

Lys og fargelære

Asbjørn Jokstad.

Mars 1995.

Spesialutdannelse i protetikk og bittfunksjon

Optikk og farger, kort historikk

Visuell persepsjon av form og farge

Hva er lys

Lyskilder

- Lyskilde- og gjenstandsfarge

- Fluorescens

- Belysning i klinikken

- Metamerisme

Lys og interaksjoner i øyet

- Fargeblindhet

Lys og interaksjoner i materie

1. Lysspredning

- Brytning (refraksjon)

- Refleksjon

2. Absorpsjon

3. Transmisjon

Interaksjon mellom lys og tann

Interaksjon mellom lys og dentale materialer

- Fargeskalaer

Målinger av farge (kolorimetri)

- Spektrofotometri

- Tristimulus-kolorimetri

- Sammenlikningsmålinger

Uttak av farge, fargevalg

Kommunikasjon med tanntekniker

Tannmorfologi

- Misfarginger

Praktiske råd

Optikk og farger, kort historikk

De optiske lover om brytning og refleksjon av lys var kjent i det gamle Grekenland. Praktisk anvendelse av disse teorier kom imidlertid først på 1600 tallet etter studier av araberer **Ibn Alhazar** og **Pierre de Fermat** (1601-1665) i Frankrike. **Isaac Newton** (1642-1727) postulerte at lys besto av små partikler, s.k. korpuskler. Korpuskelteorien kan forklare optiske fenomener som lysrefleksjon og lysbrytning. Omtrent samtidig postulerte imidlertid **Christiaan Huygens** (1629-1695) at lys besto av "bølger" som inngikk i et "universelt lyseter". Bølge teorien kunne forklare refleksjon og lysbrytning i tillegg til alle bølgefenomener som f.eks interferens, lysbøyning og polarisasjon. Utover på 1800 tallet ble flere optiske prinsipper studert for å klarlegge lysets natur. Etterhvert økte bølge teoriens popularitet, særlig etter at **Faraday** i 1845 viste at lyset ble påvirket av elektromagnetisme. Den elektromagnetiske eller s.k. klassiske lysteori ble beskrevet av **Maxwell** i 1860. Helt inn i vårt århundre ble denne lysteorien antatt å være riktig. I dag er oppfatningen at lys vanskelig kan beskrives billedlig. Eksperimenter innen kvantefysikk og relativitetsteori har vist at lys har en dualistisk egenskap. Det vil si at lys kan tolkes både som bølger og som kvanter eller fotoner. I begge tilfeller må lys betraktes som en form for energi.

Lysoptiske fenomener kan deles inn i ulike områder, avhengig av hvilken egenskap man tillegger lys. Lysets rettlinjede gang og fenomener som er forbundet med dette, studeres i den **geometriske optikk**. Eksempler er refleksjon (speiling) og brytning (refraksjon), ved overgang mellom 2 gjennomsiktige medier. Lyset kunne imidlertid også bli definert som elektromagnetiske bølger. I **bølgeoptikken** studeres derfor fenomener som spredning (diffusjon), bøyning (diffraksjon), og interferens (overlagring). I den **fysikalske optikk** studeres vekselvirkningen mellom lys og materie, og fysikalsk optikk har nær relasjon til elektromagnetisme. Fenomener som studeres i fysikalsk optikk er f.eks. emisjon, absorpsjon, og polarisasjon, m. m. Innen **kvanteoptikk** prøver man å kartlegge lysutsendelse og absorpsjon i relasjon til atomstrukturer, samt lysets kvanteegenskaper. Det er bare en selektiv del av det elektromagnetiske spektrum som påvirker øyet, og blir tolket i hjernen som lys. Hvorfor og hvordan akkurat denne delen av det elektromagnetiske spektrum påvirker øyet samt hvordan visuell persepsjon i hjernen oppstår blir studert i **fysiologisk optikk**.

Selv om de optiske prinsipper har vært ukjente, har det innen malerkunsten lenge vært benyttet teknikker hvor blandinger av ulike fargeprodukter har skapt farger og fargeeffekter. **Leonardo da Vinci** (1452-1519) beskrev både det **additive og subtraktive fargesystem**, og demonstrerte at enhver farge kunne dannes fra grunnfargene rød, grønn og blå, samt svart og hvit.

Sammenhengen mellom farge og lys var ikke kjent før Newton fremsatte på grunnlag av eksperimenter to hypoteser om forholdet mellom lys og farger:

*Ved hjelp av et prisme kan en lysstråle fra solen splittes opp i flere fargede lysstråler. Ved hjelp av nok et prisme kan disse samles til en ufarget lysstråle igjen. Hypotese nummer 1 var at: Lys er sammensatt av ulike farger, det vil si et **fargespektrum**. Newton var sterkt opptatt av numerologi, og innen numerologi ble tallet 7 regnet som et begunstiget tall. Det falt Newton derfor naturlig å dele inn fargene i 7 ulike **spektralfarger**. (I dag antas det være 130 nyanser i et spektrum).

*Når blå og røde kuler blir belyst i et blått lys vil kulene bli henholdsvis sterkt blå og svakt blå. - (Tilsvarende røde, men i omvendt styrke, i et rødt lys). Hypotese nummer 2 var at: Alle gjenstander har en "iboende permanent farge". Når en farge fremtrer i et hvitt lys, er det fordi gjenstanden enten reflekterer eller absorberer bestemte farger.

I motsetning til den mekanistiske naturoppfatning identifisert av Newton og Huygens ble det senere fremsatt mer filosofisk baserte hypoteser om sammenheng mellom lys og farger. Sentrale verk var arbeidene av den engelske akvarellmaleren **Moses Harris** og den tyske dikteren og filosof **Johan**

Wolfgang von Goethe. Ved å arrangere de 7 spektralfargene i en sirkel lanserte Harris sitt fargehjul i 1766. Moses Harris hypotese var at enhver farge i fargesirkelen hadde en diametralt plassert farge i sirkelen som ved å adderes vil nøytralisere originalfargen. Fargene ble kalt for **komplementære**. Goethes arbeid, "Zur Farben Lehre" (1810), blir betraktet mer som en kulturfilosofisk oppfatning enn en vitenskapelig dokumentert definisjon av lys og farger. På den andre siden blir Goethes fargelære fortsatt i dag ansett som sentral i opplæringen innen kunst og maleri.

Visuell persepsjon av form og farge

For at vi skal få en oppfatning av omverdenen må det foreligge et stimulus som aktiverer et sansorgan. I tillegg må det finnes en indre struktur som opplevelsen kan passe inn i. Den **visuelle persepsjon** er et resultat av to prosesser:

*Selektiv prosess: øyet og hjernens kapasitet er avgjørende

*Konstruktiv prosess: inntrykkene organiseres og relateres. Eks. tredimensjonal form, overflatestruktur, farge, kontraster, linjer, skygger, osv.

Det er 3 faktorer som betinger en visuell persepsjon, det vil si en bevisst oppfatning, av form og farge på en gjenstand.

***Fysisk faktor:** Den totale og relative andel av de ulike bølgelengder av lyset som treffer øyet påvirker øyets følsomhet i større eller mindre grad.

***Medisinsk faktor:** Øyets følsomhet for elektromagnetiske bølger generelt og eventuelle kombinasjoner av disse varierer fra person til person.

***Psykisk faktor:** Fortolkningen av form og farge er subjektiv. Med trening kan et menneske diskriminere meget små variasjoner. Eksempel er personer som daglig klassifiserer perler eller diamanter.

Det er vanskelig å avgrense faktorene når man skal begrunne hvorfor alle oppfatter form og farg på gjenstander forskjellig.

Persepsjon av form og farge kan sammenliknes med persepsjon av lyd. Også her dreier det seg om sanseintrykk av elektromagnetiske bølgelengder. Persepsjon av lyd er bestemt av:

1. Sammensetningen av ulike bølgelengder i lyden.
2. Ørets evne til å registrere disse bølgelengdene.
3. Fortolkning av lyden, og eventuelt satt i sammenheng med andre lyder.
4. Subjektiv klassifisering i godlyd eller ulyd.

Teorier om persepsjon og fortolkninger av farger har eksistert i mange år. Ikke minst innen kunst og maling benyttes fargeteknikker som har til hensikt å fremkalle emosjonelle assosiasjoner. Goethe snakket om varme og kalde farger, mette farger osv. Fargeestetikk og kunstterminologi faller imidlertid litt utenfor vårt fagfelt (selv om noen kanskje vil være uenig i dette).

Hva er lys ?

Man kan velge å betrakte lys som elektromagnetiske bølger eller som partikler (fotoner). I begge tilfeller er lys ensbetydende med **energi**, og benevnes med eV eller med bølgelengde. Man kan tenke seg at lys består av **fotoner**, eller energibærere. I et **polykromatisk lys** har fotonene forskjellige energinivåer. I et **monokromatisk lys** har alle fotonene samme energinivå. Lys som består av fotoner med forskjellige energinivåer kan splittes i et **(lys)spektrum**, med flere **spektralfarger**.

Lys utvikles fra oppvarmede gasser eller gjenstander, som solen, stjernene, glødetråder, lysrør, osv. Lys reflekteres deretter fra partikler eller gjenstander. Forholdet mellom fotoner med forskjellige energinivå vil variere, avhengig av lyskildens, partiklenes eller gjenstandens sammensetning. Alt lys kan beskrives kvalitativt ved å karakterisere lysets **spektrale energifordeling**.

Lys er energi. Energi forsvinner aldri, men kan overføres fra masse til lys og varme, og omvendt. Når et foton treffer materie oppstår en vekselvirkning i atomenes elektronskall. Vekselvirkningen varierer og er på den ene siden avhengig av materiens kjemiske sammensetning, urenheter og struktur, og på den andre siden av fotonets energi. Lyset som fremkommer etter vekselvirkningen mellom det innfallende lys og materien vil derfor være avhengig av lysets spektrale energifordeling, det vil si lysets sammensetning av ulike bølgelengder eller fotoners energi, og gjenstandens kjemiske sammensetning og struktur.

Lyskilder

Ikke lysende gjenstander, eller svarte legemer, vil ved tilstrekkelig tilførsel av energi avgi noe energi i form av elektromagnetisk bølger, blant annet lys. Den spektrale energifordeling på lyset vil være avhengig av mengden av tilført energi. Ved lite tilført energi blir det avgitt lavenergetiske bølger (røde område). Med økende energitilførsel blir utsendelse mer høyenergetisk (blå område). Fargen på lyset som framkalles ved oppvarming benevnes for fargetemperatur. Denne kan måles og uttrykkes i Kelvin (K). Typiske fargetemperaturer er stearinlys 1000 K, glødelamper 2000-2700 K, fotolamper 3400 K, lysrør 3000-6000 K. Sollysets spektralkurve er konstant og har vanligvis en fargetemperatur rundt 5700-6500 K. Imidlertid vil sollyset gjennom atmosfæren endres i løpet av dagen. Lys i fra klar himmel har en temperatur på opptil 20000 K. Ettermiddagslys har lavere K (rødere). Ved overskyet vær eller tåke har lyset en fargetemperatur lik 7000-8000 K.

Glødelamper har et spektrum tilnærmet lik spekteret fra svarte objekter. I andre lyskilder benyttes gasser som emitterer kun noen få bølgelengder, spesifikt for det stoff som anvendes i lysrøret, vanligvis kvikksølv, neon eller natrium. I lysrør er derfor innsiden av glasset dekket med et stoff som fluoriserer ved bestråling av UV-lys. Våre øyne oppfatter lyset fra disse lyskildene som mer eller mindre likt sollyset, til tross for at **emisjonsspektrene** er noe forskjellige. Et annet moment er at øyets følsomhet varierer. Det er mest følsomt ved gul-grønt lys. Dette utnyttes ved fabrikasjon av lyskilder. Pærer med gul-grønn lysfarge er mest økonomisk, fordi det kan benyttes lavere styrke på lyset. I tillegg til fargen bør lysstyrken (Candela), og lysstrømmen (Lumen) fra ulike lyskilder gi en adekvat belysning (Lux) i klinikken, innen arbeidsområdet og i munnhulens operasjonsfelt. Retningslinjer for optimal bruk av belysning i tannklinikker er beskrevet av ISO (ISO/TC 106/Dentistry/WG 6) og SPRI (Sverige) (SPRI Spec. 551 01 & 18/70).

Lyskilde- og gjenstandsfarver

Lyskildefarver kan systematiseres i det **additive fargesystem**. Fargesystemet er basert på kombinasjoner av lyskildefargene rødt, grønt og blått. Tilsammen gir disse tre lysene hvitt lys, mens ulike kombinasjoner av de tre lysene er basis for alle lyskildefarver.

Sammensetningen av lys fra en gjenstand betegnes **spektralrefleks** eller **gjenstandsfarve**. For gjenstandsfarver benyttes det **subtraktive fargesystem**. De tre primærfargene rød (magenta), gul og blå (cyan) bevirker en reduksjon av lysrefleksjon over hele spekteret, og fremkaller farge på gjenstanden. Tilsammen gir de tre primærfargene en svart overflate.

Fluorescens

En mellomting mellom lyskildefarge og gjenstandsfarge er fluorescensfarger som lysteknisk er selvlysende, men som har gjenstandsfarge-karakter. Uttrykket stammer opprinnelig fra CaF_2 (Flussspat). Fluorescens kan oppstå når materie utsettes for kortbølget lys utenfor det synlige området, det vil si ultraviolett lys. Ofte fremkommer fluorescens når små sporstoffer eller metaller er inkludert i en krystallstruktur, f. eks. Cr, Mg, Co, Ni, Mb. Naturlig forekommende hydroksylapatitter fluoriserer forskjellig. Hydroksylapatitt i de fleste tenner fluoriserer med et hvit-gult eller lyst blått lys. Blåfargen gir en additiv effekt til rødt-gult, og gir dermed tennene et hvitere preg.

Belysning i tannklinikken

Kvantitet, lysstyrke

Klinikklandskapet kan deles i tre områder. Hvert område krever bestemte lysstyrker. De ulike lysstyrkene bør tilpasses til hverandre for å begrense blending og/eller anstrengelse av øynene.

E1:Tannlegekontoret bør være over 500 Lux

E2:Arbeidsområdet over unit og pasientstolen bør være 1000 Lux

E3:Lyset i munnhulen bør være over 8000 Lux. (De aller fleste unitlamper i salg ligger godt over 8000 lux, målt 80 cm fra lampen)

Lyset bør komme rett ovenfra for tannlegen og pasienten. Det er ikke nødvendig å installere lys med høyere lux-verdier i arbeidsområdet med tanke på å lette fargevalg. Lysrør kan anbefales, da disse ikke blander pasienten ved direkte fokusering. Gode alternativer er anten 18 stk x 40 W lyspærer, eller 3x3 120 cm lysrør. Lysrør over pasienten er tilstrekkelig i de fleste klinikker. Lysrørene bør være fargekorrigerte.

Kvalitet

Arbeidslyset må inneholde alle de tilstedeværende farger i tannen for at alle tannens fargekomponenter skal være synlige. For å beskrive denne egenskapen på lyset benyttes den såkalte Color Rendering Index, CRI, målt fra 1 til 100. CRI-tallet viser pærens/lysrørets evne til korrekt å gjengi farger. CRI indeksen i lys i tannklinikken må være på mer enn 90. Eksempler på lysrør i tak som tilfredstiller kravene er Philips TL 47 og Luma Colorette.

Denne indeksverdien kan man ikke oppnå i lyset fra halogenlamper (som er den vanligste lampetypen på uniter). Pærene i operasjonslyset bør gi et lys med en CRI indeks over 70. På den andre siden har disse lampene ofte for høy stråle-energi, slik at det oppstår overflaterrefleks. Fargeuttaket bør utføres indirekte i arbeidslyset og ikke i operasjonslyset.

Lys blir reflektert fra vegger, tak og klinikk møbler. Dersom disse flater har kraftige farger, kan fargevalget påvirkes. Flatene bør derfor være pastelfarget eller hvite. Av samme grunn bør personalets påkledding være nøytralt farget. Servietten rundt pasientens hals bør også være farget nøytral.

Metamerisme

Et materiale vil fremtre med forskjellig farge i forskjellig belysning som en følge av selektiv absorpsjon og refleksjon av ulike deler av spektralfordelingen av innfallende lys. To overflater vil kunne fremtre med identisk farge i en type belysning. I en annen type belysning derimot - hvor spektralfordelingen av lyset er ulik - vil fargene fremtre som forskjellige.

Et mediums optiske egenskaper bestemmes av dets struktur og kjemi. Hvis to medier eller gjenstander har samme farge i en type belysning, men ulike farger i en annen belysning, beskrives disse som et metamerpar. Mediene eller gjenstandene fremtrer med ulik spektralrespons- og

dermed farge -i lys med ulike spektral energi fordeling. Fenomenet betegnes belysningsmetamerisme. Dersom to personer opplever samme farge ulikt, betegnes fenomenet som observatørmeterisme. Også geometrisk metamerisme kan oppstå hvis gjenstanden fremtrer med ulike farger etter fra hvilken vinkel gjenstanden studeres.

Lys og interaksjoner i øyet

I øyet finnes spesialiserte celler som påvirkes av elektromagnetiske bølger innenfor området 380 til 700 nm. Når cellene blir eksitert, sendes signaler til hjernen som tolker dette som lys. Hvis de elektromagnetiske bølgene som når øyet har forskjellige bølgelengder, skjer det en summasjon/subtraksjon av signalene i øyet, det vil si en **spektral respons**, før det modulerte signalet går videre til hjernen og fortolkes som en farge. Med andre ord: **farge er ikke et fysisk objekt eller en egenskap, men et fysiologisk betinget respons i hjernen som en følge av stimuli fra øyet**. Fortolkningen i hjernen vil variere fra person til person, og betegnes som evnen til **fargepersepsjon**. Dersom lyset som treffer øyet har de samme bølgelengdene som solens, vil hjernen oppfatte lyset som ufarget. Dersom bølgelengdene er forskjellige, vil lyset oppfattes som farget. Et unntak er lys med bestemte sammensetninger av ulike bølgelengder, som blir oppfattet som ufarget. Øyet kan med andre ord ikke diskriminere mellom rene spektralfarger og blandingsfarger. **Young** hevdet i 1802 at det fantes 3 kategorier "partikler" i øyet som reagerte på elektromagnetiske bølger tilsvarende områdene for fargene rødt, gult og blått. Senere mente imidlertid **Hering** (1878) at det i øyet bare fantes 2 stoffer som reagerte på elektromagnetiske bølger i henholdsvis det røde og grønne området og det gule og blå området. Hans hypotese var at reaksjonen på de elektromagnetiske bølgene innen de ulike fargeområdene skulle kunne gi en summasjonseffekt til hjernen. Lenge var problemet uløst, til **Rushton** i England og **Marks** i USA oppdaget at det i øyet fantes 3 pigmenter knyttet til tappene i netthinnen. De tre pigmentene reagerte karakteristisk på ulike lyskvaliteter, og har maksimal følsomhet ved spesifikke bølgelengder.

De sensitive delene i øyet kalles staver og tapper. Mennesket har ca. 130 millioner staver, og ca. 7 millioner tapper i øyet. Tappene diskriminerer best farger, og normalt kan menneskeøyet diskriminere spektralfarger som ligger 2 til 4 nm fra hverandre. I den gule flekken finnes bare tapper (ca. 4000). Den gule flekken er derfor meget sensitiv for fargediskriminering. Tapper kan imidlertid ikke reagere i svak belysning, og evnen til å diskriminere mellom farger avtar derfor med lysstyrken. Ved observasjoner i halvmørke sees gjenstander tydeligere hvis øyet fokuserer til siden for selve gjenstanden. Forklaringen er at dermed fokuseres ikke gjenstanden i den gule flekk. Ved å myse kraftig tar stavene over i øyet i stedet for tappene, slik at fargesynet blir borte. Dette blir benyttet ved fargeuttak for å bestemme tenneses gråtone eller lyshet.

Fargeblindhet

Fargeblindhet er oftest medfødt. Hel fargeblindhet er meget sjelden. Partiell fargeblindhet forekommer hos 8% av menn og 0,5% kvinner. Den vanligste formen for fargeblindhet er vanskeligheter med å differensiere rødt og grønt, mens evnen til å diskriminere mellom gult og blått er normal. Av rød-grønn fargeblindhet finnes to typer, hvorav den deutane typen er den mest vanlige (70%). Ved normalt fargesyn befinner det gule området seg fra 575-595 nm.

***Deutan type.** Kan være hel eller delvis. Øyets sensitivitet er forskjøvet (5 nm) mot det røde. Det gule området er utvidet til mellom 520 og 700 nm. Sensitivitet for grønt er redusert, det vil si at denne fargen blir oppfattet som grå.

***Protan type.** Kan være hel eller delvis. Øyets sensitivitet er forskjøvet (15 nm) mot det blå. Det

gule området er utvidet til mellom 500 og 600 nm. Sensitiviteten for dype røde farger er nedsatt. Den blå-grønne del av spekteret blir oppfattet som grå.

Gult og blått framtrer som kraftige farger for begge kategoriene. Imidlertid er det blitt hevdet at rød-grønn fargeblinde har vanskelig for å diskriminere gule farger fra hverandre. Dette fenomenet kan utnyttes ved ulike former for "felt"-tester av fargeblindhet. Eksempler på slike tester er Dvorine pseudo-isochromat test, Igaku-Shoin test, Ishihara fargetest, osv. Mere komplette tester for fargeblindhet er Farnsworth Munsell 100 Hue test eller Nagel anomaloscope.

I en gjennomsnittsbefolkning er 5 til 10% fargeblinde i en eller annen form. Amerikanske undersøkelser har vist at fargeblindhet er like utbredt blant tannleger som i totalbefolkningen. Tannleger som ofte "bommer" på fargen bør derfor få kontrollert sitt fargesyn.

Akkomodasjon

Øyet har en meget god evne til å akkomodere seg slik at to nærmest identiske, men ulike farger kan framtre som like. Hos noen personer skjer dette etter et par sekunder, hos andre tar det opp til 15 sek. Dette har konsekvenser for en optimalisert uttaksprosedyre ved valg av farge.

Lys og interaksjoner i materien

Når lys treffer materien inntre det alltid interaksjoner mellom lyset og materien. Et eller flere fenomener opptrer:

1. Noe lys reflekteres på overflaten
2. Noe lys brytes i de øverste sjikt så mye at det blir reflektert tilbake, dvs en indre refleksjon.
3. Noe lys absorberes
4. Noe lys transmitteres

Summen av innfallende lys er pr definisjon: spredt lys + absorbert lys + transmittert lys.

1. Lysspredning

Ikke-lysende materie blir synlig når molekyler, partikler eller gjenstander forstyrrer lysets gang og sprer lyset. Når dimensjonen på molekylene er mindre enn lysets bølgelengde, anvendes ofte uttrykket **lysbøying**. Graden av **lysspredning** varierer med lysets bølgelengde. Kortbølget lys (blått lys) spres cirka 10 ganger mer enn langbølget lys (rødt lys). Lysspredning er rettlinjert, men kan fortsette inn i materien og til slutt bli absorbert. Det er det spredte lyset, altså det lyset som ikke blir absorbert, som gir materiens dens farge.

Når partiklene er små, fungerer de som små utstrålingssentra, og hver partikkel sender lys i alle retninger. Himmelen fremtrer som blåfarget fordi luftmolekylene i atmosfæren sprer den kortbølgede delen av lyset (blått lys) fra solen mest. (Lyset fra solen kommer tangentialt på jordkulen). Av samme grunn får ofte gjenstander en rødlig tone i dis eller tåke. Etterhvert som solen nærmer seg horisonten blir mer og mer av det spredte langbølgede lyset synlig, og himmelen virker rødere. Dersom det er vandrdåper tilstede (skyer) blir sollyset spredt likt for alle bølgelengder, og man får et hvit/grålig inntrykk av himmelen.

For å oppnå lysspredning i et medium tilsettes koloranter, som enten er fargestoffer eller pigmenter. Fargestoffer er substanser som er oppløst i mediet, mens pigmenter forblir uoppløste. I dentalmaterialer benyttes først og fremst pigmenter, som regel forskjellige metalloksider. Pigmentene er små partikler med optiske egenskaper som er forskjellige fra mediet. Ved å variere antallet, størrelsen eller sammensetningen av pigmenter kan dentalmateriallets optiske egenskaper forandres. Jo større forskjell det er mellom de optiske egenskaper til mediet og til partiklene, jo større blir lysspredningen. Maksimal lysspredning oppnås når antallet pigmenter i mediet er høyt,

samt når partiklene er like store som bølgelengden på lyset. Jo mer opakt et materiale er, jo mer lysspredning skjer i materialet.

Lysspredning er et resultat av de to optiske fenomenene **brytning** og **refleksjon**.

Brytning (refraksjon)

Hvis lys passerer en grenseflate mellom to medier vil noe lys reflekteres, og resten av lyset endre retning dersom lyshastigheten er forskjellig i de to mediene. Lysets hastighet i et medium avhenger av lysets bølgelengde og mediets kjemiske sammensetning. **Brytningsindeksen**, som er synonymt med **refraksjonsindeksen**, er et uttrykk for hvor mye hastigheten blir endret i første og andre medium. Hvis mediene har forskjellige brytningsindekser, vil det oppstå en **lysbrytning** i grenseflaten. Fenomenet kan observeres når en konsentrert lysstråle sendes skrått ned i vann og lysets retning blir endret i forhold til innfallsvinkelen. Den absolutte brytningsindeks, dvs mellom det tomme rom og luft er 1.0003, målt med gult natriumlys. For andre gjennomsiktige medier er brytningsindeksen alltid større enn 1. Diamant har brytningsindeks på 2,48, glass og porselen ca. 1,5, vann 1,33 og sølv 0,18.

Refleksjon

Refleksjon oppstår alltid i grenseflaten mellom to medier hvor lysets hastighet endres, det vil si medier med forskjellig brytningsindekser. På makroskopisk nivå fremtrer to former for refleksjon: **speilrefleksjon (spekulær refleksjon)** og **diffus refleksjon**. En av fysikkens lover sier at lysets utgangsvinkel alltid er den samme som innfallsvinkelen. I praksis ser man at refleksjonen antar en spiss kjegleform ved speilrefleksjon, og en større kjegleform ved diffus refleksjon.

Speilrefleksjon er reflektert lys som ikke har diffundert inn i mediet. Speilrefleksjon opptrer når atomene ligger i samme plan, eller når uregelmessighetene på overflaten er små. **Glans** er speilrefleksjon i en bestemt retning. Mengden reflektert lys er avhengig av lysets innfallsvinkel. Hvis lyset treffer et medium med en innfallsvinkel under en viss størrelse, vil lyset bli totalreflektert. Alle medier reflekterer noe lys i det øverste overflatesjiktet. Graden av refleksjon kan uttrykkes ved **reflektansfaktoren** målt ved 90^0 påfallende lys. En sterkt reflekterende overflate, f. eks. magnesiumoksid, MgO_4 , har reflektansfaktoren 98 %, krystall 10%, glass 4%, vann 2% og grafitt i olje cirka 0,3% reflektans. Speilrefleksjon utviser først og fremst lysets opprinnelige spektrum mer enn et spektrum fra mediet.

Diffus refleksjon beskriver både reflektert lys som kommer fra det indre i mediet, og refleksjon som opptrer når overflaten er ru. Diffus refleksjon utviser overveiende et spektrum fra mediet på grunn av en selektiv spredning og absorpsjon av lyset i mediet.

2. Absorpsjon

Når lys beveger seg gjennom materien vil en del av lysets energi transformeres til annen energi, som f.eks varme. Man sier at lyset blir **absorbent**. Absorpsjonen er selektiv, og er avhengig av lysets bølgelengde og materiens kjemiske sammensetning. Når alt lys absorberes, fremtrer materien som svart, mens ingen absorpsjon er kjennetegnet med hvitt. Avhengig av hvordan et medium kan forandre et spektrum innfallende lys klassifiseres det i henhold til dets **absorptivitet**.

Dersom materien selektivt absorberer noe av lyset, vil eventuelt lys som transmitteres ikke være det samme som reflekteres. Humant tannvev er normalt hvitt, men blir svakt gullig ved gjennomfallende lys fordi organiske komponenter selektivt absorberer lyset med kort bølgelengde (blå lys). Dette fenomenet forekommer også innen gemnologi. For eksempel er opal blålig ved påfallende lys, og oransje ved gjennomfallende lys. Dette kan man også se på dappenglass (av de

eldre typene) som er laget av opal.

3. Transmisjon

Hvis lys kan slippe gjennom et medium, benevnes dette for **transmisjon**. Avhengig av hvor mye lys som kan passere, klassifiseres det som **opakt** eller **transludent**. Transludente materialer slipper gjennom lys, men sprer lyset så mye at man ikke kan se gjennom materialet. Gjennom **transparente** materialer derimot kan man se gjennom materialet. I et opakt materiale vil ikke lys passere. Imidlertid vil alltid lys til en viss grad penetrere opake materialer før det modifieres og reflekteres tilbake som en komponent i det reflekterte lyset. En konsekvens av at det alltid er en viss penetrasjon av lys også i opake materialer er at alle materialer vil være transludente dersom prøven som måles er tynn nok.

Dersom man antar at et medium sprer lyset maksimalt, vil de fleste lysbrytningsprosesser skje i de øverste 0.2 mm når lyset har en bølgelengde lik 500 nm. Applisert til protetikk betyr dette at denne tykkelsen er nødvendig for at metallskjellet i MK kroner skal maskeres fullstendig med en opaker. Et numerisk uttrykk for hvor stor grad et materiale hindrer gjennomfallende lys er **transmittans-koeffisienten** eller materialets **optiske opasitet**.

I likhet med spredning og absorpsjon er transmisjon selektiv for forskjellige bølgelengder av lys. Jo høyere bølgelengder (rødere lys) jo mer translucens. Svært mange transludente materialer blir svakt blålig ved variende belysninger. Dette gjelder også for tenner, som er transludente for rødt lys, men reflekterer blått lys. Dette illuderes på keramkroner ved å antyde et blålig skjær incisalt.

Interaksjon mellom lys og tann

Erstatning av tannvev er forbundet med flere optisk-fysikalske problemer, og ble beskrevet allerede i 1931 av den amerikanske tannlegen **Bruce Clark** i boka "The color problem in dentistry". I tidlige studier ble tannfarge målt på ekstraherte tenner med spektrofotometer. Fargen er imidlertid kun en av faktorene for å reprodusere tannvev optimalt. En like viktig faktor er å bevare eller illudere translucens, samt en optimal morfologisk utforming av restaureringen. Det er først i de senere år at avansert måleutstyr har gjort det mulig å studere mer inngående lysets interaksjoner med tannvev in vivo.

Forme og farge på tennene fremtrer etter kompliserte interaksjoner mellom lys og tannvev. Så å si alle kjente optiske fenomener er tilstede:

* Refleksjon

Overflaterrefleksjon påvirkes av:

Overflate, regularitet og komponenter

Saliva

Overflatens geometrisk fasong

Diffus refleksjon fra dypere komponenter

Pulpastørrelsen, hardvevtykkelse

(varierer med eller uten anestesi /rotfylling)

Krystallene i emaljepriemene og i dentinet

Fargede elementer eller defekter i krystallgitter

* Absorpsjon

Absorpsjon er selektiv

* Translucens

Optisk tetthet varierer mellom hver tann og individuelt

Avhengig av fuktighetsgrad

* Fluorescens

Det er usikkert i hvilken grad de ulike faktorene bidrar til form og farge. Det er også usikkert i hvor stor grad emalje, dentin, pulpa, gingiva eller mucosa isolert sett bidrar til spektralrefleksjonen fra tannen. Per idag er det ikke utviklet et akseptabelt fargemålesystem av tenner. Samtidig er det utført få undersøkelser som har korrelert tannfargedata med demografiske data.

Interaksjon mellom lys og dentale materialer

Et materiale som skal erstatte tannvev må kunne:

- *Bryte, absorbere og transmittere lys på samme måten som tannvev
- *Reprodusere spektralrefleksjonen fra en naturlig tann i størst mulig grad
- *Generere farge på samme måten som naturlige tenner
- *Fluorisere identisk med resttannsettet

Det finnes i dag ingen dentale materialer som oppfyller disse kriteriene. Alle materialer vil derfor utvise metamerisme. Både plastkompositt, glassionomer-sementer og keramer blir innfarget med tilsetning av pigmenter, hovedsakelig metalloksider, som bryter og/eller absorberer lyset og dermed danner farge. Per idag eksisterer det ingen spektrofotometrisk kvalitetskontroll av restaureringsmaterialer. Det er grunn til å anta at forskjellige produksjonspartier fra samme produsent vil utvise forskjellige refleksjonsspektra.

Fargeskalaer

Ingen av dagens kommersielle fargeskalaer tilfredsstillt kravene til et optimalt fargesystem. De fleste er ulogisk oppbygget, og er ikke basert på rasjonell bruk av fargesortering.

Øyet kan rimelig enkelt diskriminere mellom to ulike farger. Øyet kan imidlertid vanskelig vurdere omfanget av avvik. Hvis det benyttes en fargeskala som er logisk oppbygd kan det med fordel benyttes flere nabofarger i skalaen samtidig, for å avgrense eller kvantifisere eventuelle avvik. I dag er det i praksis umulig å kvantifisere eventuelle ønskede modifikasjoner av en farge på bakgrunn av eksisterende fargeskalaer.

Den mest brukte fargeskalaen til fyllingsmaterialer og protetik er etterhvert blitt **Lumin-Vacuum-skalaen** (også kalt Vita-skalaen). I dag brukes denne f.eks til 3M Vitremer, Espe's Ketac-Fil, Vita's Inceram og Kulzer Estilux m.m. Det finnes også en rekke andre fargeskalaer for fyllingsmaterialer, keramer eller protesetenner. Eksempler er Biodent-, Ceramco-, Crystar-, Ivoclar-, Trubyte Bioform-skalaene, osv.

Man må være klar over en del mangler ved dagens fargeskalaer:

1. Alle tenner i munnhulen er rødere og har dermed mer gråtone enn prøvene på de fleste fargeskalaene.
2. Spektrofotometriske og UV-lys målinger har vist at identiske fargeskalaer fra samme leverandør har forskjellige refleksjonsspektre.
3. Fargeskalaer fra ulike leverandører, men som er basert på samme system, har forskjellige refleksjonsspektre.
4. Materialet som blir benyttet i de ulike tannskalaene er sjelden identisk med restaureringsmaterialet. Som regel benyttes glass av ulike slag i skalaene. I tillegg er oppbyggingen av tennene i skalaene ulik de vanlige kliniske metoder for oppbygging av restaureringer. Refleksjonsspektrene fra tennene i tannskalaene blir derfor ikke identisk med sluttproduktet. Problemet gjelder særlig for fargeskalaer som er beregnet for keramarbeid, og som ofte benyttes ved uttak av farge til MK kroner.
5. Ofte trengs opake materialer for å skjule defekter, misfarginger eller metaller. Dette medfører at

det ofte må benyttes unødvendig tykke lag av det translusente materialet for å maskere den opake delen. Det bringes dermed inn en variabel som er vanskelig å kontrollere teknisk. Et annet problem er at svært mange produsenter, av uforståelige grunner, opererer med ulik farge på opakeren og body-keramet.

6. Fargen på metallet i MK kroner vil kunne innvirke på totalresultatet. Edellegeringer er som regel noe lysere enn halvedle legeringer.

Måling av farge (Kolorimetri)

Når en gjenstand blir belyst, kan man tenke seg ulike interaksjoner mellom lyset og gjenstanden. Dersom gjenstanden er svart, har hele lysspekteret blitt absorbert. Dersom gjenstanden er blankt, har hele lysspekteret blitt reflektert på overflaten. Dersom gjenstanden er hvit, har hele lysspekteret blitt spredt. Dersom gjenstanden er grå, har alle deler av lysspekteret blitt like mye absorbert. Dersom gjenstanden er farget, har selektive deler av lysspekteret blitt spredt eller absorbert. Avhengig av anvendelsesområde og krav til presisjon er det blitt lansert og benyttet ulike måter å måle og beskrive denne fargen. Metodene har med varierende hell blitt benyttet for å bestemme fargen på tenner, plastkompositter, sementer og keramer.

Spektrofotometri

Denne målemetoden er den mest presise, men er tidkrevende og dyr. I et lukket kammer blir en prøve belyst med forskjellige monokromatiske lys, med polykromatisk lys, eller med spesielle kombinasjoner av monokromatiske lys. Refleksjonen eller transmisjonen blir målt for hver enkelt bølgelengde. Den totale refleksjon eller transmisjon som funksjon av bølgelengdene blir deretter beregnet. Totalverdien vil være konstant i alle typer belysning.

Dersom prøven er translusent blir målingene gjort mot ulike opake bakgrunnsfarger. Ved hjelp av teoretiske beregninger (Kubelka-Munk beregninger) kan både spredningen og absorpsjonen i prøven beregnes. Inntil nylig kunne spektrofotometri bare bli utført på ekstraherte tenner. Fargeverdiene målt på ekstraherte tenner vil imidlertid vanskelig kunne sammenliknes med tenner in situ på grunn av en rødtoneeffekt fra gingiva, mucosa og pulpa.

Tristimulus-kolorimetri

Denne målemetoden baserer seg på en teori (Young/Maxwell) om at enhver farge kan uttrykkes ved hjelp av 3 grunnfarger. (Så lenge den tredje fargen ikke kan dannes ved blanding av de to andre). Enhver kombinasjon av fargene X, Y og Z vil kunne uttrykke fargetone, fargemetning og gråtone (lyshetsgrad). Alle spektralfarger er blitt fastsatt og tabulert med tristimuliverdier. Fargemålingene er relativt lette og billige. Prøvene blir belyst med lys filtrert gjennom 3 ulike filtre, og refleksjonen blir registrert. Vanligvis benyttes filtre med fargene rød, grønn og blå. En grov kurve over spektralrefleksjonen kan dermed registreres, fremfor bølgelengde for bølgelengde i spektrofotometrene. Problemet ved å benytte et tristimulicolorimeter på tenner er at graden av translucens ikke blir målt. Fargemålinger kan ved hjelp av en intraoral sonde foretas in vivo.

Tristimulus-systemet danner grunnlag for CIE standarden (International Color Index) fra 1931. CIE systemet er utelukkende konstruert for å måle om fargen på to prøver fremtrer som like. Tristimuliverdiene beskriver derfor ikke utseendet på en farge, eller hvordan eventuelle fargeforskjeller mellom de to prøver fremtrer. En ulempe med CIE systemet er at siden fargesystemet primært er utviklet for å dekke andre områder enn det odontologiske er forskjellene i det hvite-gule området store i CIE systemet, og langt underlegent øyet.

Sammenlikningsmålinger

For å bestemme fargen på en gjenstand kan det benyttes atlas eller fargesystemer. For at slike systemer skal være formålstjenlige stilles det krav til logisk oppbygning, og at de innbyrdes forskjellene mellom fargene er adekvate. Kjente systemer som benyttes innen malingindustrien er for eksempel **Oswald-systemet** og **Munsell-systemet**. I begge systemer anvendes 3 dimensjoner for å beskrive en farge. Tredimensjonale fargesystemer kan ha form av et fargetre, fargekule eller kurvet fargetetraeder.

Innen odontologi har stort sett bare Munsellsystemet vært brukt. I Munsellsystemet beskrives alle farger med en tredimensjonal indeks som gjengir:

Valør, det vil si lyshet eller gråtone, (Engelsk: Value) er gitt i en gradert skala i forhold til en hvit flate. Hvit er 10; svart er 0. En farges valør er den gråtonen som fargen har på et svart-hvit fotografi.

Fargetone, (Engelsk: Hue), er det vi til hverdags kaller "farge". Fargetone korresponderer med det optiske egenskapen dominerende bølge. De relevante fargene innen odontologi er Y, YR og R.

Fargemetning, eller fargeintensiteten, (Engelsk: Chroma), kan beskrives som en skala av innblanding av andre farger. Lave tall betyr mindre farge. En ren spektralfarge har 100 % metning. En hvit, grå eller svart flate har 0 prosent metning.

De 3 verdiene henger nøye sammen. Det går ikke an å løsrive en av verdiene fra de to andre. Rene spektralfarger med 100 % fargeintensitet har ulike valører. Lyse farger, slik som gul, har høy valør, mens mørke farger, slik som fiolett har lav valør.

Hver farge framstilles i Munsellsystemet som en kombinasjon av tall og bokstaver som representerer henholdsvis gråtonen, fargetonen og fargemetningen. F.eks 10YR 6/4 eller 9.6YR 6.2/4.3.

Avhengig av presisjonsnivå kan det bestemmes mellom 1000 og 100 000 forskjellige fargeblandinger med Munsellsystemet. Systemet er i utgangspunktet kun beregnet til fargemåling av opake materialer. Imidlertid kan systemets nomenklatur med fordel brukes for å beskrive translusente farger i tillegg.

Datamaskiner med egnet programvare kan transformere verdiene fra spektrofotometriske målinger til CIE-tall eller til Munsell verdier. (Men ikke omvendt!) I odontologisk litteratur benyttes ofte spektrofotometriske målinger, hvor resultatene transformeres til et annet 3-dimensjonalt fargesystem, det s.k. **CIE-L*a*b** fargesystemet. Imidlertid anser mange at CIE-L*a*b systemet er uegnet til å diskriminere fargeforskjeller som er synlige for det menneskelige øyet i det gule fargeområdet. CIE-L*a*b systemet har ofte blitt brukt ved karakterisering og standardiseringsmålinger av farge på plastkompositter.

Uttak av farge, fargevalg

Et stimulus til hjernen om tannens form og farge er resultatet av et samspill av 3 spektrale faktorer:

| | | | | |
|-----------------|---|-----------------------|---|---------|
| SPEKTRAL | * | REFLEKSJON | * | RESPONS |
| ENERGIFORDELING | | /ABSORPSJON | | I ØYET |
| FRA LYSKILDEN | | /TRANSMISJON | | |
| | | I TANNEN | | |
| | | I | | |
| | | I | | |
| | | V | | |
| | | FORTOLKNING I HJERNEN | | |

FORM, TRANSLUCENS OG FARGE

Forutsetningen for at fargevalget blir korrekt er at klinikerer har kjennskap til faktorene som influerer på fortolkningen, det vil si persepsjonen av form og farge.

Fargevalget bør foretas før preparering begynner. Ved gaping over 5 min skjer det en uttørring i de anteriore tenner som vanskeliggjør korrekt fargevalg. Tennene blir da mer opake og lysere. Dersom tannen er bedøvet vil den virke noe lysere på grunn av den lavere blodforsyningen. Fargeuttak bør derfor utføres før en eventuell anestesi.

Både plastkompositter, farget glass og keramer utviser metamerisme. Fargevalg bør derfor prøves med ulike belyningskilder- f.eks dagslys, klinikkbelysning og halogenbelysning. Ta hensyn til pasientens yrke. Dersom pasienten oppholder seg mye utendørs, bør effekten ved denne belyningskilden tillegges mest vekt (men ikke være avgjørende). Fargen som passer best i de ulike lystypene bør benyttes. Det er en fordel om flere personer kan komme med forslag. Benytt gjerne kontorassistenten. Kvinner har som regel bedre fargepersepsjon enn menn. Det er også blitt hevdet at fargepersepsjon blir dårligere med alderen.

Valg av hovedfarge på erstatningen kan foregå etter følgende prosedyre:

1. Velg en farge i skalaen og hold den ved siden av tannen
2. Fikser øynene på en nøytral farge i 2- 3 sek. F.eks. kittelen eller en nøytralt farget serviett rundt pasientens hals. (Lys blå eller lys grå er ofte benyttet)
3. Sammenlign skala og tann i ikke lenger enn 5 sek. Registrer ditt førsteinntrykk av gråtone (For lys, mørk, grå osv)
4. Fikser øynene på den nøytrale fargen
5. Gjenta pkt.3. Dersom fargen fortsatt ikke er korrekt gå videre til neste farge

Forhåpentligvis ender tannlegen opp med 2-3 ulike valører. Gjenta prosedyren, men denne gang sjekk for fargetone og fargemetning. Dersom du til slutt ender opp med to alternativ-velg den med høyeste gråtone (lysest). En eventuell for høy valør kan endres med komplementærfargen og ekstra fargetone uten at translucensen endres.

Enkelte foreslår at det er en fordel å plassere en svart (pap-)plate bak tannen, eller en svart avskjerming foran den aktuelle tann, for å avskjerme uønskede synsinntrykk.

Tidligere er det nevnt at farge kan beskrives i 3 dimensjoner. Imidlertid kan farger i forbindelse med translusente gjenstander sees på som et firedimensjonalt fenomen. Når en erfaren protetikker bruker 3 eller 4 fargeskalaer som referanser er det ikke bare fordi han ser etter et bredere utvalg av farger. Han ser også på forskjeller i andre optiske egenskaper som påvirker utseendet, slik som translucens og måten laget med emaljekeram er lagt på i forhold til dentinkeramet.

Kommunikasjon med teknikker

Neste gang du besøker din tanntekniker forsøk å lese de ulike bestillingsordrene. Du vil bli slått av tannlegenes mangelfulle beskrivelse av hva som egentlig ønskes utført med hensyn til form og farge. Det er mulig dette er fordi tannleger flest ikke er klar over de muligheter for form- og fargeeffekter en flink tanntekniker i dag kan fremkalle i et materiale som keram. Den enkleste løsningen (som mange tannleger praktiserer), er å sende pasienten til tanntekniker. En nøyaktig prosedyre og beskrivelse av form og farge av en ønsket erstatning kan imidlertid forhindre et slikt ekstrabesøk. Et minstekrav til en nøyaktig beskrivelse er å benytte korrekt nomenklatur. Den odontologiske nomenklatur behersker vi; det nye er fargenomenklaturen. De entydige begrepene i Munsells fargesystem bør benyttes, dvs fargetone, fargeintensitet og gråtone. Forhåpentligvis slipper da tanntekniker å tolke beskrivelser som:

"Biodent 21-men mørkere."

"Lumin A2. Noe lysere i kanten."

"Biodent 32.Ikke så gul." osv.

Som tidligere nevnt har de eksisterende fargeskalaene på markedet enkelte uheldige egenskaper. Det beste ville derfor være å vedlegge utvalgte farge fra fargeskalaen. En form for bytte med tanntekniker burde være mulig slik at tannlegen ikke behøver å disponere mange fargeskalaer. Vær også oppmerksom på at enkelte fargeskalaer har kraftigere fargeintensitet cervicalt på modellene. Reflektert lys fra denne sonen vil gi hele modellen en kraftigere intensitet. Spesifiser derfor på bestillingen om du benytter skala med eller uten farging cervicalt.

Et avtrykk av de anteriore tennene i over- og underkjeven er til stor hjelp for tanntekniker for å fastslå artikulasjonen. Videre vil avtrykket vise eventuell incisal slitasje - hvilket utelukker grå eller blålig translucens incisalt, trangstilling - som bestemmer graden av mørkere brunlig skygging proximalt, overflatenes kurvaturer relatert til nabotennene og antagonistene, osv. Det er også viktig at tannlegen beskriver kronens avgrensning mot gingiva. Dette er eksempler som en tanntekniker bør ta hensyn til ved utforming av kroner, selv om det ikke er gitt at dette blir gjort automatisk.

Ut i fra en basalfarge følger tannteknikeren en bestemt sammensetning av kerampulver cervicalt, incisalt og opaker foreslått av keramprodusenten. F.eks har Vita 14 opaker, 12 dentinfarger og 4 emaljefarger som kan kombineres. Fargene på en erstatning blir derfor oftest godt avstemt til hverandre, men vil ikke nødvendigvis alltid passe i pasientens munn. Beskriv derfor alltid ditt ønskede produkt tredimensjonalt (både formen og fargene) og så detaljert som mulig. Til det estetiske hører også en spesifisering av overflatestrukturen (ujevn eller jevn) og glansen på tannen. Denne kan tanntekniker studere ved å benytte sølvglakk på en modell av den kontralaterale tann. Det er tannlegen som er ansvarlig for sluttproduktet. Unngå derfor den mulige friksjon som kan oppstå hvis "gale" produkter blir levert.

Tannmorfologi

Ulike komponenter i tannen vil fremkalle ulike optiske fenomener.

Emalje: Retziuslinjer

Perikymata
Hunter-Schreger linjer
Emalje-lameller
Tykkelse / sammensetning

Dentin: Dentinkanaler

Emalje-dentingrensen
Tykkelse / sammensetning

Pulpa: Sekundærdentin

Størrelse

Detaljbeskrivelse:

Sentral

Lateral

Hjørnetann

OKJ

Incisiv

Hjørnetann

UKJ

Utforming av kontaktpunkt

Utforming av spyleom

Buccale og proximale emaljesementgrense

Vanlige utformingsfeil

Misfarginger

De vanligste misfarginger på tenner er forårsaket av:

A. Dentinogenesis Imperfecta. Tannen er relativt normal ved erupsjon. Etterhvert blir tennene mer og mer translusente, gule, blå-rosa, brunaktige eller grå-brune. Eventuelt vil også emaljen skalle av og dentin blir eksponert med påfølgende sterke overflatemisfarginger.

B. Amelogenesis imperfecta. 2 typer:

Hypoplastisk Tennene er glatte og skinnende. Gulrød, rødlig, eller brune.

Hypomineralisert Fargen kan variere mellom kalkhvit, gul, rød, svart. Emaljen kan etterhvert skalle av.

C. Toksiske forstyrrelser under tanndannelsen:

Fluorose Alt fra opake lyse flekker til gulbrune flekker.

Tetracyclin Forårsaket av kompleksdannelse av medikamentet. Tannen er alt fra lys gul til mørk gule. Karakteristisk fluoresens i ultraviolet lys. Mørkere cervicalt på grunn av den tynnere emaljen.

D. Ulike blødersykdommer

Lokalt traume/eller infeksjoner

Iatrogene & ukjente årsaker. Særlig fremkommet på grunn av sykelige tilstander i barnealderen.

Praktiske momenter

Generelt

- *Med små operative inngrep kan man endre tannform ved å skape optiske effekter. Vertikale detaljer og plan buccalflate gir inntrykk av lengde.
- Horisontale detaljer og plan buccalflate gir inntrykk av bredde.
- Liten avstand mellom de bucco-proximale hjørnene gir inntrykk av smalhet.
- Stor avstand mellom de bucco-proximale hjørnene gir inntrykk av bredde.
- Liten avstand mellom det bucco-incisale og bucco-cervicale hjørnet gir inntrykk av korthet.
- Stor avstand mellom det bucco-incisale og bucco-cervicale hjørnet gir inntrykk av lengde.
- *Lyse flater virker større enn mørke flater. En lys buccal-flate gir også inntrykk av anterior plassering av en tann.
- *Lagtykkelsen på en restaurering er kritisk for å oppnå et korrekt refleksjonsspektrum. Det vil derfor alltid oppstå en overkonturering gingivalt dersom det ikke blir fjernet nok tannsubstans i dette området.
- *Den viktigste parameteren ved reproduksjon av tannkroner er fargens gråtone fordi den henger så nøye sammen med vitaliteten. En tann som er hvitere enn nabotennene vil se uekte ut, mens en tann som er for grå vil virke død.

Plastkompositt

- *Lysherdende plastkompositter må være translusente for at de skal kunne herdes med lampe. Det eksisterer derfor ikke opake, fargesterke eller mørke plastkompositter som er lysherdende. Lysherdende plastkompositt egner seg derfor dårlig som maskeringsmaterialer.
- *Dersom tannlegen skal skape en bestemt fargeeffekt, må intensivfarger alltid anvendes et stykke under overflaten. Produsentene har laget oppskriftskart med kombinasjoner av de ulike intensivfargene.
- *Varierende tykkelse vil influere på fargen. Jo tykkere sjikt, jo mer farge, men mindre translucens. Dette er særlig uttalt for de mest translusente plastkomposittene.
- *Lysherdende plastkompositter har varierende mengde filler. Jo mer filler materialet inneholder, jo mer opakt blir det. Plastkompositt med microfillere er som regel mer opake enn hybride plastkompositter.
- *Plastkompositter blir alltid mer opake og lysere på grunn av vannopptak i munnhulen.
- *Graden av overflatepolering vil påvirke fargen. En høyglanspolert flate reflekterer mer av det infallende lyset, slik at overflaten vil virke lysere.
- *Kjemisk herdende plastkompositter misfarges over tid mer enn lysherdende på grunn av herdekomponentene i materialet.
- *Konvensjonelle plastkompositter misfarges mer enn microfill plastkompositter.
- *Lysherdende plastkompositter blir lysere og mindre fargesterke etter herdingen. Dette betyr at upolymerisert kompositt bør være noe mer gul eller kromatisk når materialet legges i kaviteteten.

Keram

- *Den reflekterte fargen fra det opake laget som maskerer metallskjellet i MK kroner er sterkt påvirket av tykkelsen på keramet. Den vanligste feilen ved MK kroner er mangelfull dybde på prepareringen gingivalt.

- *Det er viktig at fargen på keramer kan korrigeres uten at translucensen senkes. Ved å benytte det subtraktive fargesystemet får man god kontroll av fargen uten at det går ut over kronens translucens. Hvit farge vil alltid senke translucens, mens mørke farger i liten grad påvirker denne. Gråtonen kan senkes ved å tilsette komplementærfarger til den uønskede fargetonen.
- *Hvis fargen på en tann eller en tannerstatning er blitt for mørk, kan den ikke korrigeres uten at overflaten blir maskert. Dersom den er for lys, og med korrekt fargeintensitet, kan tannen lages mørkere ved å legge på komplementærfargen. Hvis fargeintensiteten blir for svak, korrigeres dette med å tilsette mer originalfarge, uten at gråtonen påvirkes nevneverdig.
- *Dersom svart/hvit blir benyttet for justering av gråtonen, vil det riktignok bli en forandring i gråtone, men tannen vil få et matt utseende, fargeintensiteten forsvinner og translucensen senkes.

Laminater og skallkroner

- *På naturlige tenner er det ikke fargekomponenter fra overflaten som reflekteres og gir farge. Man bør derfor unngå keramer som er basert på overflatefarging (eksempel Dicor).
- *Fargen på plastkomposittsementen kan være kritisk. Observer at sementen blir lysere og mindre fagesterk etter herdingen.
- *Dersom det er for høy konversjon i plastkompositt-innlegg blir bindingen til plastkompositt-sementen dårlig. Dette kan noen ganger observeres langs innlegg laget i SR-Isosit, hvor konversjonsgraden kan ligge opp mot 90%.
- *Keramoverflaten må etses og impregneres med en høy-reaktiv substans, dvs en silanisering, for å oppnå god mekaniske styrken på bindingen mellom innlegg og sement. Det er viktig at silaniseringen skjer umiddelbart før sementeringen, ellers vil denne substansen raskt degraderes og man oppnår en dårlig binding.

Plastkompositt-sementer

- *Tilsetningen av resintynnere for å senke sementens viskositet gir dårligere fysikalske egenskaper. Man bør derfor heller velge mer lavviskøse resiner dersom dette oppleves som et problem.
- *Det er utviklet tixotrope sementer (eks. Sono-Cem) som blir flytende ved bruken av ultralyd og som skal lette en korrekt plassering av innlegget i kaviteten.
- *Bindingen til emalje er god med de fleste plastkompositt-sementer. Imidlertid er bindingen til dentin mer usikker. Prepareringen må derfor alltid avgrenses til emaljen.

Referanser

- Bangtson LK. The conversion of chromascan designation to CIE tristimulus values J Prosthet Dent 46 610 1982
- Barghi N. A study of various factors influencing the shade of bonded porcelain J Prosthet Dent 39 282 1978
- Barghi N. Color and glaze: Effects of repeated firing J Prosthet Dent 47 393 1982
- Barghi N. Effects of batch variation on shade of dental porcelain J Prosthet Dent 54(5) 625-627 1985
- Barna GJ. The influence of selected light intensities on color perception within the color range of natural teeth J Prosthet Dent 46(4) 450-453 1981
- Bazola FN Malone WF. Shade guide for vacuum-fired porcelain-gold crowns J Am Dent Assoc 74 114 1967
- Bergen SF. Dental operatory lighting and tooth color discrimination J Am dent Assoc 94 130 1977
- Braze GW. An accurate method for obtaining an improved shade determination Quintess Dent techn 7(1) 27-29 19
- Burgt van der TP. A new method for matching tooth colors with color standards J Dent Res 64(5) 837-841 1985
- Clark EB. An analysis of tooth color J Am Dent Assoc 18 2093-2103 1931
- Clark EB. The color problem in dentistry Dent Digest 9 571 1931
- Clark EB. Tooth color selection J Am Dent Assoc 20 1065-1073 1933
- Clark EB. The Clark tooth color system. Part 3 Dent Mag Oral Top 50 249-258 1933
- Clark EB. Selection of tooth color for the edentulous patient J Am Dent Assoc 35 787-793 1947
- Clark WD. The Clark tooth color system. Part 1 & 2 Dent Mag Oral Top 50 139-152 1933
- Clarke JJ. Measurement of colour in human teeth. In: Proceedings, first international symposium on ceramics Chicago: Quintessence Publ Comp. 1983
- Cook WD. Optical properties of esthetic restorative materials and natural dentition J Biomed Mater Res 19 469-488 1985
- Culpepper WD. A comparative study of shade matching procedures J Prosthet Dent 24(2) 166-173 1970
- Dennison JB Powers JM Koran A. Color of dental restorative resins J Dent Res 57(4) 557-562 1978
- Eckes AE. Surface staining: the surest way to destroy translucency Quintess Dent Techn 1 25-26 1979
- Geller W. Dark and shadowed zones: An important aspect of the creative shading technique Quintess Dent Techn 7(8) 483-486 1983
- Goodkind RJ. A comparison of chromascan and spectrophotometric color measurements of 100 natural teeth J Prosthet Dent 53(1) 105-109 1985
- Hayashi T. Medical color standard. V. Tooth Crown Tokyo: Jap Color Res Inst. 1967
- Johns RB. An investigation into the lighting requirements for operative dentistry J Prosthet Dent 29 195 1973
- Jorgenson MW Goodkind RJ. Spectrophotometric study of five porcelain shades relative to dimensions. J Prosthet Dent 42(1) 96-105 1979
- Kato T. The current art of porcelain shades: A discussion Quintess Dent Techn 8(9) 559-571 1984
- Kessler JC. Chairside characterization of porcelain restorations Quintess Int 17(9) 551-555 1986
- Korson DL. The simulation of natural tooth in the ceramo-metal system with highly chromatized dentin powders. Quintess Dent Techn 9 453-456 1985
- Larson TD. Techniques for achieving realistic color distribution in large composite resin restorations J Am Dent Assoc 112 669-672 1986
- Lee JH. Dental esthetics Bristol: Jhn Wright & Sons Ltd. 1962
- Lemire PA Burk B. Color in dentistry Hartford: J.M Ney Comp. 1975
- Levin EI. Dental esthetics and the golden proportion Quintess Dent Techn 1 65-70 1980
- Lombardi RE. The principle of visual perception and their application to complete denture esthetics J Prosthet Dent 29(4) 358-382 1973
- McLean JW. The science and art of dental ceramics. Chicago: Quintessence Publ Co 1980
- Moser JB. Use of the Munsell system to compute color differences in composite resins J Dent Res 57:958-63 1978
- Moser JB. Color vision in dentistry: a survey J Am Dent Assoc 110 509-510 1985
- Muia PJ. The four dimensional tooth color system Chicago: Quintessence Publ Co 288 pp. 1982
- O'Brien WJ. Double layer color effects in porcelain systems J Dent Res 64(6) 940-943 1985
- Powers JM. Color stability of new composite restorative materials under accelerated aging J Dent Res 59 2071 1980
- Preston JD Bergen SF. Color science and dental art St Louis. C V Mosby Co. 1980
- Preston JD. Current status of shade selection and color matching Quintess Int 16(1) 47-58 1985
- Riley EJ Sanderson IR Sozio RB. Shade determination, communication, and realization: a novel approach Quintess Int 17(11) 739-744 1986
- Rinn LA. Applied color theory in metal ceramics Quintess Dent Techn 10(9) 561-569 1986
- SPRI. Dental operationsbelysning. Dentalbelysning allmänna synpunkter Stockholm: SPRI 55101 1970
- Seghi RR. Spectrophotometric analysis of color differences between porcelain systems J Prosthet Dent 56:35-40 1986
- Shotwell JL. Color comparisons of denture teeth and shade guides J Prosthet Dent 56(1) 31-34 1986
- Sipple CH. Factors that affect shade interpretation in the operator and laboratory. Part I Quintess Dent techn 8/80 77-82 1980
- Sipple CH. Factors that affect shade interpretation in the operator and laboratory. Part II Quintess Dent techn 11(9) 79-82 1980
- Sipple CH. Light rays and their influence on color in dentistry Quintess Dent Techn 3/80 65-68 1980
- Spitzer D. The absorption and scattering of light in bovine and human enamel Calcif Tissue Res 17 129 1975

- Sproull RC. Color matching in dentistry. Part 1. The three-dimensional nature of color J Prosthet Dent 29(4) 416-424 1973
- Sproull RC. Color matching in dentistry. Part II. Practical applications of the organization of color J Prosthet Dent 29(5) 556-566 1973
- Sproull RC. Color matching in dentistry. Part III. Color control J Prosthet Dent 31(2) 146-155 1974
- Sweepston JH Miller AW. Esthetic matching J Prosthet Dent 54(5) 623-625 1985
- Viohl J. Dental operating lights and illumination of the dental surgery Int Dent J 29(2) 148-63 1979
- Waltke R. Color in the human dentition Jelenko Thermotrol Technician pp.20 1977
- Yamada HN. Dental porcelain. The state of the art. Los Angeles: Univ South Calif Pp 325 1977
- Yeh CL. Color of selected shades of composites by refl. spectrophotometry J Dent Res 61 1176-9 1982
- Yeh CL. Optical properties of composites of selected shades J Dent Res 61(6) 797-801 1982
- Zimmerman B. Tooth histology applied to dental ceramics Quintess Dent Techn 10(7) 435-438 1986