

A. Vichi^a, M. Carrabba^b, C. Louca^c, G. Corciolani^d, M. Ferrari^e

Color correspondence of different batches of TriLuxe CAD/CAM ceramic blocks

Farbentsprechungen bei unterschiedlichen Chargen von TriLuxe-CAD/CAM-Keramikrohlingen

- a D.D.S., M.S., Ph.D., Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Abteilung für Dentalmaterialien, Zahnmedizinische Klinik, Universität Siena, Italien
- b D.D.S., Ph.D., Student, Abteilung für Dentalmaterialien, Zahnmedizinische Klinik, Universität Siena, Italien
- c B.Sc., B.D.S., Ph.D., Senior Clinical Lecturer, Eastman CPD, UCL Eastman Dental Institute, London, Großbritannien
- d D.D.S., M.S., Ph.D., Abteilung für Dentalmaterialien, Zahnmedizinische Klinik, Universität Siena, Italien
- e M.D., D.D.S., Ph.D., Professor und Direktor, Abteilung für Dentalmaterialien, Zahnmedizinische Klinik, Universität Siena, Italien

- a DDS, MS, PhD. Researcher, Department of Dental Materials, School of Dentistry, University of Siena, Siena, Italy
- b DDS, PhD. Student, Department of Dental Materials, School of Dentistry, University of Siena, Siena, Italy
- c BSc, BDS, PhD. Senior Clinical Lecturer, Eastman CPD, UCL Eastman Dental Institute, London, United Kingdom
- d DDS, MS, PhD. Department of Dental Materials, School of Dentistry, University of Siena, Siena, Italy
- e MD, DDS, PhD. Professor and Chair, Department of Dental Materials, School of Dentistry, University of Siena, Siena, Italy

Zusammenfassung

TriLuxe-Keramikrohlinge für die Herstellung von CAD/CAM-Zahnersatz in der Praxis weisen eine farbliche Schichtung auf, damit eine natürliche Ästhetik entsteht und nur noch eine abschließende Glasierung erforderlich ist. Ziel dieser Studie war die Untersuchung der Farbkonsistenz bei TriLuxe-Rohlingen unterschiedlicher Farben. Untersucht wurden TriLuxe-Rohlinge in den drei im Handel erhältlichen Farben (1M2C, 2M2C, 3M2C) für das Cerec-CAD/CAM-System. Für jede der drei Farben wurden unterschiedliche Materialchargen untersucht, und zwar jeweils fünf Rohlinge. Die Messungen erfolgten mit einem Spektralfotometer mit Integrationskugel

Abstract

TriLuxe ceramic blocks for chairside CAD/CAM procedures are color layered to allow natural esthetics, and only require subsequent glazing. The purpose of this study was to compare color repeatability of different batches of TriLuxe blocks. The three commercially available shades (1M2C, 2M2C, 3M2C) of TriLuxe blocks for the Cerec CAD/CAM system were examined. For each of the three colors, three different batches were tested, 5 blocks each. The measurements were made using a spectrophotometer equipped with an integrating sphere using the CIE Lab* colorimetric system. One-way ANOVA showed that the factor "Production Batch" was not statistically significant.

APPLICATION

Regarding ΔE , none of the 315 color comparisons (neither within the same shade, nor between specimens of the same batch, nor between specimens from different batches) exceeded the proposed $\Delta E=3.3$ threshold for clinical acceptability. All the different batches of the different shades of VITA TriLuxe blocks for the Cerec system showed the high degree of color correspondence necessary in industrially prefabricated CAD/CAM blocks.

Keywords: ceramic, color, CAD/CAM, chairside, Cerec, spectrophotometer.

Introduction

Chairside CAD/CAM technology has been an important and reliable procedure for many years.¹⁻⁹ However, its widespread acceptance is limited by some factors, including the less than excellent esthetic results. The single color of the ceramic blocks used in this procedure has limited the esthetic performance of the technique [10]. For this reason, a veneering process is used which requires the services of a dental technician, thereby limiting one of the major advantages of CAD/CAM technology in dentistry, that is, the reduced time for the fabricating process. In order to overcome this esthetic limitation, a new concept of ceramic blocks was introduced in 2003, called TriLuxe (Vita Zahnfabrik; Bad Säckingen, Germany). TriLuxe is a layered block with the potential for excellent esthetic results. The TriLuxe blocks are made of feldspathic ceramic and are produced with a three-layer concept. The intermediate layer is the nominal shade, while the lower layer shows an increased chroma and more opacity, and the upper layer has a reduced chroma and increased translucency.¹¹

The CAD/CAM system (Cerec, Sirona; Bensheim, Germany) software was consequently updated in order to be able to position the designed restoration into the block to correctly imitate the opacity/translucency gradient of the natural tooth. This high-end technology was further developed in 2007 with the introduction of the TriLuxe Forte blocks (Vita Zahnfabrik), in which 4 layers were fabricated in order to even better imitate natural tooth anatomy.

The TriLuxe ceramic blocks were originally intended to help facilitate the veneering procedure for the dental

im CIELab*-Farbsystem. Einfaktorielle ANOVA zeigten, dass der Faktor „Produktionscharge“ statistisch nicht signifikant war. Für keinen der 315 Farbvergleiche (zwischen Prüfmustern derselben Standardfarbe, derselben Charge oder unterschiedlicher Chargen) lag der Ergebniswert über der angenommenen Schwelle ($\Delta E = 3,3$) für die klinische Akzeptabilität. Alle unterschiedlichen Chargen der verschiedenen Grundfarben des Vita TriLuxe-Rohlings für das Cerec-CAD/CAM-System weisen die hohe Farbübereinstimmung auf, die bei industriell gefertigten CAD/CAM-Rohlinge zu fordern ist.

Schlüsselwörter: Keramik, Farbgebung, CAD/CAM, chairside, Cerec, Spektralfotometer

Einleitung

Schon seit Jahren gilt die CAD/CAM-Technik als wichtige und zuverlässige Technik zur Vor-Ort-Herstellung von Zahnersatz in der zahnärztlichen Praxis¹⁻⁹. Jedoch stehen verschiedene Faktoren einer breiteren Akzeptanz entgegen, hierzu zählt insbesondere das ästhetische Ergebnis, das meist nicht hervorragend ist. Die einheitliche Färbung der verwendeten Keramikrohlinge ermöglicht für diese Technik nur begrenzt ästhetische Ergebnisse¹⁰. Aus diesem Grund arbeitet man zusätzlich mit Verblendungen, wobei jedoch die Dienste eines Labors hinzugezogen werden müssen; damit wird einer der größten Vorzüge der CAD/CAM-Technik – die kurzen Produktionszeiten – teilweise wieder hinfällig.

Um die ästhetischen Beschränkungen zu überwinden, wurde 2003 ein neuer Typ eines Keramikrohlings unter dem Namen TriLuxe eingeführt (Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen). TriLuxe ist ein geschichtetes Material mit hervorragendem ästhetischen Potenzial. Die TriLuxe-Rohlinge bestehen aus einem Feldspat-Keramikmaterial in drei Schichten. Die mittlere Schicht entspricht der jeweiligen Standardfarbe. Die untere Schicht zeichnet sich durch eine höhere Farbsättigung und Opazität aus, die obere Schicht durch geringere Farbsättigung und höhere Transluzenz¹¹.

Die Software des dazugehörigen CAD/CAM-Systems (Cerec, Sirona, Bensheim) wurde dahin gehend erweitert, dass die virtuelle Krone im Rohling so positioniert wird, dass der Opazität-/Transluzenzgradient des natürlichen Zahns korrekt nachempfunden wird. 2007 wurde

diese Technik mit der Einführung der TriLuxe-Forte-Rohlinge (Vita Zahnfabrik) erneut weiterentwickelt, deren vier Schichten die Anatomie des natürlichen Zahns noch besser imitieren sollen.

Die TriLuxe-Keramikrohlinge sollten ursprünglich dem Zahntechniker das Verblenden erleichtern, indem sie ihm bereits vorgeschichtete Kronen an die Hand geben. Die Zahnärzte sollten bei der Versorgung direkt in der Praxis ein deutlich besseres ästhetisches Ergebnis erzielen können.

Bei der industriellen Fertigung dieser geschichteten Rohlinge kommt ein monoaxiales Trockenstreckverfahren zum Einsatz. Hierbei wird das Keramikpulver in eine Form gefüllt und mit einer Stanzpresse kompaktiert¹². Um die drei (TriLuxe) bzw. vier (TriLuxe Forte) unterschiedlichen Schichten innerhalb desselben Rohlings zu erhalten, werden unterschiedlich gefärbte Keramikpulver nacheinander in die Form gefüllt. Die verschiedenen Pulver vermischen sich beim Einfüllen im Kontaktbereich zwangsläufig und gehen ineinander über¹³. Einer der angeblichen Vorteile der industriell gefertigten Rohlinge gegenüber dem manuellen Keramikaufbau ist die so erzielbare Reproduzierbarkeit^{10,14} aus mechanischer wie ästhetischer Sicht; die Farbkonstanz genießt bei der Herstellung derartiger Rohlinge höchste Priorität. Da beim Befüllen der Form durch Vermischung in den Übergangsbereichen zwischen den Schichten theoretisch Abweichungen in der endgültigen Farbe auftreten können, sollte in dieser Studie die produktionsbedingte Farbkonstanz untersucht werden.

Die Nullhypothese lautete, dass das bei der Herstellung von TriLuxe verwendete Fertigungsverfahren dazu führt, dass sich unterschiedliche Materialchargen farblich unterscheiden.

Material und Methoden

Untersucht wurden TriLuxe-Rohlinge (Vita Zahnfabrik) in den drei verschiedenen Standardfarben (1M2C, 2M2C, 3M2C), wie sie für das Cerec CAD/CAM-System (Sirona) gefertigt werden. Von den drei verschiedenen erhältlichen Rohlingsgrößen wurde eine ausgewählt (12 x 14 mm). Rohlinge von 10 x 12 mm wurden nicht getestet, weil sie zu klein sind, um die Öffnung der Integrationskugel des verwendeten Spektralfotometers (OceanOptics PSD1000) problemlos abzudecken.

technician, who could then work on an "almost ready" layered restoration, and at the same time allow the clinicians to significantly improve the esthetic performance of the chairside procedure.

The industrial production of such a layered block is based on a uniaxial dry pressing procedure. In this process, the ceramic powder is filled into a mold and compacted by a stamping press.¹² In order to obtain the three or four different layers incorporated within one single block of TriLuxe and TriLuxe Forte, differently colored powders are filled into the mold one after the other. The various powders mix automatically in the marginal zones during filling.¹³ As one of the supposed advantages of industrially prefabricated blocks compared to the hand-made ceramic approach is the degree of mechanical and esthetic reproducibility achievable,^{10,14} the constancy of the color is a priority in the production of such blocks. As the filling procedure with auto-mixing in the transition areas between the various layers may theoretically cause differences in final color, the aim of this study was to test the constancy of the color production.

The null hypothesis was that the production method used in TriLuxe fabrication may lead to differences between different batches of blocks.

Materials and Methods

The three available shades of TriLuxe blocks (Vita Zahnfabrik) for the Cerec CAD/CAM system (Sirona) were selected (1M2C, 2M2C, 3M2C). One size of block was selected (12 x 14 mm) among the three available. The 10 x 12 mm blocks were not tested because they are too small to conveniently cover the integrating sphere opening of the spectrophotometer (OceanOptics PSD1000; Dunedin, FL, USA). The 14 x 14 mm blocks were also not tested because their layering pattern and layer thickness are exactly the same as in the 12 x 14 mm blocks; only the width is different. For each of the three colors, three different batches were investigated. For each batch of each color, 5 blocks were measured, for a total of 45 specimens. In order to measure the color and evaluate the reproducibility of the chromatic properties of the blocks, a spectrophotometer (OceanOptics PSD1000) was used. The spectrophotometer was equipped with an integrating sphere (OceanOptics ISP-REF) with a 0.4-inch opening. The spectrophotometer was connected to a

APPLICATION

computer running color measurement software (OOILab 1.0, Ocean Optics). D65 illumination and a 10-degree standard observation angle were selected. Measurements were made over an average of 10 scans, using the CIELab* colorimetric system.¹⁵

Measurements were taken by placing the translucent (coronal) layer of the blocks in contact with the integrating sphere opening. A jig was used to hold the blocks in a central and reproducible position directly over the integrating sphere opening. A 50% gray card (Kodak; Rochester, NY, USA) was used as a neutral background. L^* a^* b^* values, calculated by the spectrophotometer, are reported in Table 1. The data were statistically analyzed. Normality of data distribution and variance homogeneity in the groups were both verified using the Kolmogorov-Smirnov test and the Levene test, respectively. Three one-way ANOVAs were applied for each color, in order to determine the significance of the differences in color correspondence between the different batches tested, assuming L^* , a^* b^* values are the dependent variables and the batch as factor. In all the analyses, the level of significance was set at $p < 0.05$. The software used was SPSS 16.0 (SPSS, Chicago, IL, USA).

By applying the formula $\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$ it was possible to calculate ΔE and evaluate the differences in color.¹⁶ Since the ability of the human eye to appreciate color differences varies from individual to individual (as it is a combination of eye characteristics and operator skill), two different intervals were used for distinguishing color differences.¹⁷

Values of $\Delta E \leq 3.3$, even if perceptible by a skilled operator, were regarded as clinically acceptable. Values of $\Delta E > 3.3$ were considered to be distinguishable by an unskilled subject, such as the patient, and were therefore clinically not acceptable.¹⁷⁻²⁰

For each of the three shades and using the proposed formula, each specimen was compared with all the other specimens of the same nominal color, giving a total of 105 color comparisons for each shade.

Results

The colorimetric data using the CIELab* system and measured using a spectrophotometer are reported in Table 1. In Table 2, the statistically analyzed data are shown. In the first row, the shade is reported; for each color, the columns

Rohlinge von 14 x 14 mm wurden nicht getestet, weil hier die Schichtung im Muster und in der Stärke identisch ist mit den Rohlingen von 12 x 14 mm und sich nur die Breite unterscheidet. Für jede der drei Farben wurden drei unterschiedliche Materialchargen untersucht, und hier wiederum jeweils fünf Rohlinge, insgesamt also $3 \times 3 \times 5 = 45$ Prüfmuster. Die Farbmessungen und die Bewertung der Reproduzierbarkeit der Farbeigenschaften der Rohlinge erfolgten mit dem genannten Spektralfotometer. Die Integrationskugel (OceanOptics ISP-REF) des Spektralfotometers wies eine Öffnung von etwa 1,0 cm auf. Das Spektralfotometer selbst war an einen Rechner mit Farbmessungssoftware angeschlossen (OOILab 1.0, Ocean Optics, Dunedin, Florida, USA). Als Einstellungen wurden eine D65-Normbeleuchtung und ein Standardbeobachtungswinkel von 10° gewählt. In zehn Scandurchgängen wurden die Durchschnittswerte der Messungen im CIELab*-Farbsystem ermittelt¹⁵. Dabei wurde die transluzente (koronale) Schicht der Rohlinge in Kontakt mit der Öffnung der Integrationskugel gebracht. Die Blöcke wurden unter Verwendung einer Spannvorrichtung direkt über der Öffnung der Integrationskugel in einer zentralen und reproduzierbaren Position festgehalten. Als neutraler Hintergrund diente ein Karton in 50 % Grau (Kodak, Rochester, New York, USA).

Die vom Spektralfotometer berechneten L^* a^* b^* -Werte sind in Tabelle 1 dargestellt. Die Daten wurden statistisch analysiert. Die Normalverteilung der Daten und die Homogenität der Varianzen in den Gruppen wurden mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test bzw. dem Levene-Test überprüft. Für jede Farbe wurden drei einfaktorielle Varianzanalysen durchgeführt, um die Signifikanz der Farbunterschiede zwischen den verschiedenen getesteten Chargen zu überprüfen. Hierbei wurden die L^* a^* b^* -Werte als abhängige Variablen und die Charge als Faktor definiert. Das Signifikanzniveau wurde für alle Analysen auf $p < 0,05$ festgelegt. Die Berechnungen wurden mit SPSS 16.0 durchgeführt (SPSS, Chicago, IL, USA). Mithilfe der Formel $\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$ konnten ΔE errechnet und die Farbunterschiede ermittelt werden¹⁶. Da die Fähigkeit des menschlichen Auges zur Wahrnehmung von Farbunterschieden individuell unterschiedlich ausgeprägt ist (sie hängt von den Eigenschaften der Augen selbst sowie der Schulung des Betrachters ab), wurden für die Bestimmung von Farbdifferenzen zwei unterschiedliche Intervalle festgelegt¹⁷. Werte von

Table 1 Measured data in the CIELab* color system.
Tab. 1 Messdaten nach dem CIELab*-Farbsystem.

Shade Farbe	Batch Charge	Sample Prüfmuster	L* L*	a* a*	b* b*
1M2C	20500	1	71.56	-1.24	6.74
		2	70.54	-1.31	6.51
		3	70.86	-1.17	6.66
		4	70.31	-1.40	6.20
		5	70.95	-1.25	6.33
	27780	6	70.37	-1.30	6.49
		7	70.06	-1.23	6.64
		8	70.74	-1.28	6.11
		9	70.58	-1.34	6.40
		10	70.05	-1.35	6.42
	31200	11	70.82	-1.23	6.58
		12	70.62	-1.31	6.49
		13	70.72	-1.28	6.70
		14	70.29	-1.29	6.83
		15	70.98	-1.26	7.05
2M2C	17520	16	68.48	-1.54	12.68
		17	68.54	-1.67	12.87
		18	68.13	-1.48	12.51
		19	68.32	-1.33	12.64
		20	68.94	-1.55	12.89
	17670	21	68.90	-1.70	13.45
		22	68.20	-1.37	12.49
		23	68.32	-1.09	12.43
		24	68.74	-1.41	12.22
		25	68.65	-1.35	12.35
	19030	26	68.20	-1.57	12.99
		27	67.98	-1.63	13.05
		28	68.45	-1.44	13.00
		29	68.32	-1.32	13.12
		30	68.89	-1.68	12.87
3M2C	13660	31	63.61	-2.04	18.66
		32	63.13	-2.67	20.19
		33	63.15	-2.45	19.68
		34	62.76	-2.58	20.30
		35	63.40	-2.51	20.47
	19030	36	62.84	-2.26	19.51
		37	63.58	-2.36	19.77
		38	63.31	-2.43	19.89
		39	63.44	-2.15	19.63
		40	63.02	-2.33	19.84
	28030	41	63.14	-2.64	20.27
		42	63.34	-2.34	20.12
		43	62.98	-2.45	20.22
		44	63.01	-2.12	19.35
		45	63.20	-2.20	20.21

APPLICATION

Table 2 Mean (standard deviation) and p-values.

Tab. 2 Mittelwert (Standardabweichung) und p-Werte.

	1M2C 1M2C			2M2C 2M2C				3M2C 3M2C			
Batch Charge	L* L*	a* a*	b* b*	Batch Charge	L* L*	a* a*	b* b*	Batch Charge	L* L*	a* a*	b* b*
20500	70.84 (0.47)	-1.27 (0.09)	6.49 (0.22)	17520	68.48 (0.30)	-1.51 (0.12)	12.72 (0.16)	13660	63.21 (0.32)	-2.45 (0.24)	19.86 (0.73)
27780	70.36 (0.31)	-1.30 (0.05)	6.41 (0.19)	17670	68.56 (0.29)	-1.38 (0.22)	12.59 (0.49)	19030	63.24 (0.30)	-2.30 (0.11)	19.73 (0.16)
31200	70.69 (0.29)	-1.27 (0.03)	6.73 (0.22)	19030	68.37 (0.34)	-1.53 (0.15)	13.00 (0.09)	28030	63.13 (0.15)	-2.35 (0.21)	20.03 (0.39)
p value p-Wert	0.136	0.735	0.086		0.625	0.356	0.125		0.820	0.505	0.620

show the production batch of the series evaluated, the mean and the standard deviation of L* (lightness), a* (redness-greenness) and b* (yellowness-blueness). The final row of Table 2 shows the p-value (significance) for each variable.

The Kolmogorov-Smirnov test revealed that the recorded data were normally distributed ($p > 0.05$).

One-way ANOVA performed for each variable showed that the factor "Production Batch" was not statistically significant.

Regarding the color comparison, none of the 315 color comparisons performed exceeded the proposed $\Delta E = 3.3$ threshold value. For this reason, it can be considered that even for the ΔE value, no clinically appreciable differences were found for samples of the same shade, neither between different specimens of the same batch, nor between specimens from different batches.

Discussion

No differences were found between the three batches examined for each of the three shades; these findings lead to the rejection of the null hypothesis.

In recent years, the demand for more esthetic restorations and for less time consuming techniques has increased, both from patients and clinicians. There is also a desire to reduce the financial cost of such restorations.

$\Delta E \leq 3,3$, auch wenn sie von einem geschulten Beobachter wahrgenommen werden konnten, galten als klinisch akzeptabel. Werte von $\Delta E > 3,3$ wurden als klinisch nicht akzeptabel betrachtet, da sie von einem ungeschulten Beobachter wie beispielsweise dem Patienten wahrgenommen werden konnten¹⁷⁻²⁰.

Für jede der drei geprüften Standardfarben wurde jedes Prüfmuster nach der vorstehenden Formel mit allen anderen Prüfmustern derselben Standardfarbe verglichen. Dies ergab insgesamt 105 Farbvergleiche pro Standardfarbe.

Resultate

Die mit dem Spektralfotometer erhaltenen kolorimetrischen Daten im CIELab*-System sind in Tabelle 1 aufgeführt. Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse der statistischen Analyse. Die erste Zeile enthält die Farbbezeichnung. Die Spalten für die einzelnen Farben zeigen die Bezeichnung der geprüften Produktionscharge sowie Mittelwert und Standardabweichung für L* (Helligkeit), a* (rot-grün) und b* (gelb-blau). Die unterste Reihe von Tabelle 2 zeigt den Signifikanzwert p für die einzelnen Variablen. Der Kolmogorov-Smirnov-Test zeigte, dass die Daten normal verteilt waren ($p > 0,05$). Mit der einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) konnte gezeigt werden, dass der Faktor Produktionscharge statistisch nicht signifikant war.

Bei den 315 Farbvergleichen wurde der festgelegte Grenzwert von $\Delta E = 3,3$ in keinem Fall überschritten. Daher ist davon auszugehen, dass auch für den ΔE -Wert keine klinisch relevanten Unterschiede zwischen Prüfmustern der gleichen Standardfarbe vorlagen, weder zwischen verschiedenen Prüfmustern derselben Charge noch zwischen Prüfmustern unterschiedlicher Chargen.

Diskussion

Für keine der drei Standardfarben wurden Unterschiede zwischen den untersuchten Produktionschargen gefunden. Die Nullhypothese war damit zurückzuweisen.

In den letzten Jahren ist die Nachfrage nach ästhetischen Restaurationen und weniger zeitraubenden Produktionstechniken sowohl von Patienten- als auch von Zahnarztseite weiter gestiegen. Auch der Wunsch nach geringeren Kosten wird mit Nachdruck vorgebracht. Durch die Entwicklung der CAD/CAM-Technik können diese Forderungen erfüllt werden.

Das Cerec-System wurde vor über 20 Jahren mit dem Ziel entwickelt, Patienten noch am gleichen Tag mit dentalkeramischen Restaurationen versorgen zu können. Die Technik wurde im Lauf der Jahre immer weiter ausgebaut, und die jüngsten Verbesserungen haben eine höhere Akzeptanz und größere Verbreitung in den zahnärztlichen Allgemeinpraxen bewirkt.

Die Verbesserungen der Aufnahmetechnik, darunter Laserscans von Gipsmodellen, die Verwendung von Intraoralkameras und optischen Scannern haben die Zahl der verfügbaren Ansätze erhöht.

Die Konstruktionsphase (CAD) konnte erheblich von Verbesserungen der verwendeten Software profitieren, bei der nicht mehr nur eine Datenbank von Standardformen zur Verfügung steht, sondern auch individuell angepasste anatomische Formen gestaltet werden können. Die Konstruktionsphase konnte darüber hinaus erheblich verkürzt werden und liefert inzwischen Ergebnisse, die den Erwartungen des Zahnarztes an die Anatomie erheblich besser entspricht als früher.

Auch die Produktionsphase (CAM) des Verfahrens konnte durch schnellere und präziser arbeitende Systeme wesentlich verbessert werden²¹. Das neue MC XL-Gerät (Sirona) fräst 1,6-mal so schnell wie das frühere inLab-Gerät und mit einer Auflösung von $6,25 \mu\text{m}$ statt $12,5 \mu\text{m}$ sowie einer Genauigkeit von $25 \mu\text{m}$ gegenüber $30 \mu\text{m}$ ²².

The development of CAD/CAM technology has made it possible to fulfill these requirements.

The Cerec system was introduced over 20 years ago with the aim of creating a dental ceramic restoration within the same day. The technique has evolved over the years, and recent improvements in the system have resulted in wider acceptance and use in general dental practice.

Improvements in image acquisition have resulted in several available options, including the use of laser-scanning of stone models, intraoral cameras, and optical scanners. The computer-assisted design (CAD) phase of the procedure has benefitted significantly from software improvements that have progressed beyond a database of standard shapes, to the selection of more customized anatomy. The design phase has now been shortened and is capable of producing results that are much closer to the clinical anatomical requirements.

The computer-assisted manufacture (CAM) phase of the procedure has also been substantially improved with systems that are faster and more precise.²¹ The new MC XL device (Sirona) is able to mill 1.6 times faster than the former inLab machine, with a milling step of $6.25 \mu\text{m}$ instead of $12.5 \mu\text{m}$ and an accuracy of $25 \mu\text{m}$ vs $30 \mu\text{m}$.²² Another important, continuously evolving aspect is the range of materials available. The entire system is based on the machining of a single monolithic block of ceramic, and currently the following materials can be used: feldspathic ceramic, In-Ceram alumina, In-Ceram spinell, In-Ceram zirconia, lithium disilicate, aluminum oxide, and zirconium oxide. Each one of these materials has different properties and can be selected for different clinical situations.^{10,14}

Most of these materials require a final layering with ceramic, which in most cases limits the possibility of having a totally chairside procedure. The feldspathic ceramic is the only material that can be considered truly chairside.

Traditional feldspathic ceramic has two main limitations. It is a relatively weak material (130-160 MPa) and although its strength can be improved with adhesive cementation of the final restoration, it is still limited by the occlusal forces exerted during mastication.^{9,10,23} The second main limitation relates to its esthetic performance. Traditional feldspathic blocks such as Mark II (Vita Zahnfabrik) and IPS-Empress CAD HT/LT (Ivoclar; Schaan, Liechtenstein) are in fact monochromatic. This leads to monochromatic final restorations, with which it is difficult to achieve an excellent esthetic result with the final surface coloring procedure.¹⁴

Vitapan TriLuxe blocks were designed to improve the esthetic performance of feldspathic ceramic blocks. These blocks are fabricated in three layers, where the central layer is the nominal shade, the lower layer has a higher chroma, and the highest layer is more translucent. The TriLuxe blocks are produced in three different colors using the Vitapan 3D-Master shade guide, 1M2C, 2M2C and 3M2C. The use of the TriLuxe blocks, as well as TriLuxe Forte, which has four layers, allows the clinician and/or dental technician to produce a milled restoration with a chromatic and opacity gradient that is much closer to that of a natural tooth. Such restorations have less need of individual characterization, and in the case of posterior restorations, the final treatment may be reduced to just finishing, that can be performed either by a glaze layer or by manual finishing and polishing.

TriLuxe blocks and the high technology approach they represent should also ensure that different batch production is reproducible. The differences found between the three batches for each color were very low. The measured standard deviations were always lower than $\Delta E = 0.5$ except for the b^* value of batch 13660 of 3M2C, which was $\Delta E = 0.73$. This clearly demonstrates the reproducibility of the manufacturing process. The L^* , a^* , b^* values showed no statistically significant differences between the three groups.

When the traditional formula for calculating color differences was applied, 286 color comparisons of 315 (90.8%) were below or equal to 1.0; this value has been regarded as only instrumentally detectable, and is not perceptible with the naked eye.¹⁷

The other 29 calculated ΔE measurements (9.2%) were between 1.0 and 1.9; these values are visually hardly perceptible by a trained operator and are regarded to be clinically irrelevant.^{17-20,24,25}

Conclusion

The different batches of the three different shades of VITA TriLuxe blocks for the Cerec CAD/CAM system showed a high degree of color correspondence. Thus, they can fulfill the requirements of high color repeatability necessary in industrially prefabricated CAD/CAM blocks. IJCD

Ebenfalls vorangetrieben wird die Entwicklung bei neuen verfügbaren Materialien. Das System basiert auf dem Fräsen monolithischer Keramikblocks. Derzeit können die folgenden Materialien bearbeitet werden: Feldspatkeramik, In-Ceram Alumina, In-Ceram Spinell, In-Ceram Zirconia, Lithiumdisilikat, Aluminiumoxid und Zirkonoxid. Alle diese Materialien haben unterschiedliche Eigenschaften und können für unterschiedliche klinische Anforderungen eingesetzt werden^{10,14}. Die meisten Materialien erfordern eine abschließende keramische Verblendung, was in den der Mehrzahl der Fälle einen vollständigen Abschluss direkt in der zahnärztlichen Praxis verhindert. Eine Ausnahme bildet hier nur die Feldspatkeramik.

Herkömmliche Feldspatkeramik unterliegt zwei wesentlichen Einschränkungen. Zum einen ist es ein relativ schwaches Material (130-160 MPa); auch wenn sich die Festigkeit durch adhäsive Zementierung der Restauration verbessern lässt, so hat das Material immer noch den Kaukräften verhältnismäßig wenig Widerstand entgegenzusetzen^{9,10,23}. Die zweite Einschränkung bezieht sich auf die ästhetische Wirkung. Herkömmliche Feldspatkeramik-Rohlinge wie Mark II (Vita Zahnfabrik) und IPS-Empress CAD HT/LT (Ivoclar, Schaan, Liechtenstein) sind monochromatisch. Damit sind auch die daraus gefertigten Restaurationen monochromatisch, und auch mit der abschließenden Färbeprozedur lässt sich nur schwer ein hervorragendes ästhetisches Ergebnis erzielen¹⁴.

Vitapan-TriLuxe-Rohlinge werden zu dem expliziten Zweck vermarktet, den ästhetischen Schwächen von Feldspatkeramik abzuhefen. Bei diesen Rohlingen entspricht die mittlere Schicht der Grund- oder Standardfarbe. Die untere Schicht ist charakterisiert durch eine höhere Farbsättigung, die obere Schicht durch eine höhere Transluzenz. Die TriLuxe-Rohlinge gibt es in drei verschiedenen Standardfarben entsprechend dem Vitapan 3-D-Master-Farbschlüssel: 1M2C, 2M2C und 3M2C.

Mit den TriLuxe-Rohlingen (und mit TriLuxe Forte mit seiner Vierfachsichtung) können der Zahnarzt und/Zahntechniker gefräste Restaurationen mit Farbsättigungs- und Opazitätsgradienten herstellen, die dem natürlichen Zahn viel näher kommen. Bei diesen

geschichteten Rohlingen wird eine individuelle Charakterisierung längst nicht mehr so zwingend benötigt; bei Kronen im Seitenzahnbereich kann sogar eine reine Glasierung ausreichen.

Der Hauptgrund, TriLuxe zu entwickeln, war der Wunsch nach einer besseren ästhetischen Wirkung. Bei einer solchen Hochtechnologie müsste auch sichergestellt werden, dass das Ergebnis auch bei Verwendung unterschiedlicher Produktionschargen immer das gleiche ist. Die Unterschiede zwischen den jeweils drei Produktionschargen pro Standardfarbe waren ausgesprochen gering. Die gemessene Standardabweichung lag stets unterhalb von $\Delta E = 0,5$. Eine Ausnahme war der b^* -Wert von Charge 13660 der Farbe 3M2C mit $\Delta E = 0,73$. Hierin zeigt sich deutlich die Reproduzierbarkeit innerhalb des Herstellungsprozesses.

Die statistische Analyse der $L^*a^*b^*$ -Werte zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Gruppen. Mit der herkömmlichen Formel zur Berechnung von Farbunterschieden ergab sich bei 286 von 315 Farbvergleichen (90,8 %) ein Wert von maximal 1,0. Ein solcher Wert gilt als visuell nicht wahrnehmbar und nur mit Instrumenten nachzuvollziehen¹⁷.

Die anderen 29 berechneten ΔE -Werte (9,2 %) lagen zwischen 1,0 und 1,9 und damit in einem Bereich, der visuell allenfalls durch einen geschulten Beobachter nachzuvollziehen ist und als klinisch irrelevant gilt^{17-20,24,25}.

Schlussfolgerung

Unterschiedliche Chargen der verschiedenen Grundfarben des Vita-TriLuxe-Rohlings für das Cerec-CAD/CAM-System weisen eine hohe Farbübereinstimmung auf und erfüllen daher die hohen Anforderungen an die Farbproduzierbarkeit, wie sie bei industriell gefertigten CAD/CAM-Rohlingen zu stellen sind. IJCD

References

1. Bindl A, Mörmann WH. An up to 58-months clinical evaluation of posterior in Ceram CAD/CAM core crowns. *Int J Prosthodont* 2002;51:451-456.
2. Mörmann WH, Krejci I. Computer-designed inlays after 5 years in situ: clinical performance and scanning electron microscope evaluation. *Quintessence Int* 1992;23:109-115.
3. Zuellig-Singer R, Bryant RW. Three year evaluation of computer machined ceramic inlays: influence of luting agent. *Quintessence Int* 1998;29:573-582.
4. Reiss B, Walther W. Clinical long-term results and 10-year Kaplan-Meier survival analysis of Cerec CAD/CAM inlays. *Int J Comput Dent* 2000;3:9-23.
5. Bindl A, Richter B, Mörmann WH. Survival of ceramic computer-aided design/manufacturing crowns bonded to preparations with reduced macroretention geometry. *Int J Prosthodont* 2005;18:219-224.
6. Posselt AK, Kerschbaum T. Longevity of 2328 chairside Cerec inlays and onlays. *Int J Comput Dent* 2003;6:231-248.
7. Martin N, Jedynakiewicz NM. Clinical performance of CEREC ceramic inlays: a systematic review. *Dental Mater* 1999;15:54-61.
8. Otto T, De Nisco S. Computer-aided direct ceramic restorations: a 10-year prospective clinical study of Cerec CAD/CAM inlays and onlays. *Int J Prosthodont* 2002;15:122-128.
9. Pallesen U, van Dijken JWV. An 8-year evaluation of sintered ceramic and glass ceramic inlays processed by the CEREC CAD/CAM system. *Eur J Oral Sci* 2000; 108:239-246.
10. Giordano R. Materials for chairside restorations CAD/CAM-produced. *J Am Dent Assoc* 2006;137:14-21.11. Kurbad A, Reichel K. All-ceramic primary telescopic crowns with Cerec inLab. *Int J Comput Dent* 2003;6:103-111.
12. Della Bona A. Bonding to ceramics. Sao Paulo: Artes Medicas, 2009:143.
13. CAD/CAM Blocks – how are they actually produced? Vita Zahnfabrik technical bulletin 1516E 2008, page 4.
14. Conrad HJ, Seong WJ, Pesun IJ. Current ceramic materials and systems with clinical recommendations: A systematic review. *J Prosthet Dent* 2007;98:389-404.
15. Vichi A, Fraioli A, Davidson CL, Ferrari M. Influence of thickness on color in multi-layering technique. *Dent Mater* 2007;23:1584-1589.

16. Clarke FJJ. Measurement of the color of human teeth. In: McLean JW (ed). Dental ceramics: Proceedings of the first international symposium on ceramics. Chicago: Quintessence Pub Co Inc., 1983:441-489.
17. Vichi A, Ferrari M, Davidson CL. Color and opacity variations in three different resin-based composite products after water aging. Dent Mater 2004;20:530-534.
18. Inokoshi S, Burrow MF, Kataumi M, Yamada T, Takatsu T. Opacity and color changes of tooth-colored restorative materials. Oper Dent 1996;73-80.
19. Kim HS, Um CM. Color differences between resin composites and shade guides. Quintessence Int 1996;27:559-567.
20. Um CM, Ruyter IE. Staining of resin-based veneering materials with coffee and tea. Quintessence Int 1991;22:377-386.
21. Estafan D, Dussetschleger F, Agosta C, Reich S. Scanning Electron Microscope evaluation of CEREC II and CEREC III inlays. Gen Dent 2003;51:450-454.
22. Sirona Dental Systems GmbH. Cerec inLab Operating Manual vers. D3329.201.01.09.02 03-2003 page 9; MC-XL Operating Manual vers. D3439.201.01.01.02 09-2006, page 42.
23. Chang JC, Hart DA, Estey AW, Chan JT. Tensile bond strengths of five luting agents to two CAD-CAM restorative materials and enamel. J Prosthet Dent 2003;90:18-23.
24. Johnston WM, Kao EC. Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. J Dent Res 1989;68:819-822.
25. Seghi RR, Hewlett ER, Kim J. Visual and instrumental colorimetric assessments of small color differences on translucent dental porcelain. J Dent Res 1989;68:1760-1764.



Address/Adresse: Dr. Alessandro Vichi, DDS, MS, PhD. Researcher, Department of Dental Materials, School of Dentistry, University of Siena, Siena, Italy. Policlinico "Le Scotte", Strada delle Scotte 14, 53100, Siena, Italy. Tel.: +39 05 64 2 53 84
E-mail: vichialessandro@virgilio.it

Dr Alessandro Vichi DDS, MS, PhD

Researcher and Teacher in the Restorative Dentistry and Dental Materials Department of the Dental School of the University of Siena, Italy

MSc in Dental Materials at the University of Siena and PhD in Dental Materials at the University of Amsterdam
more than 100 scientific papers in national and international journals

lecturer at international meetings

fellow of the Academy of Dental Materials

Dr. Alessandro Vichi D.D.S., M.S., Ph.D.

Wissenschaftler und Universitätslehrer an der Abteilung für restaurative Zahnmedizin und Dentalmaterialien der zahnmedizinischen Klinik der Universität Siena, Italien
M.Sc. (Dentalmaterialien) der Universität Siena, und Ph.D. (Dentalmaterialien) der Universität Amsterdam
Verfasser von mehr als 100 wissenschaftlichen Artikeln in nationalen und internationalen Fachzeitschriften
Vorträge im Rahmen von internationalen Konferenzen
Fellow der Academy of Dental Materials