

**EINS
ZWEI
DREI
VIER
FÜNF
SECHS**

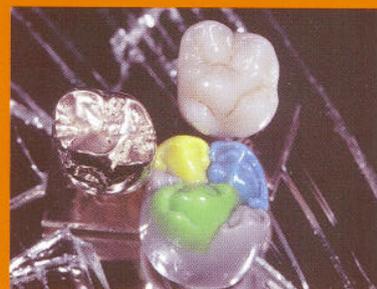
DENTALZEITUNG

Fachhandelsorgan des **B V D**
Bundesverband Dentisten e.V.

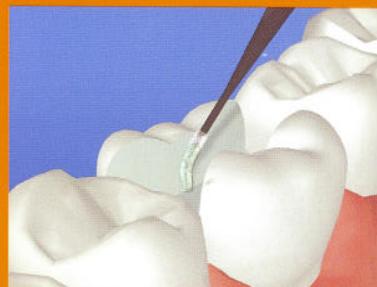
**Polymerisations-
lampen der zweiten
Generation**



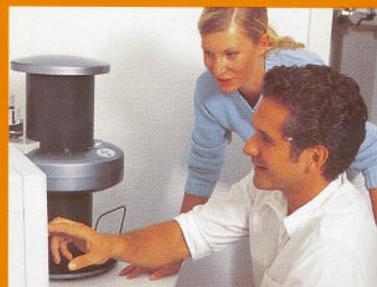
**Aufwachsen –
Die Kunst
der Umsetzung**



**Im Test –
Mikrobürsten**



Produktinformationen



**Kleingeräte für
die Praxis
Modellier- und
Aufwachsmaterialien**



Studie Teil 1/ Konstruktionsprinzipien

Die LED-Lampen der zweiten Generation

Was passiert genau bei einer Photopolymerisation? Unter diesem Blickwinkel wurde die MiniLED der Firma Satelec by Acteon Group von Wissenschaftlern der Universität Montpellier, Frankreich, entwickelt. Sie erforschten und erklären hier die Bedeutung bestimmter Faktoren für die Entwicklung einer Lampe der zweiten Generation. Die folgende Studie wird in drei Teilen diesen Prozess genau darstellen und aufzeigen, welche Aspekte konkret berücksichtigt wurden.

Autoren: Prof. François Duret und Dr. Bruno Pellissier, Universität Montpellier; Hervé Noui, Firma SED-R, Fleury d'Aude



Prof. François Duret,
Montpellier

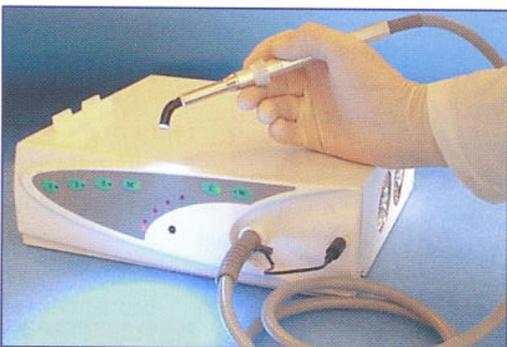
■ **Wir werden die einzelnen Phasen** beschreiben, die unsere Arbeit am besten dokumentieren, und die von uns getroffenen Entscheidungen bei der Entwicklung der MiniLED begründen. Es geht uns darum, Ihnen zu erklären, warum wir diese Wahl getroffen haben.

Die Photopolymerisationsreaktion

In der ersten Phase beschäftigten wir uns mit dem Studium der Photopolymerisationsreaktion. Diese Reaktion ist in der zahnmedizinischen Fachwelt nicht sonderlich bekannt.



Eine LED-Lampe der ersten Generation: die e-Light mit 64 LEDs (250 mW).



Eine Plasmalampe der zweiten Generation, die Apollo 99.

Die verwendeten Komponenten

Wir verwendeten eine Reihe von Geräten und Kenngrößen wie etwa das DSC¹ für die Kinetik, Vickers und Knoop Härte 0,025 für die zonale Effizienz² und unser Radiometer mit Integrationskugel³ für die Wattleistung oder den Energiefluss. Wellenlängen wurden mit Occli- oder Borover-Filtern ausgewählt und das Spektrum mit unserem Spektralphotometer.⁴ Nicht zuletzt kamen unsere Plasmalampe (Apollo 95E) sowie LED-Lampen der ersten Generation (DMD und GC e-Light) zum Einsatz. Dies ermöglichte uns die folgenden Beobachtungen, die wir Ihnen vorstellen möchten:

Die Bestandteile eines Dentalkomposits können in drei Hauptkategorien gegliedert werden:

- ▶ kunstharzartige Komponenten, die für die Polymerisation verantwortlich sind
- ▶ im Maschenwerk integrierte Füllkörper, die sogar mit Enzymen bestückt sein können
- ▶ Hilfskomponenten (Beschleuniger, Farbstoffe etc.).

Wir interessieren uns für die Reaktion der kunstharzartigen Komponenten, für die Polymerisationsreaktion. Diese beschreibt die genannte Reaktion und so bildet sich das charakteristische Netzwerk des Dentalkomposits.

Diese Polymerisationsreaktion ist ein chemischer Vorgang, bei dem kleine Moleküle (Monomere) in Makromoleküle umgewandelt werden. In der Zahnheilkunde werden hauptsächlich zwei Moleküle verwendet: ein Aminmolekül (A) oder Brückenmolekül und ein anderes Epoxy-Molekül (B), dessen bekanntester Ver-

¹ DSC: TA Instrument Q100

² Leica: VMHT 30, FT 9929194

³ Melles Griot BO/DO/623.1

⁴ SM 240 BV60094 Spektralphotometer und Spectrem LNK

treter das Bis-GMA ist. Das so gebildete makromolekulare Produkt wird als das Kopolymer bezeichnet. Die Reaktion besteht dann aus der Verknüpfung dieser Monomer-Moleküle, die in unseren Kompositspritzen enthalten sind.

Abgesehen von wenigen Ausnahmen, bei denen auch das Aminmolekül (A) das lichtempfindliche Molekül sein kann, sind diese Moleküle nicht lichtempfindlich. Die von uns verwendeten Lampen haben keinen Einfluss auf sie. Sie sind deshalb nicht von besonderem Interesse, wenn es darum geht, die wesentlichen Eigenschaften unserer Photopolymerisationslampe zu definieren. Damit sie sich verbinden, benötigen die beiden Moleküle (A) und (B) Energie von außen, die von einem dritten Molekül geliefert wird, das als Photoinitiator bezeichnet wird. Der bekannteste (und meistverwendete) Photoinitiator ist Kampherchinon (Campherquinone oder CQ). Dieses Molekül ist sehr wichtig, da es die Komponente ist, die durch Licht stimuliert werden muss, um die Photopolymerisationsreaktion auszulösen.

Die Reaktion selbst

Ausgehend von einer bestimmten Menge dieser drei Moleküle, die im Medium noch getrennt sind, können wir ein großes, kompaktes, dreidimensionales Netzwerk bilden, das umso bedeutender ist, je zahlreicher und enger die Bindungen sind, die es formen. Diese Bindungen erleichtern die Brückenbildung (oder das Bonding), das an hochspezifischen Stellen (oder Radikalen) auftritt, die zur Reaktion bereit sind. Vorausgesetzt, sie erhalten eine ausreichende Menge an Energie.

Nicht alle Stellen reagieren. Einige bleiben bis zu einem gewissen Grad unbesetzt. Dieser unbefriedigende Zustand macht sie instabil und aktiv, was erklärt, warum sie oft Allergien auslösen (obwohl dies heute umstritten ist). Der Prozentsatz aller verfügbaren Stellen, die überhaupt reagiert haben, gibt den so genannten Polymerisationsgrad an. Dieser schwankt in unseren Dentalkomposits von 65 bis 80%, abhängig von den Faktoren, die eingesetzt werden, um die Reaktion zu begünstigen. Um ein Komposit mit guten biologischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften zu erhalten, muss dieser Prozentsatz so hoch wie möglich sein, damit die Reaktion eine optimale Anzahl von Bindungen schafft.

Diese Stellen müssen stimuliert werden, d.h. sie müssen genügend Bindungsenergie besitzen, damit sie reagieren und die Bindung auslösen können. Weder Bis-GMA (B) noch das Aminmolekül (A) besitzen diese Energie. Diese Energie wird durch das Photoinitiator-Molekül (CQ) auf sie übertragen, das Energie aus der Sonnenstrahlung absorbieren kann, in dem es die Energie aus Lichtphotonen in chemische Stimulation umwandelt.

Die Rolle der Lampe besteht speziell darin, diese Lichtenergie zu liefern, um das Photoinitiator-Molekül zu stimulieren, so wie Licht Chlorophyll dazu stimuliert, die Reaktion der Photosynthese auszulösen. Es muss

daher eine perfekte Korrelation zwischen dem Photoinitiator-Molekül und dem von unserer Lampe emittierten Licht bestehen.

Die Photopolymerisationsreaktion kann von Dentalkomposits wie folgt zusammengefasst werden. Das Licht stimuliert das photosensitive Molekül (das CQ), das diese Stimulation auf das kleine Aminmolekül (A) überträgt; dieses wiederum nutzt die Stimulation, um durch Schaffung von Bindungen eine Brücke zwischen den größeren Molekülen (B) aus Bis-GMA zu bilden. Schließlich ist es, sobald der Photoinitiator stimuliert ist, nur noch eine Frage der Energieübertragung, an der das Licht aus der Lampe nicht mehr beteiligt ist.

Wir haben unsere Anstrengungen aus diesem Grund darauf konzentriert, zu verstehen, was während der Stimulation des Photoinitiator-Moleküls geschieht: Diese Lichtenergie muss so gewählt werden, dass sie in der Lage ist, eine ausreichende Menge verwertbarer Energie für die Stimulation des Photoinitiator-Moleküls zu produzieren. Die LED der MiniLED muss in der Lage sein, das Photoinitiator-Molekül zu stimulieren.

Unbedingt erforderliche Kriterien einer LED-Lampe

Mit diesen Kriterien definieren wir die Regeln und Funktionen, die für die MiniLED unbedingt erforderlich sind, damit sie eine hochqualitative Photopolymerisation gewährleisten kann. Die grundlegenden Kriterien sind die Elemente, die die physiko-chemischen Eigenschaften der Lichtwelle, oder genauer gesagt, die Lichtleistung und ihre Wellenlänge definieren.

Eine geeignete Wellenlänge

Das Licht zur Aktivierung von Kampherchinon (CQ)



Die Mini-LED in ihre Teile zerlegt.

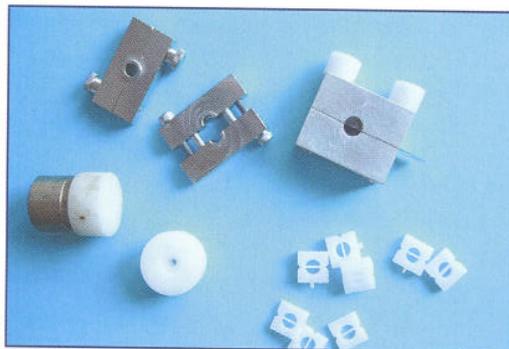
In der nächsten Ausgabe der Dentalzeitung wird dieser Beitrag fortgesetzt.

muss im blauen Spektrum liegen, genauer zwischen 420 und 480 nm, wie von vielen Autoren gezeigt wurde. Die maximale Empfindlichkeit (oder CQ-Absorption) bei Wellenlängen (λ) liegt zwischen 450 und 470 nm. Je weiter wir uns außerhalb dieses Bereichs befinden und je weniger lichtempfindlich das Molekül ist, desto mehr muss dieser Mangel an Reaktivität durch zusätzliche Energie kompensiert werden.

Wir haben entsprechend dieser Position im Spektrum die Menge an erforderlicher Energie grob geschätzt, die auf beiden Seiten der idealen Wellenlänge von 460 nm benötigt wird. Für diese Schätzung kann eine Formel verwendet werden, die die zu liefernde Wattleistung (Y) und die Wellenlänge kombiniert:

$$Y(\lambda) = 0,1 \cdot [(\lambda/100) - (460/100)]^2$$

Diese Formel zeigt, dass bei einer Abweichung von der Absorptionskurve des Photoinitiators der Reaktion die Lampe die Wattleistung erhöhen oder andernfalls die Belichtungszeit beträchtlich verlängert werden muss. Es ist deshalb unverzichtbar, eine Lichtquelle zu wählen, die sich ausschließlich auf diesen Bereich konzentriert. Jenseits von 410 nm und 490 nm gibt es keine signifikante Wirkung mehr auf die Photoaktivierung, unabhängig von der gelieferten Energie (Y). Warum ist nur dieses blaue Licht aktiv? Weil die Aktivierung des CQ-Moleküls mit dem Füllen einer Schachtel (Quantenschleuder) mit einer präzisen Menge an Energie vergleichen lässt. Die auf dem Molekül auftreffenden Photonen (die sich hinsichtlich ihrer Energie für jede Wellenlänge unterscheiden) liefern exakt die Menge an Energie, mit der die Schachtel gefüllt werden kann – nicht mehr und nicht weniger. Dieser Bereich entspricht den Photonen im blauen Spektrum.



Passives Kühlsystem der LED.



Die Mini-LED der Firma Acteon.

Eine Photopolymerisationslampe muss sich deshalb im blauen Spektrum zwischen 440 und 480 nm befinden. Das ist der Grund, weshalb wir uns dafür entschieden haben, den Emissionsbereich der MiniLED auf 450 +/- 30 nm zu legen, den Bereich, der ein Minimum an Zeit und Energie für ein Maximum an Wirksamkeit erfordert. Es ist keine zusätzliche Strahlung nötig, da diese keinen anderen Zweck erfüllen würde als UV-Strahlen oder Wärme zu liefern.

Einige Lampen verfügen über mehrere LEDs (bei 420 nm und 470 nm), da es Komposits gibt (weniger als 1% des gesamten Markts), die anstelle von CQ PPDs (Phenyl-Propandione) als Photoinitiator verwenden – einen weniger gelben Photoinitiator mit einer Empfindlichkeit zwischen 300 und 450 nm. Wir halten diese Komplizierung aus folgenden Gründen für uninteressant:

- ▶ Eine LED, wie wir sie verwenden, ist bei 445 nm immer noch sehr leistungsstark, einer Wellenlänge mit einem Drittel der PPD-Absorption. Bei 445 nm ist eine LED, wie wir sie gewählt haben, immer noch in der Lage, die Hälfte ihrer Wattleistung zu liefern, d.h. etwa 250 mW, wogegen die vier kleinen LEDs, die bei 420 nm emittieren, 50-mal schwächer sind und so bestenfalls 20 mW liefern, d.h. zwölfmal weniger Energie (Info: 64 LEDs dieser Generation waren nötig, um 250 mW zu produzieren, verglichen mit gerade einer LED der zweiten Generation mit einer Produktion von 500 mW).
- ▶ Es sollte beachtet werden, dass die Zeit mit 2 oder 2,5 zu multiplizieren ist; andernfalls müssen Schichten von weniger als 2 mm aufgetragen werden, um diese Art von Komposit mit der MiniLED zu verwenden.
- ▶ Unserer Meinung nach erschien es einfacher, einen Wechsel des Komposits zu empfehlen, als eine Beeinträchtigung der Wirksamkeit der MiniLED zu riskieren, wenn die Optik-Anordnung kompliziert wird (Abweichung vom Zentralstrahl, mehrere Linsen und so Reduktion der Leistung). Dies ist typischerweise die Wahl eines Ausrüstungskonzepts.

Für uns schien es aus wissenschaftlicher Sicht logisch, die MiniLED mit einer LED zu entwickeln, deren Energie perfekt in der Achse der Lichtführung verläuft und die eine maximale Wattleistung im Bereich zwischen 450 und 460 nm besitzt, um eine optimale Wattzahl im Kampherchinonbereich und genügend Leistung für die Polymerisation der PPDs zu haben. Die Lösung mit zusätzlichen LEDs wird erst sinnvoll, wenn wir LEDs der zweiten Generation in diesem Wellenlängenbereich haben. In diesem Fall muss das gesamte Design von LED-Lampen überprüft werden.

Als wir unsere Lampe dann im Hinblick darauf entwickelten, die optimale Lichtübertragung in Richtung Zahn sicherzustellen (perfekte Positionierung in der optischen Achse und mögliche optische Oberflächenbehandlung zur Vergrößerung der numerischen Öffnung der Lichtführung), war der zweite entscheidende Faktor die Lichtleistung. ◀◀