa on pelkistetty värinäkökykyyn liittyviä asioita. Tappisolujen toimintaan ei ole syvennytty yksityiskohtaisesti eikä käsitelty lainkaan varsinaista aivoissa tapahtuvaa prosessointia. Aivoissa voi myös olla värihavaintoihin vaikuttavia tekijöitä. Erityisesti akromatopsia voi olla joissain tapauksessa aivotoimintaan liittyvä ongelma tappisolujen pigmenttien toimiessa normaalisti.

VÄRINÄKÖKYVYN ERITYISTAPAUKSIA

Värinäkökykyyn liittyy kiinnostavia erityispiirteitä ja erikoistapauksia kuten poikkeuksellinen erottelukyky tai nelivärinäkökyky. Värisokeilla pintarakenteiden tai -kuvioiden erottelukyky voi olla poikkeuksellisen tarkka, minkä vuoksi esimerkiksi taisteluissa tai sodankäynnissä usein hyödynnetyt naamiointivärit (camouflage) eivät toimi näiden henkilöiden kohdalla halutulla tavalla. Tällaiset erikoistapaukset tai erikoiskyvyn omaavat henkilöt ovat naamio- tai khakisävyisten värien havainnoinnissa paljon etevämpiä kuin normaalilla värinäkökyvyllä varustetut. Ilmeisesti toisessa maailmansodassa tätä kyvykkyyttä hyödynnettiin vihollisten havainnoinnissa. Yhtenä esimerkkinä on tuotu esiin saaren rantaan sijoitetun ja hyvin peitetyn japanilaisen sotaluoksen havaitseminen muodon perusteella tilanteessa, jossa yksikään normaalin värinäkökyvyn omaava ei sitä pystynyt havaitsemaan. (Morgan, Adam ja Mollon1992; Kleeman 2006.)



Värinäkökyvyn puutteiden kaltaiset poikkeamat perimässä yleensä häviävät ihmiskunnasta pitkän ajan kuluessa, mikäli niistä ei ole mitään etua. Ilmeisesti edellä mainittu erikoiskyky on siis kompensoinut riittävän hyvin huonompaa värinäkökykyä ja on voinut jo muinaisina aikoina olla tärkeä osa selviytymistä esimerkiksi tiettyjen saaliseläinten havaitsemisessa metsästyksessä.

Nelivärinäkökyvystä puhutaan silloin, kun värisokeutta kantavan naisen X-kromosomeista toinen on terve ja toinen muuntunut. Tappisoluja voikin olla neljänlaisia. Tämä voi aiheuttaa tilanteen, jossa henkilölle kehittyy kolmen erilaisen tappisolun trikromaattisen värinäkökyvyn sijasta tetrakromaattinen nelivärinäkö. Tätä ominaisuutta on mahdollista hyödyntää, kun aivot sopeutuvat tehokkaasti tilanteeseen. Viime vuosina tetrakromaattisen värinäön omaavia naisia on löydetty testeissä, ja tällaisten tapausten osuuden arvellaankin olevan koko populaatiossa huomattavasti aiemmin oletettua korkeampi. (Ks. esim. [Human Tetrachromacy is Real. Here's What We Know - ExtremeTech.](#))

Se, että vasta nykypäivänä ollaan havahduttu tähän ilmiöön, johtuu asian tutkimisen hankaluudesta. Värinäköä voidaan testata eri tavoin, mutta vain näytteen ottaminen tappisolusta on tuonut yksiselitteisempää tietoa asiasta. Ymmärrettävästi näytteen ottaminen verkkokalvolta ei ole aivan vaivaton eikä riskitön toimenpide. On kuitenkin tapauksia, joista on tietoa saatavilla esimerkiksi Internetin kautta. Yksi tällainen on kuvataiteilija Concetta Antico, jolla on testatusti nelivärinäkö (ks. esim. [Concetta Antico](#)). Hän on hyödyntänyt töissään poikkeuksellisen tarkkaa värinäköään. Hänen lapsensa on kuitenkin perinyt värisokeuden aiheuttavat geenit.



II VÄRINÄKÖKYKYYN VAIKUTTAMINEN

VÄRINÄKÖKYKYYN VAIKUTTAMISEN LÄHTÖKOHDAT

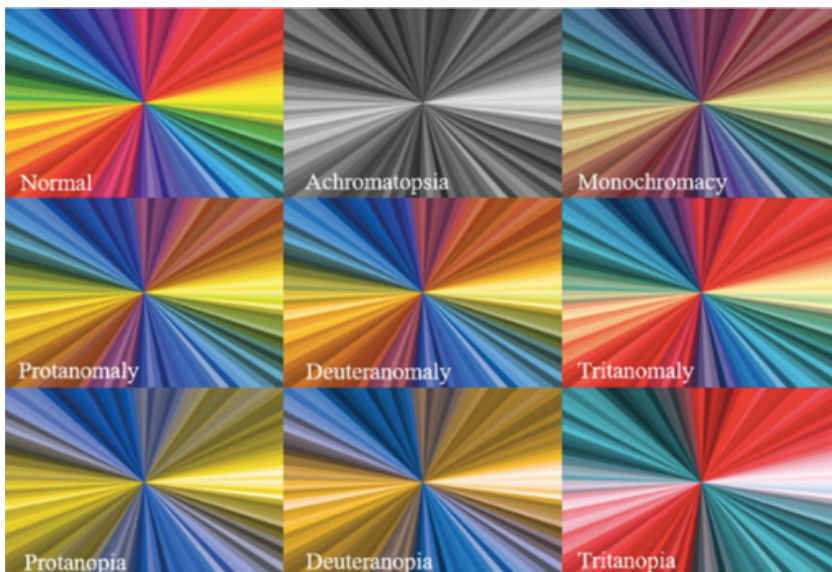
Vaikka värinäön poikkeamia ei voida varsinaisesti parantaa, värinäkökykyyn voidaan vaikuttaa erilaisin apuvälinein ja teknologioin. Värinäkökykyä parantavien silmälasien osalta lähtötilanne ei ole kuitenkaan yksiselitteinen ja helppo. Värinäkökykyä ei nimittäin pystytä mittaamaan suoraan, vaan sitä tutkitaan erilaisten epäsuorien havaintojen kautta, kuten värillisten testilappujen tai tutkimustilannetta varten tehtyjen taulujen tarkastelun avulla. Vaikka Internetistä löytyy erilaisia värinäkökyvyn testejä, niiden käyttöön liittyy pulmia. Käytännössä on mahdotonta vakiodia testin tekemiseen liittyviä olosuhteita, esimerkiksi tilaa tai valaistusta. Myöskään älypuhelimien tai tietokoneen näytöt eivät ole niin hyvin kalibroituja, että testin tulos olisi riippumaton välineestä, jolla se tehdään. Siksi näitä mobiilisti tai tietokoneella tehtäviä testejä ei voida pitää kovin luotettavina.

Poikkeava värinäkökyky on usein seurausta siitä, että tappisolujen maksimivaste (aallonpituuden suhteen) on siirtynyt normaalista johonkin suuntaan.

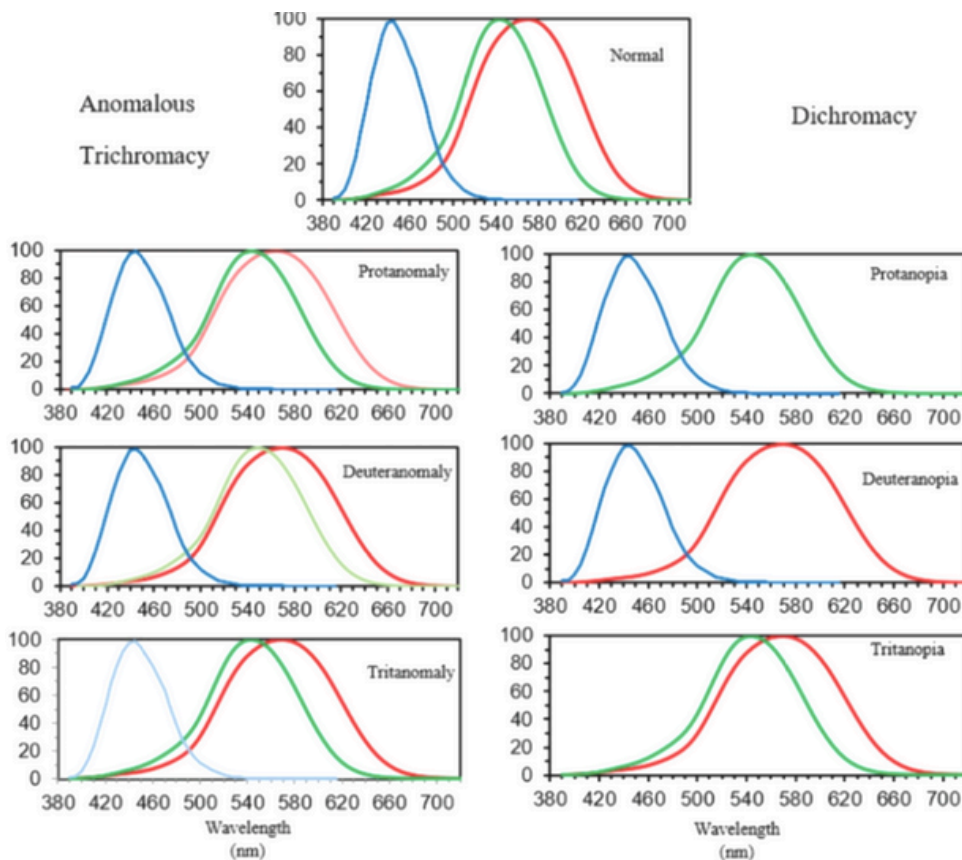
Erytisesti näin tapahtuu, kun vihreän ja punaisen värin aistimusten maksimit ovat siirtyneet lähemmäksi toisiaan. Tällöin niiden kattamat aallonpituusalueet peittävät toisiaan enemmän (overlapping), ja tämä johtaa huonompaan värierotteluun.

Värilaseilla pyritään eri tavoilla muuttamaan tilannetta niin, että haitallista päällekkäisyyden vaikutusta pystytään vähentämään.

Advanced Materials Technologies -julkaisussa ilmestyneessä tutkimusartikkelissaan Salih et al. (2020) ovat kuvanneet kattavasti eri menetelmiä, apuvälineitä ja teknologioita, joilla nykypäivänä voidaan pyrkiä vähentämään poikkeamasta aiheutuvaa haittaa.



KUVA 5. Värinäkökyvyn poikkeamat Salih et al. 2020, 4 mukaan (vrt. kuva 3). Vasemmalta lukien ylärivissä normaali näköhavainto, akromatopsia (ei värinäköä), monokromaattisuus (yksivärisyys) ja keskivälissä poikkeavat värinäöt protanomalia (punainen), deuteranomalia (vihreä), tritanomalia (sininen) sekä alarivissä toimimattomat pigmentit protanopia (punainen), deuteranopia (vihreä), tritanopia (sininen).



Kuva 6. Heikon värinäkökyvyn omaavien henkilöiden värien havainnointi eli spektraalinen vaste eri aallonpituuksille. Kuvassa ylhäällä on normaali värinäkökyky (vrt. kuva 1). Oikealla puolella on dikromaattisten (kaksivärinäkö) henkilöiden tilanne. Kuten huomataan, siinä vain puuttuu yksi käyrä (järjestyksessä punainen, vihreä, sininen). Vasemmalla puolella on poikkeamat samoin punaisen, vihreän ja sinisen suhteen. Ylimmässä kuvassa vasemmalla punaisen herkkyys on siirtynyt lähemmäs vihreää (ja ehkä heikentynyt), keskimmaisessä kuvassa vihreän herkkyys lähemmäs punaista (ja ehkä heikentynyt). Alimmassa kuvassa sinisen herkkyys on heikentynyt, mutta käyrä on muodoltaan sama kuin normaalinäkössä. Käyrät antavat lähtökohdan siihen, miten erilaisia kuvia voidaan esittää heikon värinäkökyvyn omaavan silmin, ts. miten he näkevät värit vrt. kuvat 4 ja 5. (Kuvälähde: Salih et al 2020, 4.)

Kuva 6 havainnollistaa hyvin tappisolujen toimimattomien pigmenttien vaikutusta oikeanpuoleisissa käyrästöissä: ylhäältä alaspäin puuttuu punainen, vihreä, sininen havainto. Poikkeamat on vaikeampi havainnollistaa käyrien avulla (ks. vasemman puolen käyrät). Periaatteessa protanomaliassa punaisten tappisolujen herkkyys siirtyy kohti lyhyempiä aallonpituuksia ja deuteranomaliassa taas vihreiden tappisolujen herkkyys siirtyy kohti pidempiä aallonpituuksia. Sen vuoksi silmän verkkokalvolle kohdistuva valo, joka on päällekkäisellä aallonpituusalueella, aktivoi molempia tappisoluja samanaikaisesti. Kuvassa tämä näkyy niin, että käyrät ovat hyvin lähellä toisiaan vasemmalle laskevalla osuudella.

SILMÄLASIT JA PIILOLINSSIT

Tässä artikkelissa on haluttu esitellä erilaisia, markkinoilla jo olevia värinäkökyvyn parantamiseen tarkoitettuja silmälasia ja piilolinssiejä. Koska korjaamisen periaatteita ei avata eri valmistajien sivustoilla kovin selvästi, koosteessa pystytään antamaan vain se tieto, jonka valmistaja on halunnut tarjota. Useimmat yritykset kuitenkin toteavat sivuillaan sen tosiasian, että silmälasit ja piilolinssit eivät korjaa värinäkökykyä, eivätkä siten auta, jos vaikkapa yhdessä tappisoluryhmässä pigmentit eivät toimi.

Erilaisissa tutkimuksissa on pienillä otoksilla testattu sitä, miten erilaiset silmälasit auttavat värien näkemisessä. Esimerkiksi Metropolian optometrian tutkinto-ohjelmassa on tehty aiheesta opinnäytetyö otsikolla ”Linseillä väriä elämään: tutkimus linseistä punaviherheikkouden avuksi” (Buller ja Salo 2016). Sen mukaan silmälasit ovat edistäneet osalla henkilöistä värinäkökykyä, ja heistä osalla tulokset testeissä ovat parantuneet merkittävästi. Tällä hetkellä mitään yksiselitteistä ratkaisua ei kuitenkaan vielä ole, vaan värinäköheikkouksista kärsivän henkilön pitää testata erilaisia lasia ja niiden vaikutuksia. Värinäköä korjaavien lasien toimittajista useat tarjoavat sivuillaan myös testejä värinäkökyvyn testaamiseen.



Seuraavaan kappaleeseen on pyritty kokoamaan tietoa keskeisimmistä värinäkökykyä parantavista silmälasiratkaisuista ja niiden tarjoajista. Artikkelin lopussa olevaan liitteeseen on pyritty kokoamaan kattavampi lista värinäköläisen isoimmista valmistajista, jotta eri vaihtoehtoja voi vertailla (katso esim. [Color Blind Glasses Market Global Industry Share, Size, Revenue](#)). Kaikkien listassa mainittujen yritysten sivustot eivät kuitenkaan kerro tarkemmin tapaa, jolla ne silmälasinsa toteuttavat. Yritykset ovat myös usein patentoineet ratkaisujaan. Valitettavasti patentit on yleensä laadittu niin, ettei niistä yhdellä lukemisella selviä, miten yritys on lasit tarkalleen toteuttanut.



ENCHROMA (USA)

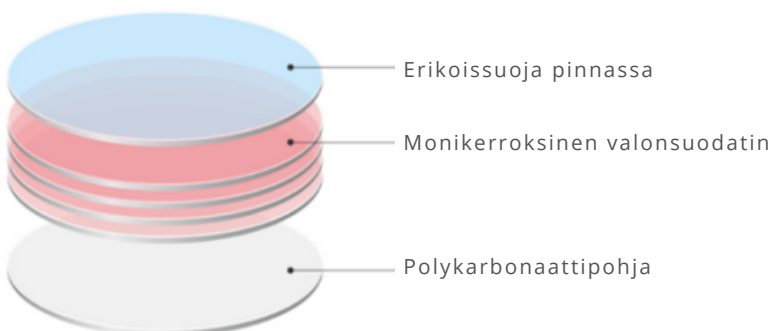
EnChroman silmälasit käyttävät suodatinta leikkaamaan päällekkäisiä aallonpituuksia. Näin voidaan sallia selvempi erottelu värien, erityisesti punaisen ja vihreän välillä. Valmistajan sivuilla todetaan selkeästi, että deuteranopiaan ja protanopiaan lasit eivät auta. EnChroman sivustolla [How EnChroma Glasses Work](#) on havainnollistettu lasien toimintaa, ja sieltä löytyy myös havainnollistava, joskin hyvin pelkistetty grafiikka lasien toimintaperiaatteesta, ([Katso grafiikka internet-sivuilta.](#))

EnChroma tarjoaa laajan valikoiman laseja. Ne on periaatteessa jaettu kahteen kategoriaan: deutan- (vihreä) ja protan-lasit (punainen), ja molemmissa kategorioissa on useita erihintaisia vaihtoehtoja. Vaihtoehtoja on myös lapsille viidestä ikävuodesta alkaen. Lisäksi lasivalikoima on jaettu kahteen luokkaan, sisällä ja ulkona käytettäviin. Tutustu EnChroman patenttihakemukseen: [US5369453A - Method and eyeglasses for rectifying color blindness - Google Patents.](#)

COLORDROP (SAKSA)

Myös Colordrop käyttää suodatinteknologiaa, jotta aivojen oikeanlaisia väriaistimuksia voitaisiin tukea. Lasit auttavat erityisesti punaviheralueen heikkouteen. Valmistajan mukaan silmälasien säännöllinen ja mahdollisimman runsas käyttö edistää vähitellen sitä, että värinäkökyky niiden kanssa kehittyy.

Colordrop-linssin rakennetta on havainnollistettu kuvassa 7 esitetyn mallin mukaisesti. Linssissä on erikoissuoja pinnassa ja sen alla useampikerroksinen valonsuodatin, jolla rajoitetaan läpikulkevia aallonpituuksia. Lopuksi linssin alimmaisena on polykarbonaattikerros.



KUVA 7. Colordrop-linssin rakenne (Ks. colordrop.de/fi).

Myös Colordropilla on lapsille tarkoitettu malli sekä valikoimaa ulkona käytettäville erikoislaseille.



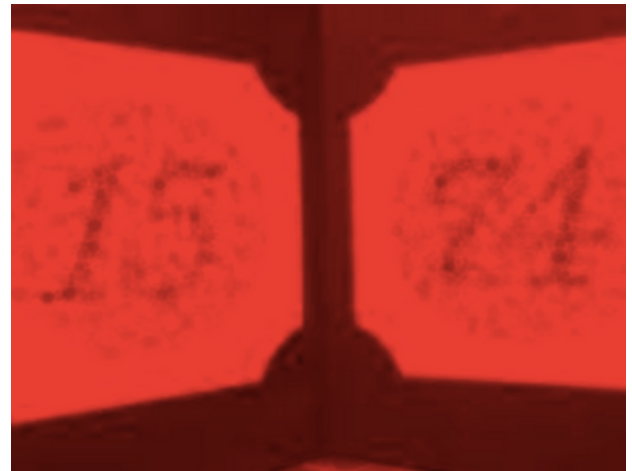
X-CHROM-PIILOLASIT (USA)

X-Chromen ajatus on hieman erilainen kuin muilla toimijoilla. Se tarjoaa punaista piilolinssiä, jota käytetään vain toisessa silmässä. Ajatuksena on se, että aivot saavat kuvan muodostamista varten kaksi erilaista kuvaa, toinen on silmän antama korjaamaton kuva ja punaisen linssin läpi nähtävä muunneltu kuva. Lopullinen kuva muodostuu aivoissa, joiden mukautuvuuteen idea perustuu.

Punainen suodattava kontaktilinssi toisessa, yleensä ei-hallitsevassa silmässä (useimmiten oikeakätisillä vasen silmä) antaa kuvan kaltaisen havainnon. Näin henkilö saa ylimääräisen havainnon siitä, miltä kuvion pitäisi näyttää (vrt. kuvat 8a ja 8b).



KUVA 8a. Värinäköä testaavat kuviot sellaisena kuin normaalinäköinen ne havaitsee (Kualähde: Chou 2020.)



KUVA 8b. Kuviot punaisen suodattimen läpi katsottuna (Kualähde: Chou 2020.)

Henkilö, jolla on vakava värinäköön liittyvä puute, ei näe kuvassa 8a kummastakaan kentästä numeroita, mutta punaisen linssin läpi ne näkyvät kohtuullisen selvästi, kuten kuvasta 8b huomataan.

On tärkeää ymmärtää, ettei X-Chrom-kontaktilinssi paranna värien havainnointia. Se ei auta näkemään värejä normaalin värinäkökyvyn omaavan henkilön tavoin. Se vain antaa rinnakkaisen tulkinnan kuvasta: mahdollisuuden havainnoida värejä eri tavalla kuin ilman linssiä. Onko tulos parempi vain huonompi, se riippuu henkilökohtaisista mieltymyksistä.



OPTOELEKTRONISET LASIT JA TEKNISET LAITTEET VÄRINÄKÖKYVYN KORJAAMISESSA

Nykypäivänä älylasit ovat myös vaihtoehto värinäkökyvyn korjaamiseen. Google Glass -sovellus Omnicolor vuodelta 2013 oli yksi ensimmäisiä prototyyppejä. Laseissa on prosessori, kamera, mikrofoni, näyttöyksikkö ja kosketuslevy, ja aallonpituuksien päällekkäishavainnot (tai sekaannusta aiheuttavat havainnot) siirretään ohjelmallisesti vastaamaan mahdollisimman pitkälle normaalinäön käyrästä. Värinäkökyvyn korjauksessa käytetään tekniikkaa, joka yrittää säätää värejä sellaisella tavalla, että värisokea henkilö näkee vähemmän sekaannusta aiheuttavia väriyhdistelmiä. Menetelmää kutsutaan nimellä *daltonisation*. Optoelektronisten lasien korkea hinta on rajannut niiden yleistymistä. (Ks. lisää Tanuwidjaja et al. 2014.). Google Glassin pohjalta on edelleen kehitetty Chroma-järjestelmä. Chroma mukauttaa näkymän automaattisesti tietyn värinäkökyvyn puutteen kompensoimiseksi käyttäen soveltuvia algoritmeja. Muita tunnettuja valmistajia älylasien alalla ovat esimerkiksi Epson/Moverio ja Recon/Jet Black (Lausegger 2016, 43–47).

Myös erilaisia sovelluksia on ryhdytty kehittämään. Elektroniikka-alan opinnäytetyössään vuodelta 2013 Ville Virta on kartoittanut silloisia lääketieteellisiä sovelluksia. Hänen mukaansa esimerkiksi DanKam on sovellus, joka auttaa epätarkasti värisävyt näkeviä ihmisiä näkemään paremmin. Sovelluksen tarkoituksena on muokata väriavaruutta niin, että värisävyt erottuisivat paremmin heikon värinäön omaaville.

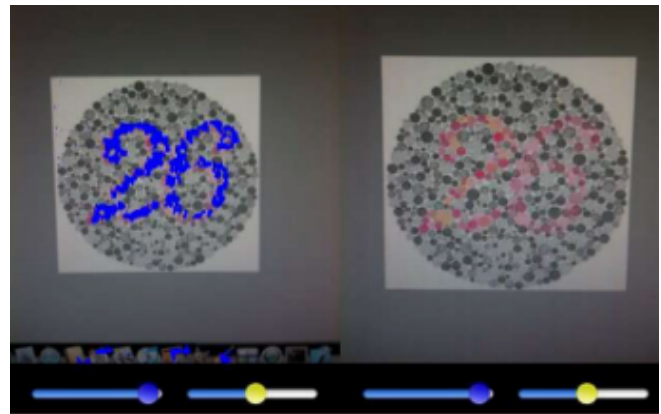


Keskeisenä ajatuksena DanKamissa on, että mobiililaitteen kamera kuvaa ympäristöä ja sovellus muuttaa videokuvan värejä kevyesti niin, että ne ovat sellaisen spektrin alueella, jonka värISOkeat voivat nähdä. Sovelluksen käyttäjä voi myös säätää spektriä ja asetuksia, koska kaikki värISOkeat eivät havaitse asioita keskenään samalla tavalla. Kuvassa 9. vasemmalla on niin kutsuttu Ishiharän testilevy. Normaalin näkökyvyn tilanteessa ihmiset näkevät siihen liitetyt numerot. Oikeanpuoleisessa kuvassa on DanKam-sovelluksen tuottama vastaava kuva, jonka numerot värISOkeat näkevät.



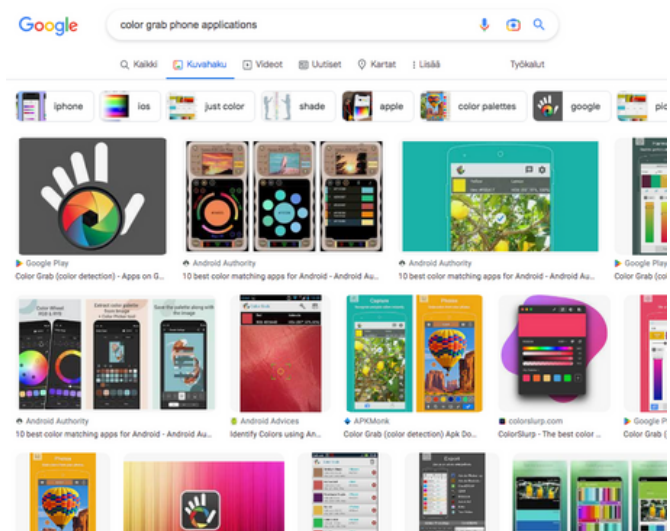
KUVA 9. Ishiharän testilevy ja DanKam-sovelluksen tuottama vastaava kuva

Toinen vastaavanlainen sovellus on puna-vihersokeille suunniteltu Color Blind Aid 1.1. Se perustuu algoritmiin, joka muuttaa punaiset objektit sinisen väriseksi ja vihreät objektit keltaisen väriseksi. Puna-vihersokea henkilö voi siis kuvata ympäristöään ja nähdä esimerkiksi eri hedelmien kypsyysasteet kaupassa mobiililaitteensa ruudulta.



KUVA 10. Ishiharän testilevy on tässä kuvassa oikealla ja vasemmalla Color Blind Aid 1.1. -sovelluksen tuottama kuva.

Myös muita matkapuhelinsovelluksia on kehitetty. Esimerkiksi Colorblindguide-sivusto suosittelee tällä hetkellä Color Grab ja Color Picker - Color Detector -sovelluksia. Näissä joko otetaan kuva ja osoitetaan sormella kuvassa olevaa kohdetta tai sitten sovellus avaa kameran ja kännykkää käännetään kohti kohdetta (Color Grab). Sovellus kertoo sanallisesti, minkä värinen kohde on. Sovellukset ovat saatavissa normaaleista sovelluskaupoista.

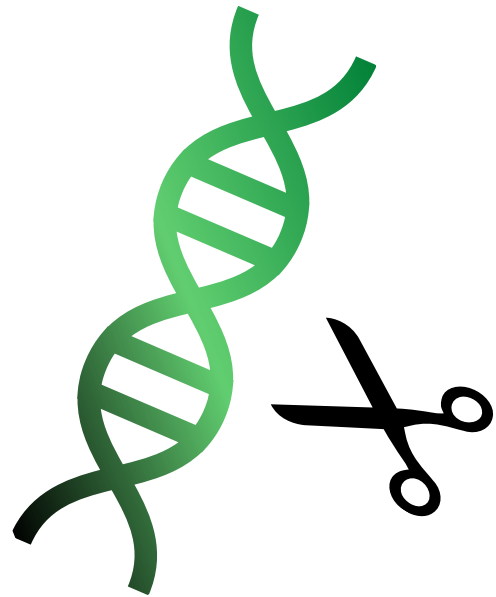


KUVA 11. Erilaisia matkapuhelinsovelluksia on saatavilla. Kuvassa näkyy Google-kuvahaun tuloksia (ruutukaappaus).

GEENITERAPIA

Geeniterapia on uusi lähestymistapa väri-
näkökyvyn korjaamiseen. Sen lähtökohtana
on se fysiologinen seikka, että akromatopsia-
tapauksissa silmän verkkokalvolla kyllä on
tappisoluja, mutta niiden mutatoituminen
estää niitä lähettämästä aivoihin signaaleja.
Kokeelliset tutkimukset ja kliiniset testit ovat
osoittaneet terapiamenetelmien paranta-
neen tappisolujen toiminnallisuutta. Tämä
on pystytty osoittamaan myös objektiivisessa
ERG-mittauksessa (elektro-retinagrafia),
jossa tutkitaan sähköisesti silmän verkko-
kalvoa. (Moussawi et al. 2021.) Uusin
tutkimus (Farahbakhsh et al. 2022) viittaa
siihen, että geeniterapia aktivoi tehokkaasti
"uinuvia viestiyhteyksiä" verkkokalvon ja
aivojen välillä erityisesti nuorten ja lasten
kohdalla. Tämä johtuu heidän vielä kehitys-
vaiheessa olevien aivojensa plastisuudesta.

Aivan viime aikoina lääketieteilijät ovat
käyttäneet CRISPR-geeniteknologiaa ihmis-
silmän DNA:n muokkaamiseen (Carey 2021).
Geeniterapiaa voidaan täten pitää lupaavana
uutena lääketieteellisenä tapana hoitaa
näkökykyyn liittyviä heikkouksia, erityisesti
akromatopsiaa.



LÄHTEET

KIRJALLISUUS

Ashe, Tom 2014. *Color Management & Quality Output*.

Carey, Theresa 2021. "CRISPR partially restores vision in colorblind people." Freethink, Oct 7. <https://www.freethink.com/health/crispr-partially-restores-vision-in-colorblind-people>

Chou, Brian 2020. X-Chrom Contact Lens for Color Vision Problems. <https://revisionoptometry.com/blog/x-chrom-contact-lens-for-color-blindness/>

Farahbakhsh, Mahtab, Elaine J. Anderson, Roni O. Maimon-Mor, Andy Rider, John A. Greenwood, Nashila Hirji, Serena Zaman, Pete R. Jones, D. Samuel Schwarzkopf, Geraint Rees, Michel Michaelides ja Tessa M. Dekker 2022. "A demonstration of cone function plasticity after gene therapy in achromatopsia." *Brain*, awac226, August 24. <https://doi.org/10.1093/brain/awac226>

Gegenfurtner, Karl R. ja Lindsay T. Sharpe 1999. *Color Vision: From Genes to Perception*. Cambridge University Press.

Kleeman, Elise 2006. "In Combat, Stick With the Color-Blind". *Discover* 3.3. Ks. <https://www.discovermagazine.com/mind/in-combat-stick-with-the-color-blind>.

von Kreis, Johannes 1897. "Über Farbensysteme." *Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane* 13: 241–324.

Lausegger, Georg 2016. OmniColor - Google Glass app for colorblind individuals and people with impaired vision. Master's Thesis, Graz University of Technology.

Morgan, Michael J., Avshalom Adam ja John D. Mollon 1992. Dichromats Detect Clour-Camouflaged Objects that are not Detected by Trichromats. *Proceeding: Biological Science*, Volume 248, Issue 1323.

Moussawi, Zeinab El, Marguerita Boueiri ja Christiane Al-Haddad 2021. "Gene therapy in color vision deficiency: a review." *Int Ophthalmol* 41(5),1917–1927. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10792-021-01717-0>.

Punnett, Reginald Crundall 1905. *Mendelism*. Cambridge: Bowes and Bowes.

Saarelma, Osmo 2021: VärISOKEUS ja poikkeava värinäkö. Duodecim Terveyskirjasto. Ks. <https://www.terveyskirjasto.fi/dlk00347>

Salih, Ahmed E., Mohamed Elsherif, Murad Ali, Nader Vahdati, Ali K. Yetisen ja Haider Butt 2020. "Ophthalmic Wearable Devices for Color Blindness Management". *Advanced Material Technologies*, Vol.5, Issue 8. Ks. <https://doi.org/10.1002/admt.201901134>.

Stockman, Andrew, Donald I. A. MacLeod ja Nancy E. Johnson 1993. "Spectral sensitivities of the human cones." *Journal of the Optical Society of America A*, Vol. 10. 2491–2521, ks. <http://psy.ucsd.edu/~dmacleod/publications/61StockmanMacLeodJohnson1993.pdf>.

Tanuwidjaja, Enrico, Derek Huynh, Kirsten Koa, Calvin Nguyen, Churen Shao, Patrick Torbett, Colleen Emmenegger, Nadir Weibel 2014. "Chroma: a wearable augmented-reality solution for color blindness." *UbiComp '14: Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing* September 2014 Pages 799–810. <https://doi.org/10.1145/2632048.2632091>

Virta, Ville 2013. Augmentoidun todellisuuden lääketieteelliset sovellukset. Opinnäytetyö, Metropolia Ammattikorkeakoulu, elektroniikan tutkinto-ohjelma. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/63173/Virta_Ville.pdf?sequence=1&isAllowed=y

INTERNET-LÄHTEET

<https://www.extremetech.com/extreme/331169-human-tetrachromacy-is-real-heres-what-we-know>

<https://www.colorblindguide.com/>

<https://www.color-blindness.com/>

<https://www.nei.nih.gov/learn-about-eye-health/eye-conditions-and-diseases/color-blindness/causes-color-blindness>

<http://www.orpha.net>

<https://www.painovoimaa.metropolia.fi>

<https://www.technologyreview.com/2016/06/27/159088/how-enchromas-glasses-correct-color-blindness/>

https://en.wikipedia.org/wiki/Color_blindness

YRITYSTEN VERKKOSIVUJA

<https://www.adventureincolors.com/> (X-chrom piilolasit)

<https://www.colordrop.de/fi>

<https://www.colormax.org/>

<https://www.coloron.eu/>

<http://www.enchroma.com> (<https://patents.google.com/patent/US5369453A/en>)

<http://www.pilestone.com>

<https://www.pilestone.com/pages/normal-vision>

<http://www.vino.vi>

<https://www.amazon.com/STBJ-Red-Green-Blindness-Disorder-Halfframe/dp/B07VHJ6YRH>
(Huom! STBJ, SHANTOU S.E.Z. BAOJIE INDUSTRY CO., LTD. myy sekä Amazonissa että Alibabassa, joiden kautta saa lisätietoa laseista. Yrityksellä ei ole omia englanninkielisiä sivuja)

KUVAT

Julkaisun kuvituskuvat on muokattu Canvan ja Pixabayn ilmaiskuvista. Muiden kuvien lähteet merkitty kuvien yhteyteen.

LIITE

MUITA TOIMIJOITA VÄRINÄKÖKYKYÄ PARANTAVIEN SILMÄLASIEN JA PIILOLINSSIEN MARKKINOILLA OVAT ESIMERKIKSI

| Toimija | Verkko-osoite |
|--|--|
| Vino (USA, vi = Neitsytsaaret) VINO Optics | vino.vi |
| Pilestone (USA) | pilestone.com |
| Colormax (USA) (Colormaxilla on sekä värinäkölaseja että piilolinsejä) | colormax.org |
| Coloron (Unkari, Saksa) | coloron.eu/products |
| Colorlite (USA, Unkari) (Colorliten sivuilla on mielenkiintoinen mosaiikkiväritesti. Testi on kehitetty City University of London yliopiston optometrian osastolla) | colorliten.com/ |
| STBJ (Kiina) (Linssirakenne on samanlainen kuin Colodropilla. Tällä kuten joillain muillakin valmistajilla näyttäisi olevan tavoitteena, että henkilön värinäkökyky paranisi sen verran, että henkilö "läpäisisi" normaalin värinäkökykytestin) | |



PAINOVOIMAA.METROPOLIA.FI

