
Rezumatul tezei de doctorat

**Proprietăți optice ale
maselor ceramice de
reconstrucție coronară**

Doctorand **Alexandra Maria Botoș**

Conducător de doctorat **Prof. Dr. Mîndra Eugenia Badea**



UMF
UNIVERSITATEA DE
MEDICINĂ ȘI FARMACIE
IULIU HAȚIEGANU
CLUJ-NAPOCA

CUPRINS

STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII	17
1. Alegerea materialului de restaurare integral ceramic	19
2. Clasificarea ceramicilor dentare	20
2. 1. Clasificarea în funcție de temperatura de topire	20
2. 2. Clasificarea în funcție de procedeul de prelucrare	20
2. 3. Clasificarea în funcție de compoziție	21
3. Culoarea	23
3. 1. Fenomenul culorii	23
3. 2. Fiziologia culorii	23
3. 3. Parametrii culorii	25
3. 4. Spațiul culorii CIE L*a*b*	26
3. 5. Semnificația clinică	28
4. Proprietăți optice ale dinților	29
4.1. Structura dentară	29
4.2. Proprietăți optice ale structurilor dentare	30
5. Proprietăți optice ale ceramicilor dentare	31
5.1. Transluciditatea și opacitatea	31
5.2. Fluorescența	31
5.3. Opalescența și contraopalescența	31
5.4. Stabilitatea cromatică	32
6. Factori care influențează percepția culorii reconstrucțiilor ceramice	33
6.1. Sursa de lumină	33
6.2. Substratul	33
6.3. Grosimea materialului de restaurare	33
6.4. Structura materialului de restaurare și metoda de procesare tehnologică	34
7. Masele ceramice pe bază de disilicat de litiu	35
7.1. Structură cristalină	35
7.2. Cromatica IPS e.max Press	36

7.3. Transmisia luminii	37
7.4. Realizare tehnică – presare la temperatură înaltă	38
CONTRIBUȚIA PERSONALĂ	41
1. Obiective	43
2. Metodologie general	43
3. Studiul 1. Transluciditatea ceramicilor folosite pentru realizarea de restaurări dentare fizionomice	45
3.1. Introducere	45
3.2. Material și metodă	46
3.3. Rezultate	47
3.4. Discuții	49
3.5. Concluzii	50
4. Studiul 2. Rolul grosimii și opacității maselor ceramice în capacitatea de mascare a substratului	51
4.1. Introducere	51
4.2. Material și metodă	52
4.3. Rezultate	55
4.4. Discuții	65
4.5. Concluzii	70
5. Studiul 3. Influența substratului asupra percepției culorii restaurărilor integral ceramice	71
5.1. Introducere	71
5.2. Material și metodă	72
5.3. Rezultate	73
5.4. Discuții	78
5.5. Concluzii	83
6. Studiul 4. Influența mediului cromatic interpus (pastele try-in) asupra percepției culorii de ansamblu a restaurărilor integral ceramice	85
6.1. Introducere	85
6.2. Material și metodă	86
6.3. Rezultate	88

6.4 Discuții	100
6.5 Concluzii	104
7. Concluzii generale	105
8. Originalitatea și contribuțiile inovative ale tezei	107
REFERINȚE	109
ANEXE	119

Cuvinte cheie: mase ceramice, ceramică pe bază de disilicat de litiu, parametrii culorii, aprecierea instrumentală a culorii, spectrofotometru, transluciditate, capacitate de mascare, diferență de culoare, culoare substrat, paste de try-in.

INTRODUCERE

Organizarea internă a unui dinte este foarte complexă, fiind alcătuită din țesuturi de structură, consistență și duritate extrem de diferite. Pulpa dentară, țesut conjunctiv găzduit în camera pulpară, vascularizează și inervează dintele din interior. Ea este protejată de straturi dure de dentină și de smalț. Duritatea dentinei, dar mai ales a smalțului sunt conferite de către conținutul lor mineral ridicat. Smalțul și dentina sunt alcătuite din structuri diferite, alungite ca formă, prismele de smalț și complexul canaliculelor dentinare, dispuse perpendicular pe camera pulpară și cu orientare radiară spre exteriorul dintelui. La nivelul joncțiunii dintre dentină și smalț și apoi la suprafața smalțului se formează două planuri perpendiculare pe structurile radiare ale dentinei și smalțului. Proprietățile optice dentare sunt date pe de o parte de cromatica structurilor existente și pe de altă parte de fenomenele optice apărute la nivel de structură internă și interfețe dintre dentină, smalț și exterior.

Scopul unei reconstrucții dentare estetice este de a se integra complet în ansamblul dentar și dento-facial. Realizarea acestui lucru poate fi dificilă datorită imposibilității de reproducere exactă a aspectului structurilor naturale dentare. Materialele de reconstrucție coronară fizionomice cele mai solicitate la ora actuală sunt ceramicile dentare, atât datorită proprietății lor de biocompatibilitate, cât mai ales datorită proprietăților optice foarte bune. Stratificarea pulpă – dentină - smalț cu interacțiunile lor optice trebuie să fie reproduse de un singur material, ceramica. Clasic, în reconstrucțiile metalo-ceramice ceramica era depusă peste un strat metalic, capa, care conferea rezistență mecanică, dar care la rândul său trebuia mascat cromatic.

Evoluția materialelor ceramice a făcut posibilă renunțarea la capa metalică și realizarea de reconstrucții integral ceramice cu o rezistență suficientă în mediul oral. Marea provocare a ceramicilor dentare este mimarea optică perfectă a structurilor dentare. Structura internă a dentinei și a smalțului are o contribuție mare la comportamentul optic al dintelui, iar ceramicile dentare cu compoziție omogenă, fără structuri organizate tridimensional, trebuie să suplinească acest lucru. Un ajutor pentru adaptarea ceramicilor la situația clinică este ajustarea compoziției lor pentru a obține parametrii cromatici și optici – transluciditate, opacitate – adecvați.

Realizarea unei reconstrucții integral ceramice presupune, pe lângă alegerea materialului ceramic corespunzător situației clinice, atenție și pentru substratul de acoperit și pentru cimentul de fixare aplicat între cele două. Substratul care urmează a fi acoperit poate fi dentar, cu modificări de culoare diferite, sau artificial, din rășini compozite de culoarea dintelui, ceramic sau metalic. Nuanța cimenturilor de fixare poate influența culoarea finală percepută a unei reconstrucții. Contribuția cromatică a cimenturilor de fixare la culoarea finală poate fi testată cu geluri de probă, așa numitele paste de try-in, corespunzătoare cromatic cu cimenturile de fixare.

Stratificarea aceasta de material ceramic de diferite grosimi și opacități, substrat cu discromie variabilă și interpunere de pastă de try-in sau ciment de fixare necesită o potrivire perfectă între toți parametrii pentru a obține efectul estetic maxim. Provocarea clinică reiese din limitele încă prezente ale

ceramicilor dentare, din nuanțele substratului infinite ca număr, din nuanțele cimenturilor de fixare relativ stabile și din prezența restaurării în mediul salivar bucal.

Pornind de la aceste idei, în cadrul acestei teze s-au dezvoltat mai multe studii *in vitro*, prin intermediul cărora s-a dorit:

- 1). evaluarea relației dintre transluciditatea și grosimea ceramicii;
- 2). aprecierea capacității de mascare a ceramicilor de grosimi și opacități diferite suprapuse peste substraturi discromice;
- 3). evaluarea modificării cromatice induse de substratul discromic la realizarea de restaurări integral ceramic;
- 4). cuantificarea modificării cromatice induse de pastele de try-in interpușe între reconstrucții ceramice și substraturi.

Contribuția tezei rezidă în analiza complexă a proprietăților optice a unui grup de materiale diferite din punct de vedere structural: compozite de laborator, mase ceramic, paste try-in, precum și a interacțiunii dintre ele. S-a optat pentru evaluarea materialelor provenite de la același producător, indicate a fi utilizate în asociere.

Parțial, aceste studii au fost susținute prin proiectul PN-II-PT-PCCA-2011-3-2-1275, parte din programul "Parteneriate", subprogramul "Proiecte Colaborative de Cercetare Aplicativă" al Consiliului Național Al Dezvoltării Și Inovării, România.

CONTRIBUȚIA PERSONALĂ

OBIECTIVE GENERALE

Obiectivele cercetării doctorale au constat în:

- 1). evaluarea relației dintre transluciditatea și grosimea ceramicii pentru ceramici pe bază de disilicat de litiu cu opacități diferite.
- 2). aprecierea capacității de mascare a ceramicilor pe bază de disilicat de litiu cu grosimi relevante clinic, suprapuse peste substraturi cu grade variate de discromie.
- 3). aprecierea capacității de mascare a ceramicilor pe bază de disilicat de litiu, de opacități diferite, când au fost suprapuse peste substraturi cu grade diferite de discromie.
- 4). evaluarea contribuției substraturilor cu diferite grade de discromie la culoarea finală percepută a reconstrucțiilor integral ceramic.
- 5). cuantificarea modificării cromatice induse de pastele de try-in interpușe între eșantioane ceramice de grosime și opacitate variate și substraturi de diferite discromii.

Studiul 1. Transluciditatea ceramicilor folosite pentru realizarea de restaurări dentare fizionomice

Obiective

Scopul studiului de față a fost de a investiga relația dintre transluciditatea și grosimea ceramicii pentru ceramici vitroase de opacități diferite. Ipoteza nulă a fost că transluciditatea maselor ceramice nu este influențată de tipul de material ceramic folosit sau de grosimea acestuia.

Material și metodă

Materialul ceramic luat în studiu a fost IPS e-max Press (Ivoclar Vivadent), în cele patru opacități de bază: high opacity (HO), medium opacity (MO), low translucency (LT) și high translucency (HT). Au fost realizate 100 de discuri ceramice (10mm diametru) prin presare prin tehnica machetării și eliminării cerii din tipar din cele patru tipuri de opacități de material, în cele cinci grupuri de grosime (0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5mm ± 0.1mm), câte cinci eșantioane pentru fiecare grup (n=5). Suprafața de analizat a discului a fost finisată cu hârtie abrazivă până la gradul de rugozitate 800.

Parametrii CIE L*a*b* ai culorii au fost înregistrați cu ajutorul spectrofotometrului dentar VITA Easyshade® (VITA Bad Säckingen, Germany), pe fundal alb și negru, cu interpunere de soluție saturată de

sucroză (indice de refracție $n=1.5$), sub sursă de lumină standardizată ca lumină naturală diurnă D65 (JUST LED Color Viewing Light, JUST Normlicht, Weilheim/Teck, Germany).

Parametrul transluciditate (TP) a fost obținut prin calculul diferenței de culoare între fundalul alb și cel negru. Măsurătorile au fost realizate pentru fiecare disc pe fiecare fundal de trei ori, valorile medii au fost calculate pe baza acestora. Valori crescute ale TP indică transluciditate crescută și opacitate scăzută, iar valori scăzute ale TP indică valori scăzute ale translucidității și valori crescute ale opacității.

Efectul materialului și al grosimii sale asupra TP pentru ceramicile pe bază de disilicat de litiu a fost investigat prin prelucrarea statistică a datelor. Relația dintre grosimea ceramicii și factorul TP a fost investigată prin generarea de curbe de regresie.

Rezultate

Valorile medii pentru TP pentru ceramica IPS e-max Press folosită în acest studiu au fost între 5.67 și 12.78. Valoarea pentru TP a scăzut în ordinea $HT > LT > MO > HO$, în funcție de creșterea opacității descrise de producător și a avut intervale de valori mai mici pentru materialele mai translucide (8.74 - 12.47 pentru HT și 8.34 - 12.78 pentru LT) și mai mari pentru cele opace (7.86 - 12.01 pentru MO și 5.67 - 11.49 pentru HO). De asemenea, TP a scăzut cu creșterea grosimii pentru toate opacitățile.

Rezultatele analizei duble a varianței ANOVA au arătat că variația ambilor factori, opacitatea și grosimea, cât și interacțiunea lor, au fost statistic semnificativi ($P < .01$). Creșterea TP la materialele mai translucide datorată scăderii grosimii a fost mai mare ca la ceramica mai opacă.

Curba de regresie pentru TP în funcție de grosime a arătat că există o relație exponențială între evoluția grosimii și cea a parametrului TP, pe baza ecuației obținute. Au fost obținuți coeficienți de corelație foarte buni, cu semnificație statistică foarte ridicată pentru toate cele patru materiale testate ($R^2=0,981-0,998$).

Concluzii

1. Parametrul de transluciditate al ceramicilor dentare a fost puternic influențată de grosimea materialului și de opacitatea sa.
2. Există o relație direct proporțională între TP și grosimea ceramicilor pe bază de disilicat de litiu. Cu cât transluciditatea crește, cu atât valorile TP sunt mai ridicate.

Studiul 2. Rolul grosimii și opacității maselor ceramice în capacitatea de mascare a substratului

Obiective

Obiectivele acestui studiu au fost: 1. Evaluarea capacității de mascare a materialelor ceramice de grosimi diferite și aceeași opacitate, suprapuse peste substraturi de culori diferite; 2. Evaluarea capacității de mascare a materialelor ceramice de opacități diferite și aceeași grosime, suprapuse peste substraturi de culori diferite.

Material și metodă

Din materialul ceramic IPS e.max Press (Ivoclar Vivadent, Liechtenstein) au fost realizate prin presare discuri de diametru 10mm, în cele patru opacități de bază. Suprafața discului de analizat a fost finisată cu hârtie abrazivă umezită până la granulația de 800. Discurile au fost realizate în cinci grosimi: 0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5mm \pm 0.1mm. Combinarea celor patru tipuri de opacitate cu cele 5 grosimi a generat 20 de grupuri de discuri ceramice. Au fost realizate cinci discuri pentru fiecare grup, un total de 100 discuri.

Pentru a se simula substratul au fost realizate discuri (10mm diametru, 5mm grosime) din materialul compozit Natural Die Kit (Ivoclar Vivadent, Liechtenstein). Discurile au fost de nouă culori (ND1-ND9), pe baza cheii de culori oferite de producător.

Discurile ceramice au fost suprapuse peste discurile de compozit, cu interpunere de soluție de sucroză. S-au realizat 180 (20 x 9) de categorii și 900 (100 x 9) posibile combinații.

Parametrii culorii CIE $L^*a^*b^*$ au fost înregistrați cu ajutorul unui spectrofotometru dentar (VITA Easyshade® Advance, VITA Bad Säckingen, Germany), sub sursă de lumină simulând lumina naturală D65 (JUST LED Color Viewing Light, JUST Normlicht, Weilheim/Teck, Germany). A fost calculată o medie a

valorilor parametrilor cromatici pentru cele cinci discuri dintr-un grup, apoi au fost calculate intervale de minim și maxim pentru fiecare opacitate și fiecare substrat.

Diferența de culoare ΔE s-a calculat pe baza formulei:

$\Delta E = ((\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2)^{1/2}$, $\Delta L^* = L_2 - L_1$ = diferența de luminozitate, $\Delta a^* = a_2 - a_1$ = diferența de parametru cromatic pe axa roșu-verde, $\Delta b^* = b_2 - b_1$ = diferența de parametru cromatic pe axa galben-albastru.

Pentru a evalua în ce măsură capacitatea de mascare implică mascarea din punct de vedere al luminozității, al parametrilor a^* sau b^* a fost aplicat testul de corelație Pearson ($<.001$). Pentru a evalua relația dintre grosimea ceramicii și opacitatea ei în raport cu capacitatea de mascare, s-a realizat analiza simplă și dublă a varianței (ANOVA), urmate de teste post hoc Tukey Honestly Difference (HSD) sau Games Howell (SPSS 20.0, SAS, Chicago, Ill).

Rezultate

Valorile parametrilor CIE $L^*a^*b^*$ au variat după cum urmează: $L^*=41.70 - 92.20$, $a^*=-3.0 - 9.00$, $b^*= 7.70 - 49.60$. Parametrul luminozitate a avut valori cu un trend ascendent în majoritatea situațiilor. Parametrul a^* a variat între valori negative și pozitive (verde spre roșu) pentru diferitele substraturi, cu un trend aproape întotdeauna descendent. Parametrul b^* a avut valori pozitive, în zona de galben, cu un trend majoritar descendent pentru fiecare opacitate de ceramică.

Valorile medii pentru ΔE , ΔL^* , Δa^* , Δb^* pe cele nouă substraturi au avut un trend ascendent pentru ΔE , ΔL^* și descendent pentru Δa^* și Δb^* . Corelația Pearson pentru perechile $\Delta E - \Delta L^*$, $\Delta E - \Delta a^*$, $\Delta E - \Delta b^*$ a prezentat în majoritatea situațiilor o corelație statistică între diferența de culoare și diferențele parametrilor de luminozitate ΔL^* și cromatică Δa^* și Δb^* ($<.001$).

Analiza ANOVA univariată a fost realizată pentru fiecare dintre parametrii vizați, și anume grosimea ceramicii și respective opacitatea ceramicii, pentru a evalua dacă valorile medii ale celor două grupuri de parametri sunt diferite statistic. Valorile medii ale parametrilor pe grosime și respective opacitate a ceramicii au fost diferite statistic, justificând aplicarea ulterioară de teste post hoc.

Analiza ANOVA bivariată a determinat cum este influențat rezultatul final, în acest caz parametrii ΔE , ΔL^* , Δa^* , Δb^* , de cei doi factori, și anume grosimea ceramicii și respective opacitatea ei. Testul a arătat că interacțiunea celor doi factori a influențat culoarea finală înregistrată.

Concluzii

1. Capacitatea de mascare a ceramicii crește odată cu grosimea ei, indiferent de opacitatea acesteia.
2. Ceramica pe bază de disilicat de litiu are cea mai mare capacitate de mascare pentru opacitatea MO, urmată de HO, HT și LT.
3. Corelația între capacitatea de mascare ca diferență de culoare ΔE și diferența de luminozitate ΔL^* este direct proporțională; corelația între capacitatea de mascare ca diferență de culoare ΔE și diferențele de parametri cromatici Δa^* și Δb^* este invers proporțională.
4. Capacitatea de mascare a ceramicii de grosime 1.5mm este similară grosimii de 1.2mm. Clinic, o grosime mai mare a stratului ceramic nu este întotdeauna justificată.
5. Diferența de culoare ΔE variază împreună cu diferența de luminozitate ΔL^* ascendent, iar diferența de parametri cromatici Δa^* și Δb^* variază în paralel descendent, odată cu creșterea grosimii stratului ceramic.
6. Valoarea diferenței de culoare ΔE nu este echidistantă față de variația parametrilor componenți: diferența de luminozitate ΔL^* , diferența de parametri cromatici Δa^* și Δb^* . Se susține necesitatea dezvoltării unei formule îmbunătățite a diferenței de culoare.

Studiul 3. Influența substratului asupra percepției culorii restaurărilor integral ceramice

Obiective

Obiectivele au fost: 1. Evaluarea contribuției cromatice a substratului când grosimea ceramicii variază; 2. Evaluarea contribuției cromatice a substratului când opacitatea ceramicii variază.

Material și metodă

Din cele patru opacități de bază: high opacity (HO), medium opacity (MO), high translucency (HT) și low translucency (LT) ale materialul ceramic IPS e.max Press (Ivoclar Vivadent, Liechtenstein) au fost realizate prin presare discuri cu diametrul de 10mm. Suprafața de analizat a discului a fost finisată cu hârtie abrazivă umezită până la granulația de 800. Cinci grosimi de discuri (0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5mm ± 0.1mm) au fost obținute pe baza tehnicii de machetare și presare prin tehnica cerii pierdute. Combinarea celor cinci grosimi cu cele patru tipuri de opacitate a generat 20 de grupuri de discuri ceramice. Pentru fiecare grup au fost realizate cinci discuri, un total de 100 discuri.

Materialul compozit de laborator Natural Die Kit (Ivoclar Vivadent, Liechtenstein) a fost folosit pentru realizarea de discuri (10mm diametru, 5mm grosime) care să simuleze substratul, în cele nouă culori oferite de producător.

Pentru determinarea parametrilor CIE L*a*b*, discurile ceramice au fost suprapuse peste discurile de compozit, cu interpunere de soluție de sucroză (indice de refracție n=1.5). S-au obținut 180 (20 x 9) de categorii și 900 (100 x 9) posibile combinații.

Spectrofotometrul dentar VITA Easyshade® Advance (VITA, Bad Säckingen, Germany) a fost folosit pentru înregistrarea parametrilor culorii CIE L*a*b*, în sursă de lumină care a simulat lumina naturală D65 (JUST LED Color Viewing Light, JUST Normlicht, Weilheim/Teck, Germany).

Diferența de culoare ΔE s-a calculat pe baza formulei:

$\Delta E = ((\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2)^{1/2}$, $\Delta L^* = L_2 - L_1$ = diferența de luminozitate, $\Delta a^* = a_2 - a_1$ = diferența de parametru cromatic pe axa roșu-verde, $\Delta b^* = b_2 - b_1$ = diferența de parametru cromatic pe axa galben-albastru.

Datele obținute au fost prelucrate statistic.

Rezultate

Valorile medii globale pentru capacitatea de mascare ΔE , diferența de luminozitate ΔL^* , diferența de parametru cromatic Δa^* și diferența de parametru cromatic Δb^* pentru cele nouă substraturi au avut valorile: ΔE între 0.14 și 38.46, ΔL^* între -6.70 și 33.90, Δa^* între -9.2 și 5.22, Δb^* între -33.90 și 2.60. Trendul valorilor odată cu creșterea grosimii a fost ascendent pentru ΔE , ΔL^* și descendent pentru Δa^* și Δb^* .

Corelația Pearson pentru perechile $\Delta E - \Delta L^*$, $\Delta E - \Delta a^*$, $\Delta E - \Delta b^*$ a prezentat în majoritatea situațiilor o corelație statistică între diferența de culoare și parametrii cromatici (<.001).

Analiza ANOVA univariată a fost realizată pentru fiecare dintre parametrii vizați, și anume perechile de valori pentru culoarea substratului în relație cu grosimea ceramicii și respectiv culoarea substratului în relație cu opacitatea ceramicii, pentru a evalua dacă valorile medii ale celor două grupuri de parametri sunt diferite statistic sau nu. Valorilor medii pentru cele două perechi de valori (culoare substrat – grosime ceramică și culoare substrat – opacitate ceramică) au fost diferite statistic, semnificând o relație clară de influență între parametri.

Analiza ANOVA bivariată a determinat că variația parametrilor ΔE , ΔL^* , Δa^* , Δb^* a fost influențată de cele două perechi de factori investigați, și anume contribuția culorii diferite a substratului la aceeași grosime a ceramicii și contribuția culorii diferite a substratului la aceeași opacitate a ceramicii.

Concluzii

1. Grosimea maselor ceramice are cea mai mare importanță în mascarea oricărui tip de substrat.
2. Materialele ceramice de opacitate MO au mascat cel mai bine orice substrat, urmate de opacitățile HO, HT și LT.
3. Discromia bontului dentar a avut o influență mai mare asupra culorii finale atunci când au fost folosite materiale ceramice mai translucide, datorită variației preponderente a parametrilor cromatici a^* și b^* .
4. Parametrii cromatici a^* și b^* ai substratului au avut o contribuție mai mare la culoarea finală percepută a unei restaurări.
5. Luminozitatea finală a unei restaurări a fost influențată mai mult de grosimea decât de opacitatea materialului ceramic.

6. Diferența de culoare ΔE a variat asemănător cu variația diferenței parametrului de luminozitate ΔL^* și diferit de variația diferențelor parametrilor cromatici Δa^* și Δb^* care o determină ca formulă.
7. Formula diferenței de culoare ΔE prezintă limite de fidelitate, mai ales pentru situațiile care necesită evaluarea de diferențe foarte mici de culoare. Se recunoaște necesitate îmbunătățirii formulei și apoi validării ei prin studii similare.

Studiul 4. Influența mediului cromatic interpus (pastele try-in) asupra percepției culorii de ansamblu a restaurărilor integral ceramice

Obiective

Obiectivele au fost: 1. Evaluarea capacității de mascare când pastele de try-in variază, pentru aceeași grosime a ceramicii; 2. Evaluarea capacității de mascare când pastele de try-in variază pentru aceeași opacitate a ceramicii; 3. Evaluarea capacității de mascare când pastele de try-in variază pentru aceeași culoare a substratului.

Material și metodă

Din materialul ceramic IPS e.max Press (Ivoclar Vivadent, Liechtenstein) s-au obținut discuri de diametru 10mm. Acestea au fost realizate pe baza de machete de ceară, prin presare în tipar obținut prin tehnica cerii pierdute. Discurile au fost realizate din cele patru opacități de bază de ceramică: high opacity (HO), medium opacity (MO), high translucency (HT) și low translucency (LT). Suprafața discului de analizat a fost finisată cu hârtie abrazivă umezită până la granulația de 800. Grupurile de grosime ale discurilor au fost cinci: 0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5mm \pm 0.1mm. Combinarea celor patru tipuri de opacitate cu cele cinci grosimi a generat 20 de grupuri de discuri ceramice. Cinci discuri au fost realizate pentru fiecare grup, un total de 100 discuri.

Materialul compozit de laborator Natural Die Kit (Ivoclar Vivadent, Liechtenstein) în cele nouă culori existente a fost folosit pentru realizarea de discuri care simulează substratul (10mm diametru, 5mm grosime).

Discurile ceramice au fost suprapuse peste discurile de compozit, cu interpunere de paste de try-in. Pastele de try-in au fost din setul try-in Variolink II (Ivoclar Vivadent, Liechtenstein) în cele șase nuanțe puse la dispoziție de producător: Transparent (T), Bleach (BL), White (W), Opaque White (OW), Yellow (Y), Brown (B). S-au obținut 180 (20 x 9) de categorii și 5400 (100 x 9 substraturi x 6 paste try-in) posibile combinații.

Parametrii culorii CIE $L^*a^*b^*$ au fost înregistrați cu ajutorul unui spectrofotometru dentar (VITA Easyshade® Advance, VITA Bad Säckingen, Germany) în sursă de lumină simulând lumina naturală D65 (JUST LED Color Viewing Light, JUST Normlicht, Weilheim/Teck, Germany). Înregistrările au fost repetate de trei ori pentru fiecare combinație de disc ceramic – pastă de try-in – disc de compozit și valorile lor medii au fost notate.

Diferența de culoare ΔE s-a calculat pe baza formulei $\Delta E = ((\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2)^{1/2}$, unde $\Delta L^* = L_2 - L_1$ = diferența de luminozitate, $\Delta a^* = a_2 - a_1$ = diferența de parametru cromatic pe axa roșu-verde, $\Delta b^* = b_2 - b_1$ = diferența de parametru cromatic pe axa galben-albastru. Datele au fost prelucrate statistic pentru a investiga contribuția cromatică a pastelor de try-in la stratificarea cromatică.

Rezultate

Valorile parametrilor CIE $L^*a^*b^*$ pentru întreg lotul au variat după cum urmează: $L^* = 43.00 - 94.28$, $a^* = -3.1 - 9.54$, $b^* = 7.52 - 47.82$. Parametrul luminozitate a avut un trend ascendent, iar parametrii a^* și b^* au avut trend descendent.

Valorile medii pentru ΔE , ΔL^* , Δa^* , Δb^* în timpul utilizării celor șase tipuri de paste de try-in au avut valori $\Delta E = 0.14 - 58.18$, $\Delta L^* = -17.70 - 57.00$, $\Delta a^* = -10.20 - 9.40$, $\Delta b^* = -39.30 - 10.70$. Trend-ul valorilor a fost ascendent pentru ΔE și ΔL^* și descendent pentru Δa^* și Δb^* .

Din studiul corelației Pearson pentru perechile ΔE - ΔL^* , ΔE - Δa^* , ΔE - Δb^* a rezultat că pentru majoritatea situațiilor, dependența statistică a fost prezentă ($<.001$) între evoluția valorilor diferenței de culoare ΔE și diferența de parametri cromatici ΔL^* , Δa^* , Δb^* .

Analiza ANOVA univariată a arătat că pentru fiecare dintre parametrii vizați, respectiv grosimea ceramicii, opacitatea ceramicii, culoarea substratului în relație cu pastele de try-in, valorile medii ale celor două grupuri de valori au fost diferite statistic, susținând ipoteza că pasta de try-in modifică parametrii cromatici percepuți în relație cu tipul de ceramică, grosimea ceramicii sau culoarea substratului cu care interacționează.

Analiza ANOVA bivariată a demonstrat că există o legătură între parametrii diferenței de culoare ΔE , diferenței de luminozitate ΔL^* , diferenței de parametru cromatic Δa^* și diferenței de parametru cromatic Δb^* și cei trei factori analizați, și anume grosimea ceramicii – paste try-in, opacitatea ceramicii – paste try-in, culoarea substratului – paste try-in.

Concluzii

1. Intervalele de variație ale mediilor ΔE , ΔL^* , Δa^* și Δb^* sunt mai mici în situațiile în care între substrat și ceramică se interpune pastă de try-in, decât în cazul în care aceasta lipsește. Diferența de variație a diferenței de culoare ΔE depășește atât limita de perceptibilitate clinică $\Delta E=1$, cât și pe cea a acceptabilității clinice $\Delta E=3.7$.
2. Diferența de culoare ΔE crește direct proporțional cu diferența de luminozitate ΔL^* și invers proporțional cu diferențele de parametri cromatici Δa^* , Δb^* .
3. Pasta de try-in Opaque White determină modificări de culoare semnificative statistic față de celelalte paste de try-in, când sunt interpusse între substrat și discuri de ceramică de diferite opacități.
4. Pastele de try-in Transparent, Bleach, White, Yellow și Brown nu determină modificări de culoare semnificative statistic când sunt interpusse între discuri de ceramică de diferite opacități și substrat.
5. Pastele de try-in contribuie puțin la mascarea substraturilor discromice, oricare ar fi grosimea sau opacitatea ceramicii de deasupra.
6. O grosime mai mare a stratului ceramic va face masca mai eficient interpunerea pastă de try-in.
7. Pe măsură ce discromia se accentuează, substratul va fi mai vizibil prin stratul de ceramică și interpunerea de pasta de try-in.

CONCLUZII GENERALE

1. Transluciditatea ceramicilor dentare pe bază de disilicat de litiu este influențată de grosimea și opacitatea acestora.
2. Ceramica dentară este translucidă la grosimi relevante clinic.
3. Luminozitatea restaurărilor integral ceramice este conferită de materialul ceramic folosit.
4. Capacitatea de mascare a ceramicilor crește odată cu grosimea, independent de opacitate.
5. Capacitatea de mascare a ceramicii pe bază de disilicat de litiu este cea mai crescută pentru opacitatea MO, urmată de HO, HT și LT.
6. Diferența de culoare ΔE este direct proporțională cu diferența de luminozitate ΔL^* și invers proporțională cu diferența de parametri cromatici Δa^* și Δb^* .
7. Există o diferență mică, sesizabilă doar clinic, între capacitatea de mascare a ceramicilor de grosime 1.5mm față de grosimea 1.2mm. Astfel, o grosime mai mare de 1.5mm a stratului ceramic, respectiv o preparație mai accentuată a substratului dentar, nu este întotdeauna justificată.
8. Culoarea substratului transpare întotdeauna prin reconstrucție. Parametrii influențați în principal sunt parametrii cromatici a^* și b^* .
9. Parametrii cromatici a^* și b^* ai substratului au contribuție predominantă la culoarea finală percepută a unei restaurări. Luminozitatea finală depinde de materialul ceramic folosit.
10. Luminozitatea finală a unei restaurări a fost influențată mai mult de grosimea decât de opacitatea materialul ceramic.
11. Valoarea diferenței de culoare ΔE nu este echidistantă față de variația parametrilor componenți: diferența de luminozitate ΔL^* , diferența de parametri cromatici Δa^* și Δb^* . Se consideră că ar fi necesară dezvoltarea unei formule îmbunătățite a diferenței de culoare.

12. Pastele de try-in, indiferent de culoare, uniformizează culoarea restaurărilor și determină intervale mai mici de variație a parametrilor culorii decât dacă nu sunt folosite. Se remarcă utilitatea lor pentru proba culorii.
13. Pastele de try-in schimbă culoarea finală a restaurărilor. Valorile ΔE depășesc limita de perceptibilitate clinică $\Delta E=1$, dar nu și limita de acceptabilitate clinică $\Delta E=3.7$. Modificarea indusă este doar clinică, nu și statistică.
14. Pasta de try-in Opaque White are un comportament complet diferit de celelalte paste.
15. Ceramica pe bază de disilicat de litiu de opacitate MO are capacitatea cea mai bună de a masca pasta de try-in subiacentă, fără a oferi diferențe semnificative statistice.
16. Odată cu creșterea discromiei substratului, mascarea prin ceramici de diferite opacități și grosimi sau paste de try-in este tot mai dificilă.

ORIGINALITATEA ȘI CONTRIBUȚIILE INOVATIVE ALE TEZEI

Studiile efectuate în cadrul tezei de doctorat aduc o contribuție științifică importantă, noutatea fiind susținută de mai multe aspecte. Teza și-a propus investigarea amănunțită a unui material ceramic de actualitate, IPS e.max Press, Ivoclar Vivadent, Liechtenstein, un material foarte versatil prin paleta largă de indicații clinice. De asemenea, au fost folosite materialul de simulare al substratului dentar Natural Die Kit și pastele de try-in Variolink II ale aceluiași producător. Folosirea materialelor oferite de același producător contribuie la uniformitatea rezultatelor.

În cadrul studiilor *in vitro* descrise în teză, pentru acuratețea rezultatelor, condițiile de studiu au fost standardizate prin:

- Folosirea de produse de la același producător, respectiv ceramica analizată, masele compozite de simulare a substratului și pastele de try-in;
- Determinarea parametrilor culorii prin mijloace instrumentale cu un spectrofotometru dentar;
- Realizarea unui mediu de iluminare constant și reproductibil pentru determinările cromatice: incintă cu sursă de lumină standardizată, așezată în cameră obscură;
- Realizarea măsurărilor de către același investigator, pentru a evita bias-ul interexaminatori.

Organizarea cercetării prin alegerea materialelor și prin standardizarea protocoalelor de studiu a dorit să confere reproductibilitate și credibilitate rezultatelor prin controlul variabilelor implicate.

Un alt element de originalitate al tezei este organizarea unitară a studiilor. Fiecare parametru implicat în obținerea unei reconstrucții dentare perfect adaptate din punct de vedere cromatic este luat în considerare într-un studiu separat și examinat în detaliu. Astfel, rezultatele furnizate sunt complete și conferă informații complexe despre materialele studiate și protocoalele de lucru vizate.

Datorită canalizării atenției către produsele aceleiași firme, rezultatele obținute oferă detalii suplimentare despre aceste materiale. Rezultatele obținute pe această cale au fost sub anumite aspect diferite de cele disponibile în literatura de specialitate. Rezultatele studiilor din literatură au fost obținute prin analiza unor materiale ceramice diferite din punct de vedere structural și pe baza unor protocoale de studiu diferite. Materialul ceramic luat în studiu în această teză este diferit din punct de vedere structural și prezintă un comportament al parametrilor cromatici diferit.

Protocolul de studiu propus în teza de doctorat de față permite un înalt grad de reproductibilitate putând fi folosit în studii ulterioare pentru analiza proprietăților specifice ale materialelor dentare..

Summary of the Ph.D. Thesis

Optical properties of dental ceramics

PhD Student **Alexandra Maria Botoș**

PhD Coordinator **Prof. Dr. Mîndra Eugenia Badea**



UMF
UNIVERSITATEA DE
MEDICINĂ ȘI FARMACIE
IULIU HAȚIEGANU
CLUJ-NAPOCA

TABLE OF CONTENTS

CURRENT STATE OF KNOWLEGDE	17
1. Choosing the right dental ceramics	19
2. Classification of dental ceramics	20
2. 1. Classification according to melting temperature	20
2. 2. Classification according to processing techniques	20
2. 3. Classification according to composition	21
3. Colour	23
3. 1. Phenomenon of colour	23
3. 2. Physiology of colour	23
3. 3. Parameters of colour	25
3. 4. CIE L*a*b* colour space	26
3. 5. Clinical significance	28
4. Optical properties of natural teeth	29
4.1. Structure of teeth	29
4.2. Optical properties of teeth	30
5. Optical properties of dental ceramics	31
5.1. Translucency and opacity	31
5.2. Fluorescence	31
5.3. Opalescence and counteropalescence	31
5.4. Colour stability	32
6. Factors that influence the perception of colour of ceramic reconstructions	33
6.1. Light source	33
6.2. Substrate	33
6.3. Thickness of restoration material	33
6.4. Structure of restoration material and technological processing method	34
7. Lithium disilicate ceramics	35
7.1. Crystalin structure	35
7.2. Colour range of IPS e.max Press ceramics	36
7.3. Light transmission	37
7.4. Technological processing - high temperature pressing	38

PERSONAL CONTRIBUTION	41
1. Objectives	43
2. General methodology	43
3. Study 1. Translucency of dental ceramics used for esthetic reconstructions	45
3.1. Background	45
3.2. Material and method	46
3.3. Results	47
3.4. Discussions	49
3.5. Conclusions	50
4. Study 2. Role of thickness and opacity of ceramics in masking of substrates	51
4.1. Background	51
4.2. Material and method	52
4.3. Results	55
4.4. Discussions	65
4.5. Conclusions	70
5. Study 3. Influence of substrate on colour perception of full ceramic reconstructions	71
5.1. Background	71
5.2. Material and method	72
5.3. Results	73
5.4. Discussions	78
5.5 Conclusions	83
6. Study 4. Influence of colour of interposed try-in pastes on colour perception of full ceramic restorations	85
6.1 Background	85
6.2 Material and method	86
6.3 Results	88
6.4 Discussions	100
6.5 Conclusions	104
7. General conclusions	105
8. Originality and innovative contributions of the thesis	107
REFERENCES	109
APPENDIX	119

Keywords: dental ceramics, lithium disilicate ceramics, colour parameters, instrumental colour evaluation, spectrophotometer, translucency, masking capacity, colour difference, substrate, try-in pastes.

INTRODUCTION

The internal structure of a tooth is very complex due to the differences in structure, consistency and toughness of the tissues present. The dental pulp is housed by the pulp chamber and has the role of vascularization and innervations of the tooth from within. The dental pulp is protected by the overlying dentin and enamel. The toughness of the dentin and especially that of the enamel is granted by their high level of mineral content. The dentin and enamel are made up of different elongated structures that are placed perpendicular on the pulp chamber and which have a divergent direction towards the exterior. Two perpendicular planes on the internal structures of dentin and enamel are formed at the level of the dentin-enamel junction and at the surface of the enamel. The optical properties of dental structures are given on one hand by the colour of existing structures and on the other hand by the optical phenomena that appear within the dental structures and at the level of dentin-enamel and enamel surface interface.

The aim of an esthetic dental reconstruction is to perfectly integrate in the dental and dento-facial ensemble. Achieving this can be difficult because of the complex structure of natural teeth. Dental ceramics are the dental reconstruction materials most solicited nowadays, both because of their biocompatibility and especially because of their very good optical properties. The layering pulp-dentin-enamel needs to be reproduced by only one material, the dental ceramics. Classically, the ceramic material was layered over a metal coping that offered the mechanical resistance, but with in turn needed to be masked.

The evolution of ceramic materials made it possible to eliminate the metal coping and to make full ceramic reconstructions with a sufficient resistance in the oral environment. The internal structure of the dentin and enamel has a great contribution to the optical behavior of the tooth. This needs to be replaced by a material with a homogenous structure and no internal organized structures. In order to adapt the dental ceramic to the clinical situation, its structure needs adjustments in the composition in order to have the optical – translucency and opacity - and colour parameters adapted to the clinical needs.

The realization of a full ceramic reconstruction implies the correct choice of the ceramic material, the correct evaluation of the substrate that needs to be covered and the right choice of the cementation material. The substrate to be covered can be a dental substrate, with no to a high degree of discoloration, or artificial in composite resin, ceramics or metal. The colour of the cementation materials can influence the final perceived colour of a reconstruction. The chromatic contribution of the cementation material to the final colour of the restoration can be tested with glycerin custom made gels, the so-called try-in pastes that have the corresponding colour of the cementation material.

The stratification ceramic material with different degrees of opacity and different thicknesses, substrate with different discolorations and interposed try-in paste or cementation material need a near to perfect match between all parameters in order to get the maximum esthetic result. The clinical challenge lies in the limits of dental ceramics, in the endless nuances of the substrate, in the unstable colours of cementation materials and not least the presence of these restorations in the oral environment.

Based on these ideas, the in vitro studies realized in this thesis followed the following:

- 1). To evaluate the relationship between translucency and thickness of dental ceramics;
- 2). To assess the masking capacity dental ceramics in different thicknesses and opacities over differently discolored substrates;
- 3). To evaluate the chromatic modifications induced by discoloured substrates when realizing full ceramic reconstructions;
- 4). To quantify the chromatic modifications induced by try-in pastes when interposed between ceramic reconstructions and different substrates.

The major contribution of the thesis resides in the complex analysis of the optical properties of a group of materials that differ from a structural point of view: laboratory composite materials, ceramic

materials, try-in pastes and their interaction. The materials were used from the same provider in order to gain maximum reliability of results.

In part, these studies were sustained by the PN-II-PT-PCCA-2011-3-2-1275 project, part of the „Partnership” programme, and subprogramme „Collaborative projects of applied research” of the National Council of Development and Innovation, Romania.

PERSONAL CONTRIBUTION

GENERAL OBJECTIVES

The objectives of the studies were:

- 1). To evaluate the relationship between translucency and thickness of lithium disilicate dental ceramics in different opacities.
- 2). To evaluate the masking capacity of lithium disilicate ceramics with clinically relevant thicknesses, when overlapped over substrates of different discolorations.
- 3). To assess the mashing capacity of lithium disilicate ceramics in different opacities, when overlapped over substrates of different discolorations.
- 4). To evaluate the contribution of the colour of the substrate to the final perceived colour of a reconstruction.
- 5). To quantify the chromatic modifications induced by try-in pastes when interposed between ceramic samples of different thicknesses and opacities and substrates of different discolorations.

Study 1. Translucency of dental ceramics used for esthetic reconstructions

Objectives

The aim of the present study was to investigate the relationship between translucency and thickness of lithium disilicate ceramics in different opacities. The null hypothesis was that the translucency of dental ceramics was not influenced by the type of ceramic material used or by its thickness.

Materials and Methods

The ceramic material investigated was the IPS e.max Press of the Ivoclar Vivadent Company in the four basic opacities: high opacity (HO), medium opacity (MO), low translucency (LT) and high translucency (HT). 100 ceramic disks (10 mm diameter) were realized by heat pressing out of the types of opacities in five thicknesses (0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5mm \pm 0.1mm), five samples for each group of thickness (n=5). The surface to be analyzed of the disks was polished with moist sandpaper up to 800 grit.

The CIE L*a*b* colour parameters were recorded with a dental spectrophotometer (VITA Easyshade®, VITA Bad Säckingen, Germany), on white and black background, with interposition of saturated sucrose solution. The lighting conditions were standardized to D65 (JUST LED Color Viewing Light, JUST Normlicht, Weilheim/Teck, Germany).

The translucency parameter (TP) was calculated based on the colour difference formula between the white and the black backgrounds. The measurements were performed for each ceramic disk upon each substrate disk three times and a mean value was calculated. Increased values of the translucency parameter signify a high translucency and low opacity, and low values of the translucency parameter point to low translucency and high opacity of the material.

The effect of the type of opacity and thickness of the ceramic material on the translucency parameter was investigated by the statistical processing of the data. The relationship between the thickness of the ceramics and the translucency parameter was investigated by using a regression curve.

Results

The mean values for the TP for the IPS e.max Press ceramics was between 5.67 and 12.78. the values for TP decreased in the order HT > LT > MO >HO, based on th opacity described by the producer and had smaller values for more translucent materials (8.74 - 12.47 for HT and 8.34 - 12.78 for LT)and higher values for more opaque materials (7.86 -12.01 for MO and 5.67 - 11.49 for HO). Also, the TP decreased with the increase in thickness for all opacities.

The double analysis of variance ANOVA revealed that the variation of both factors, opacity and thickness, as well as their interaction were statistically significant ($P<.01$). The increase of the TP in more translucent materials due to the decrease in thickness was bigger than in opaque ceramics.

The regression curve calculated for the TP depending on thickness revealed that there is an exponential relationship between the evolution of thickness and that of the TP. The correlation coefficients were very strong, with a very high statistical correlation for all of the four materials under examination ($R^2=0,981-0,998$).

Conclusions

1. The translucency parameter was strongly influenced by the thickness and opacity of the dental ceramics.
2. There is a direct proportional relation between the TP and the thickness of lithium disilicate ceramics. the higher the translucency, the higher the TP values.

Study 2. Role of thickness and opacity of ceramics in masking of substrates

Objective

The objectives of the present study were: 1. To evaluate the masking capacity of ceramic materials of different thicknesses and same opacity, overlapped over substrates with different discolorations. 2. To evaluate the masking capacity of ceramic materials of different opacities and same thickness overlapped over substrates with different discolorations.

Materials and Methods

The IPS e.max Press (IvoclarVivadent, Liechtenstein) ceramic material was used to fabricate through heat pressing ceramic disks (10 mm diameter) in the four basic opacities. The surface of the disk to be analyzed was finished with moist sandpaper up to 800 grit. The disks were realized in five thicknesses, 0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5mm \pm 0.1mm, and five pieces for each group. The combination of four opacities and five thicknesses generated 20 categories and a total of 100 disks.

In order to simulate the substrate, composite disks (10 mm diameter, 5 mm thickness)were realized from the IPS Natural Die Kit (Ivoclar Vivadent) in the nine available colour (ND1-ND9).

The ceramic disks were overlapped over the composite disks and saturated sucrose solution was placed between them. 180 (20x9) categories were obtained and 900 (100x9) possible combinations.

The CIE $L^*a^*b^*$ colour parameters were recorded with a dental spectrophotometer (VITA Easyshade® Advance, VITA Bad Säckingen, Germany), under standardized natural light D65 (JUST LED Color Viewing Light, JUST Normlicht, Weilheim/Teck, Germany). A mean value for the five disks in a group was calculated and then a minimum-maximum interval was determined for each opacity and substrate.

The colour difference was calculated based on the formula $\Delta E = ((\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2)^{1/2}$, $\Delta L^* = L_2 - L_1$ = difference in luminosity, $\Delta a^* = a_2 - a_1$ = difference in chromatic parameter on the red-green axis, $\Delta b^* = b_2 - b_1$ = difference in chromatic parameter on the yellow-blue axis.

In order to evaluate the relationship between masking capacity by means of ΔE and modification of the difference in ΔL^* , Δa^* , Δb^* parameters, the Pearson correlation test was applied ($<.001$). In order to evaluate the relationship between thickness and opacity of ceramics and its capacity to mask a substrate,

the simple and double analysis of variance was conducted, followed by Tukey Honestly Difference (HSD) or Games Howell post hoc tests (SPSS 20.0, SAS, Chicago, Ill).

Results

The mean values of the CIE $L^*a^*b^*$ parameters were $L^*=41.70 - 92.20$, $a^*=-3.0 - 9.00$, $b^*=7.70 - 49.60$. The values for luminosity had an ascending trend in the majority of situations. The a^* parameter varied between negative and positive values (green towards red) for the different substrates, with a trend almost always descending. The b^* parameter had positive values, in the yellow area, with a descending trend for all of the opacities.

The mean values for ΔE , ΔL^* , Δa^* , Δb^* on the nine substrates had an ascending trend for ΔE , ΔL^* and descending for Δa^* , Δb^* . The Pearson correlation for the pairs $-\Delta L^*$, $\Delta E-\Delta a^*$, $\Delta E-\Delta b^*$ generally presented a statistical correlation between the colour difference and the difference in luminosity ΔL^* and chromatic factors Δa^* and Δb^* ($<.001$).

One-way ANOVA analysis investigated the relationship between the thickness of ceramics and its opacity. The mean values of the parameters depending on thickness were statistically different from those depending on ceramic opacity. Two-way ANOVA proved that the interaction of the two factors, ceramics thickness and opacity, had an influence on the final colour of the restoration.

Conclusions

1. The masking capacity of ceramics increases with the increase in thickness for all opacities.
2. Lithium disilicate ceramics has the biggest masking capacity for the MO opacity, followed by HO, HT, LT opacities.
3. The correlation between the masking capacity as a colour difference ΔE and the difference in luminosity ΔL^* is directly proportional, and the correlation between ΔE and the difference of chromatic parameters Δa^* and Δb^* is indirectly proportional.
4. The masking capacity of dental ceramics 1.5mm thick is similar to that 1.2mm thick. Clinically, a thicker ceramic layer is not always justified.
5. The colour difference ΔE varies as the difference in luminosity ΔL^* ascending, and the difference in chromatic parameters Δa^* and Δb^* are parallel descending, in parallel with the increase in thickness of the ceramic layer.
6. The colour difference ΔE is not set at the same uniform difference from the difference in luminosity ΔL^* and chromatic parameters Δa^* and Δb^* . The improvement of the colour difference formula would be needed.

Study 3. Influence of substrate on colour perception of full ceramic reconstructions

Objectives

The objectives of the present study were: 1. To evaluate the chromatic contribution of the substrate when ceramic thickness varies. 2. To evaluate the chromatic contribution of the substrate when ceramics opacity varies.

Materials and Methods

Out of the four basic opacities of the IPS e.max Press system, ceramic disks (10 mm diameter) were heat pressed. The surface to be analyzed of the disks was polished with sandpaper up to 800 grit. The disks were realized in five thicknesses (0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5mm \pm 0.1mm), five pieces per group. The combination of four opacities with five thicknesses resulted in 20 categories and 100 disks ($n=5$).

The Natural Die Kit (Ivoclar Vivadent) was used to make composite disks (10mm diameter, 5 mm thick) in the nine available shades in order to simulate the substrate.

For the determination of the CIE $L^*a^*b^*$ colour parameters, ceramic disks were laid over

composite disks, with the interposition of saturated sucrose solution. 180 (20x9) categories were obtained and 900 (100x9) possible combinations.

The dental spectrophotometer VITA Easyshade® Advance (VITA, Bad Säckingen, Germany) was used to register the CIE L*a*b* colour parameters, in simulated natural daylight D65 source (JUST LED Color Viewing Light, JUST Normlicht, Weilheim/Teck, Germany).

The colour difference ΔE was calculated based on the formula $\Delta E = ((\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2)^{1/2}$, $\Delta L^* = L_2 - L_1$ = difference in luminosity, $\Delta a^* = a_2 - a_1$ = difference in the chromatic parameter on the red-green axis, $\Delta b^* = b_2 - b_1$ = difference in the chromatic parameter on the yellow-blue axis. The data thus obtained was statistically processed.

Results

The mean values for the colour difference ΔE , difference in luminosity ΔL^* , difference in chromatic parameters Δa^* and Δb^* for the nine substrates were: $\Delta E = 0.14$ to 38.46 , $\Delta L^* = -6.70$ to 33.90 , $\Delta a^* = -9.2$ to 5.22 , $\Delta b^* = -33.90$ to 2.60 . The trend of the values with the increase in thickness was ascending for ΔE and ΔL^* and descending for Δa^* and Δb^* .

The Pearson correlation for the pairs $\Delta E - \Delta L^*$, $\Delta E - \Delta a^*$, $\Delta E - \Delta b^*$ presented a statistical correlation for the most cases between the colour difference and the chromatic parameters ($<.001$).

One-way ANOVA analysis was realized for each of the parameters, meaning the pairs of values for the colour of the substrate in regard to the thickness of ceramics and the colour of the substrate in regard to the opacity of ceramics, in order to evaluate if the mean values of the two groups of values for the parameters are statistically different or not. The mean values for the pairs of values (substrate colour-ceramics thickness, substrate colour-ceramics opacity) were statistically different. This points to a mutual influence of the parameters.

Two-way ANOVA analysis determined that the variation of the ΔE , ΔL^* , Δa^* , Δb^* parameters was influenced by the interrelation of the two pairs of parameters analyzed.

Conclusions

1. The thickness of dental ceramics has the biggest importance in masking the underlying substrate.
2. Ceramic materials in opacity MO mask the substrate best, followed by Ho, HT, LT.
3. The discoloration of the substrate had a bigger influence on the final colour when more translucent ceramics were used, due to the bigger contribution of the a^* and b^* parameters.
4. The a^* and b^* chromatic parameters had a bigger contribution to the final perceived colour of a restoration.
5. Luminosity of a final reconstruction was influenced more by the thickness than the opacity of the ceramics used.
6. The ΔE colour difference varied similar to the difference in luminosity ΔL^* and opposed to the variation of the difference in chromatic parameters Δa^* and Δb^* .
7. The formula for the colour difference ΔE had limits in fidelity, especially when it was needed to evaluate very small colour differences. The formula would need to be improved and validated in future studies.

Study 4. Influence of colour of interposed try-in pastes on colour perception of full ceramic restorations

Objectives

The objectives of the present study were: 1. To evaluate the masking capacity when try-in pastes vary, same thickness of ceramics; 2. To evaluate the masking capacity when try-in pastes vary, same opacity of ceramics; 3. To evaluate the masking capacity when try-in pastes vary for the same colour of the substrate.

Materials and Methods

Lithium disilicate ceramics IPS e.max Press (Ivoclar Vivadent) in the four basic opacities was used to fabricate disks (10 mm diameter) by heat pressing. The surface to be analyzed of the disks was polished with wet silica paper up to 800 grit. The disks were made in five thicknesses 0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5mm ± 0.1mm and thus resulted 20 categories (4x5) of disks. A number of five disks was made for each category.

The composite material in the Natural Die Kit (Ivoclar Vivadent) in the nine shades was used to fabricate substrate disks (10 mm diameters, 5mm thickness).

The ceramic disks were placed over the composite disks, with the interposition of try-in paste. The try-in pastes used were those in the Variolink II try-in set (Ivoclar Vivadent) in the six available shades: Transparent (T), Bleach (BL), White (W), Opaque White (OW), Yellow (Y), Brown (B). 180 (20x9) disk categories were obtained and 5400 (100x 9 substrates x 6 try-in pastes) possible combinations.

The CIE L*a*b* colour parameters were recorded with a dental spectrophotometer (VITA Easyshade® Advance, VITA Bad Säckingen, Germany), in simulated natural daylight D65 (JUST LED Color Viewing Light, JUST Normlicht, Weilheim/Teck, Germany). The recordings were done three times for each ceramic disk - try-in paste - composite disk combination, and a mean value was calculated and recorded.

The colour difference ΔE was calculated based on the formula $\Delta E = ((\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2)^{1/2}$, unde $\Delta L^* = L_2 - L_1$ = difference in luminosity, $\Delta a^* = a_2 - a_1$ = difference in a* chromatic factor, red-green axis, $\Delta b^* = b_2 - b_1$ = difference in b* chromatic factor, yellow-blue axis.

The data was statistically processed in order to evaluate the chromatic contribution of the try-in paste to the chromaticity of a ceramic reconstruction.

Results

The mean values for the CIE L*a*b* parameters varied as following: L*= 43.00 - 94.28, a*= -3.1 - 9.54, b*= 7.52 - 47.82. the luminosity parameter had an ascending trend and a* and b* chromatic parameters had a descending trend.

The mean values for the differences ΔE , ΔL^* , Δa^* , Δb^* when try-in pastes were used ranged $\Delta E = 0.14 - 58.18$, $\Delta L^* = -17.70 - 57.00$, $\Delta a^* = -10.20 - 9.40$, $\Delta b^* = -39.30 - 10.70$. The trend was ascending for the ΔE and ΔL^* and descending for the Δa^* and Δb^* .

The Pearson correlation resulted in statistical relevance in most of the cases (<.001) for the relationship colour difference ΔE and difference in luminosity ΔL^* and colour parameters Δa^* and Δb^* .

One-way ANOVA pointed to the fact that the three factors, ceramics thickness, ceramics opacity, colour of substrate, had a positive interaction with the colour of the try-in pastes. This means that try-in pastes do interfere with the esthetic outcome of full ceramic restorations.

Two-way ANOVA demonstrated that there is a connection between the four parameters investigated for the three variable under study: interaction of ceramics thickness with try-in pastes, of ceramics opacity with try-in pastes and of substrate colour and try-in pastes.

Conclusions

1. The intervals of variation of the mean ΔE , ΔL^* , Δa^* and Δb^* values are smaller when between the ceramic disk and the composite disk a try-in paste is interposed, in comparison to sucrose solution. The variation of the colour difference ΔE is bigger both than the clinical perceptibility $\Delta E=1$ and the clinical acceptability $\Delta E=3.7$.
2. The colour difference ΔE increases proportional to the difference in luminosity ΔL^* and decreases proportional to the differences in chromatic parameters Δa^* and Δb^* .
3. The try-in paste Opaque White induces statistically significant colour modifications in comparison to the other try-in pastes.
4. The try-in pastes Transparent, Bleach, White, Yellow and Brown do not induce statistically significant colour modifications when interposed between ceramic disk and composite disk.
5. Try-in pastes contribute in a small amount to masking the underlying substrate, nomatter the thickness or opacity of the overlapping ceramic layer.
6. A thicker ceramic layer will make the visibility of the try-in paste more difficult.

7. The substrate will be more visible through the ceramic layer and the try-in paste when the discoloration increases.

GENERAL CONCLUSIONS

1. Translucency of lithium disilicate dental ceramics is influenced by the thickness and opacity.
2. Dental ceramics is translucent at clinically relevant thicknesses.
3. The luminosity of dental restorations is influenced by the material used.
4. The masking capacity of ceramics increases with thickness, independent of opacity.
5. The masking capacity of lithium disilicate ceramics is the highest for the MO opacity, followed by HO, HT and LT.
6. The colour difference ΔE increases in parallel to the increase in difference of ΔL^* and in parallel to the decrease of Δa^* and Δb^* .
7. There is a small difference, noticeable only clinically, between the masking capacity of a ceramic layer of 1,5mm in comparison to one of 1.2mm. Thus, a more accentuated preparation of the substrate is not always justified clinically.
8. The colour of the substrate will always shine through any reconstruction. The parameters primarily influenced are a^* and b^* .
9. The a^* and b^* chromatic parameters of the substrate have a predominant contribution to the final perceived colour of a restoration. The final luminosity depends on the ceramic material used.
10. The luminosity of a reconstruction depends mainly on the thickness of the ceramic layer and less on the opacity of the material.
11. The value of the colour difference ΔE does not vary independent of the parameters that determine it: the difference in luminosity ΔL^* , the difference in chromaticity Δa^* and Δb^* .
12. Try-in pastes, no matter their colour, bring uniformity to the colour of restoration and determine smaller intervals of variation for the colour parameters.
13. Try-in pastes change the final perceived colour of restorations. The values for the colour difference ΔE are bigger than the limit for clinical perceptibility $\Delta E=1$, and clinical acceptability $\Delta E=3.7$. The colour modification induced is clinically perceptible, but not statistically.
14. The try-in paste Opaque White has a totally different behaviour than the other try-in pastes.
15. Lithium disilicate ceramics in the opacity MO has the best masking capacity of the underlying try-in paste, but with no statistical differences.
16. A highly discolored substrate is difficult to be masked by ceramics of any thickness and opacity and try-in pastes.

ORIGINALITY AND INNOVATIVE CONTRIBUTIONS OF THE THESIS

The studies performed in this doctoral thesis have a significant scientific contribution. The thesis aimed at investigating the optical properties of a highly used ceramic material, the IPS e.max Press, Ivoclar Vivadent, which has a wide range of clinical indications. The material to simulate dental substrates (Natural Die Kit) was used by the same company, as well as the try-in paste kit (Variolink II). The use of materials provided by the same manufacturer gives uniformity to the results and allows observing fine details.

For the in vitro studies presented in the thesis, in order to ensure result accuracy, methods were standardized:

- By using products manufactured by the same company: dental ceramics, composite materials, try-in pastes.
- By determining the colour parameters through instrumental methods with a dental spectrophotometer
- By providing a standardized lighting environment in a dark room.
- By having the measurements done by the same investigator, in order to eliminate inter-examiner bias.

Another element of originality of the thesis is the unitary organization of the studies. Each parameter involved in the realization of a dental reconstruction that is chromatically perfectly adapted was considered in a separate study and examined in detail. This way, the results are thorough and give complex information about the studied materials and the protocols indicated.

Given that the studies used material of the same manufacturer, the results give extra information about them. The results obtained in these studies were different than those in literature on other ceramics. These other studies were performed on ceramics different from a structural point of view and based on different protocols. The ceramic material studied in this thesis is different from a structural point of view and has a different behavior of the chromatic parameters.

The study protocol used in the thesis allows for a high level of reproducibility of the results and can very reliably be used for future studies that evaluate specific traits of materials.