



Ewolucja materiałów do druku 3D stosowanych w produkcji szyn dentystycznych

LuxaPrint Ortho Comfort

LuxaPrint Ortho Comfort i ewolucja materiałów do druku 3D

Druk 3D na dobre zagościł w branży stomatologicznej, gdzie jest wykorzystywany jako cyfrowa technologia produkcji. Metoda ta jest chętnie stosowana w codziennej praktyce ze względu na swoje zalety ekonomiczne oraz możliwość szybkiej i wydajnej produkcji modeli odlewanych i aparatów. Jedną z wyjątkowych cech produkcji addytywnej, która odróżnia ją od technologii klasycznych lub wytwarzania subtrakcyjnego z wykorzystaniem frezowania CAD/CAM, jest to, że utworzona zostaje wyłącznie określona geometria komponentu (oraz wszelkie niezbędne struktury pomocnicze), która zostanie faktycznie wykorzystana, i to bez użycia jakichkolwiek innych narzędzi formujących. Taka metoda jest znacznie bardziej wydajna pod względem wykorzystania zasobów oraz ogólnie bardziej zrównoważona niż inne rozwiązaniaⁱ. Ponieważ opłacalność druku 3D rośnie wraz ze wzrostem złożoności komponentów i zmniejszeniem produkowanych ilości, branża stomatologiczna jest głównym kandydatem do wykorzystania tej technologii. Przy wartości rocznej sprzedaży na poziomie około 4 mld dolarów stanowi ona prawie jedną trzecią całego rynku produkcji addytywnejⁱⁱ. Niemal każda wyprodukowana część jest unikatowa i prawie każda powierzchnia charakteryzuje się wysokim stopniem złożoności. Po wytwarzaniu modeli stomatologicznych w szeregu różnych wskazań wytwarzanie szyn jest jednym z głównych zastosowań druku 3D w stomatologii z użyciem materiałów polimerowychⁱⁱⁱ.

Większa wydajność dzięki systemom druku 3D

Do drukowania szyn dentystycznych w technologii 3D wykorzystuje się również modele uzębienia pacjenta, co pozwala na sprawdzenie lub dalszą modyfikację dopasowania szyn. Ta metoda jest reliktem produkcji bez rozwiązań cyfrowych i oferuje stomatologom wysoki stopień pewności co do gotowego aparatu. Podejście to jest coraz bardziej przestarzałe ze względu na rozwój specjalistycznych systemów druku

3D przeznaczonych dla branży stomatologicznej oraz sprawdzonych procedur, które zapewniają precyzję i powtarzalność w przypadku produkcji obiektów drukowanych. Zastosowanie skanerów cyfrowych oraz specjalistycznego oprogramowania do projektowania, takiego jak DentaMile connect, w połączeniu z doświadczeniem użytkownika, pozwala na precyzyjną produkcję szyn dentystycznych bez konieczności korzystania z drukarki 3D czy tradycyjnie wytwarzanego modelu odlewanego. Oznacza to, że cała ścieżka leczenia pacjenta – od skanowania uzębienia, przez projektowanie i wykonanie szyny przy użyciu drukarki 3D, aż po polerowanie i umieszczenie w jamie ustnej – można zająć niewiele ponad godzinę. Dzięki tej oszczędności czasu leczenie można przeprowadzić nawet podczas jednej wizyty. Oprócz znacznego zwiększenia komfortu pacjentów podejście to zapewnia również korzyści organizacyjne i ekonomiczne dla klinik stomatologicznych.

Zalety nowoczesnych żywic do druku 3D

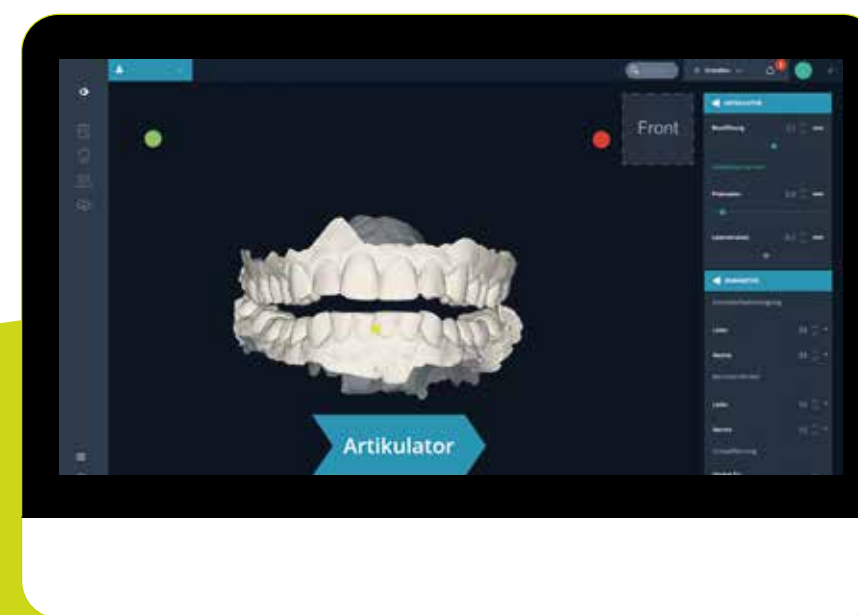
Żywice wykorzystywane w druku 3D do produkcji szyn dentystycznych są dostępne od wielu lat. Pierwsza generacja tych materiałów umożliwiała produkcję twardych i sztywnych szyn zgryzowych stosowanych u pacjentów z bruksizmem (zgrzytających zębami) lub używanych jako retainery po leczeniu ortodontycznym. Choć materiały te nadają się do wielu wskazań i spełniają wszelkie wymogi prawne i kliniczne, są kruche, co oznacza, że ich odporność na złamanie stanowi pewne ograniczenie. Taki materiał może się rozbić pod wpływem silnego uderzenia, np. gdy upadnie na twardą podłogę lub zlew. Wynika to ze skrajnie odmiennej mikrostruktury chemicznej, która różni się zwłaszcza od szyn produkowanych tradycyjnie, szyn frezowanych lub formowanych próżniowo z tworzywa

termoplastycznych. Tworzywa takie mogą być również twarde, ale są bardziej rozszerzalne, a przez to trwalsze i bardziej odporne na pęknięcia niż drukowane w technologii 3D odpowiedniki materiałów pierwszej generacji.

Druga generacja materiałów do produkcji szyn charakteryzuje się elastycznymi, a w niektórych przypadkach również sprężystymi materiałami o różnym stopniu twardości. W zależności od charakterystycznego profilu są one stosowane jako nakładki wybielające, szyny do pośredniego mocowania zamków ortodontycznych czy sportowe ochraniacze na zęby. Materiały te są odporne na pękanie, ale jednak zbyt miękkie, a czasem również niewystarczająco wytrzymałe, aby można je było stosować do produkcji szyn zgryzowych.

Na rynku dostępna jest już trzecia generacja żywic do druku 3D przeznaczonych do produkcji szyn dentystycznych. Dzięki tym żywicom możliwe jest tworzenie szyn, które są twarde, ale jednocześnie lekko elastyczne, a przez to odporne na pękanie. Materiały te są wytrzymałe, a ich wyjątkowa elastyczność oznacza wyjątkowy komfort dla pacjentów oraz idealne przystosowanie do produkcji szyn zgryzowych. Do tej kategorii zalicza się również opracowany niedawno przez firmę DMG materiał LuxaPrint Ortho Comfort.

W tym artykule przedstawiono wyzwania, z jakimi spotykamy się podczas opracowywania materiałów do produkcji szyn, a także zalety materiału LuxaPrint Ortho Comfort w porównaniu z innymi, lekko elastycznymi materiałami trzeciej generacji.



Przykładowe wskazanie oprogramowania DentaMile connect



LuxaPrint Ortho Comfort

Po wielu latach badań nad żywicami do druku 3D do zastosowań stomatologicznych firma DMG opracowała materiał przeznaczony do produkcji szyn zgryzowych, który łączy w sobie wszystkie zalety wcześniejszych generacji materiałów. Materiał LuxaPrint Ortho Comfort pozwala na produkcję bezbarwnych i transparentnych, lekko elastycznych, komfortowych, a przede wszystkim odpornych na pękanie szyn. Wyjątkowa formuła tego materiału jest całkowicie pozbawiona pigmentów i zapewnia niezwykłą łatwość pracy bez konieczności potrząsania czy czekania, co jeszcze bardziej skraca proces produkcji. DMG

DentaMile gwarantuje ponadto płynną i sprawdzoną procedurę od projektu szyny aż po obróbkę końcową, dzięki czemu po każdym procesie drukowania 3D pacjenci otrzymują dokładny, biokompatybilny i wygodny aparat. Niewielka zawartość monomerów rozcieńczających¹ w płynnej żywicy gwarantuje najwyższe bezpieczeństwo i biokompatybilność drukowanych obiektów, a także niezliczone inne korzyści, np. doskonałe siły przywracające i minimalną wrażliwość na temperaturę, dzięki czemu szyna zachowuje optymalną elastyczność i dopasowanie po każdym wprowadzeniu do jamy ustnej.

¹ Monomery rozcieńczające to małe, reaktywne cząsteczki dodawane do żywic do druku 3D, zazwyczaj w bardzo małych dawkach, aby nadać im niską lepkość i umożliwić wykorzystanie ich do drukowania.

Transparentność i kolor

Z perspektywy pacjenta bardzo ważne jest, aby szyny dentystyczne były wysoce transparentne i całkowicie bezbarwne. W idealnych warunkach takie właściwości sprawiają, że nawet z bliska trudno będzie zauważyć, że ktoś nosi aparat, albo będzie to wręcz niemożliwe. Im bardziej dyskretnie, tym lepiej. Stwarza to jednak poważne wyzwania dla twórców materiałów.

Pochłanianie i kolor

W procesie drukowania żywicę do druku naświetla się światłem ultrafioletowym o długości fali 385 nm lub 405 nm. Światło to jest następnie pochłaniane przez żywicę, co sprawia, że materiał ulega utwardzeniu. Ponieważ fale o długości 405 nm to światło widzialne, a fale o długości 385 nm są bardzo zbliżone do zakresu widzialnego, światło w drukarce 3D wydaje się niebieskie. Oznacza to również, że do rozpoczęcia reakcji utwardzania chemicznego konieczne jest, aby żywica pochłonęła pewną ilość światła widzialnego, co nadaje jej lekko żółtawy kolor. Jest to nieakceptowane przez użytkowników, bo przekłamuje naturalny odcień zębów. Ponadto wiele surowców wykorzystywanych w druku 3D ma już lekko żółte zabarwienie. Jego intensywność może jeszcze wzrosnąć w czasie noszenia szyny ze względu na warunki atmosferyczne lub inne procesy starzenia.

Jedną z metod często stosowanych przez wielu producentów jest dodawanie niebieskich barwników lub pigmentów, które neutralizują ten lekko żółty odcień. W rezultacie uzyskuje się odcień niebieski, który jest bardziej akceptowany przez pacjentów niż wyraźnie żółty, chociaż tak naprawdę preferowanym rozwiązaniem jest szyna bezbarwna.

LuxaPrint Ortho Comfort – pozbawiony pigmentu i dyskretny

Pigmenty kolorowe mają również pewne wady. W rzeczywistości pigmenty to drobne cząsteczki. Po dokładnym wymieszaniu z żywicą nadają jej odcień, a pojedyncze cząsteczki nie są widoczne. Podczas

przechowywania cząsteczki te wytrącają się i opadają na dno butelek z żywicą – zwłaszcza podczas dłuższego przechowywania. Pamiętając o tym zjawisku, materiały zawierające pigmenty należy przed użyciem dokładnie wymieszać. Zazwyczaj wystarczy po prostu wstrząsnąć pojemnikiem, jednak w przypadku niektórych żywic, aby zapewnić równomierne rozproszczenie pigmentów, konieczny jest zakup dodatkowego sprzętu lub mieszalników. Tak czy inaczej takie podejście jest nieefektywne i czasochłonne. Wstrząsanie i mieszanie powodują również wprowadzenie do żywicy pęcherzyków powietrza, a w trakcie drukowania szyny muszą być ich pozbawione. Oznacza to, że po wstrząśnięciu trzeba odczekać pewien czas, zanim będzie można przetworzyć materiały w drukarce 3D. W związku z tym niemożliwe jest użycie materiału bez odpowiedniego przygotowania. W praktyce szyn nie można wydrukować na żądanie, a czas potrzebny na ukończenie całego procesu znacznie się wydłuża.

Tymczasem pozbawiona pigmentów formuła LuxaPrint Ortho Comfort nie wymaga potrząsania ani żadnego innego przygotowania. Żywicę można wykorzystać natychmiast, w dowolnym momencie, co pozwala na drukowanie na żądanie w gabinecie stomatologicznym i produkcję szyn w trakcie jednej wizyty. Zastosowanie wysokiej jakości żywic i dodatków sprawia, że produkowane szyny zgryzowe są całkowicie bezbarwne i transparentne, jak pokazano na Rysunku 1, a przez to przyjemnie dyskretnie podczas noszenia.



Rysunek 1: Porównanie kolorów dwóch szyn. Strona lewa: LuxaPrint Ortho Comfort, strona prawa: elastyczna szyna wytworzona przez innego producenta

Odporność na pękanie i zawartość monomerów

Ewolucja, jaką przeszły materiały do produkcji szyn – od pierwszych kruchych żywic do dostępnych obecnie, odpornych na pęknięcia i lekko elastycznych formuł – to efekt intensywnych badań prowadzonych przez producentów materiałów oraz wsparcia dostawców surowców, którzy wraz ze wzrostem popularności technologii druku 3D oferują coraz więcej nowych rozwiązań o ciekawych właściwościach. Kluczowe właściwości umożliwiające produkowanie szyn odpornych na pękanie to wysoka rozszerzalność i zrównoważona sztywność.

Wysoka zawartość monomerów dla wysokiej rozszerzalności – łatwy sposób

Jednym ze sposobów na osiągnięcie wysokiej rozszerzalności jest wykorzystanie pewnych określonych monomerów rozcieńczających, które po utwardzeniu są w pewnym stopniu podobne do materiałów termoplastycznych, takich jak szyny formowane próżniowo. Jedną z wad tej klasy substancji jest to, że nawet niewielkie ilości nieprzereagowanych cząsteczek mogą być przyczyną nieprzyjemnego zapachu i smaku produkowanych wyrobów. W najgorszym przypadku mogą wywoływać alergie i podrażnienia, niemniej jest to mało prawdopodobne pod warunkiem ścisłego

przestrzegania specyfikacji przetwarzania. W tej części opisano, dlaczego walidacja i przestrzeganie określonych procesów produkcyjnych są tak bardzo istotne dla bezpieczeństwa i niezawodności wyrobów medycznych.

Aby uzyskać pożądany wysoki stopień rozszerzalności i wytrzymałości na pękanie, niektóre materiały do produkcji szyn zawierają duże ilości tych monomerów rozcieńczających. Sprawia to, że takie szyny nie nadają się do stosowania na stałe. Inną cechą związaną z dużą zawartością monomerów jest wysoka wrażliwość na wahania temperatury, przez co materiały wykazujące dobre właściwości w temperaturze występującej w jamie ustnej (37°C) są często bardzo sztywne w temperaturze pokojowej. Z tego powodu często zaleca się podgrzanie szyn przed założeniem, aby umożliwić ich wygodne dopasowanie. Z kolei inne materiały można komfortowo stosować w temperaturze pokojowej, ale są one zbyt miękkie w jamie ustnej, aby mogły spełniać pożądane funkcje. Wysoka zawartość pewnych monomerów rozcieńczających oznacza również, że chociaż szyny są elastyczne i sprężyste, brakuje im wystarczających sił przywracających pierwotny kształt. Jeżeli zostaną kilkakrotnie założone lub poddane działaniu innych sił, może dojść do utraty dokładnego dopasowania lub wypadnięcia szyny.

Materiał LuxaPrint Ortho Comfort firmy DMG zawiera bardzo małe ilości monomeru w płynnej żywicy i doskonale sprawdza się w kontekście kwestii opisanych powyżej. Szeroko zakrojone testy biologiczne i chemiczne gwarantują, że wszystkie zatwierdzone przez firmę DMG procesy drukowania pozwalają wyprodukować biokompatybilne i bezpieczne szyny, które są bezzapachowe i bezsmakowe oraz charakteryzują się doskonałym rozkładem sił przywracających, co oznacza, że szyny zachowują swój pierwotny kształt, a tym samym optymalne dopasowanie nawet po częstym zakładaniu lub silnych uderzeniach, takich jak zginanie lub upuszczanie.

Rysunek 2 przedstawia elastyczność (moduł sprężystości) materiału LuxaPrint Ortho Comfort oraz innych dostępnych na rynku lekko elastycznych materiałów do produkcji szyn w temperaturze pokojowej (strona lewa) i w temperaturze jamy ustnej (strona prawa). W tym miejscu wyraźnie widoczna staje się zaleta niskiej wrażliwości LuxaPrint Ortho Comfort na temperaturę.

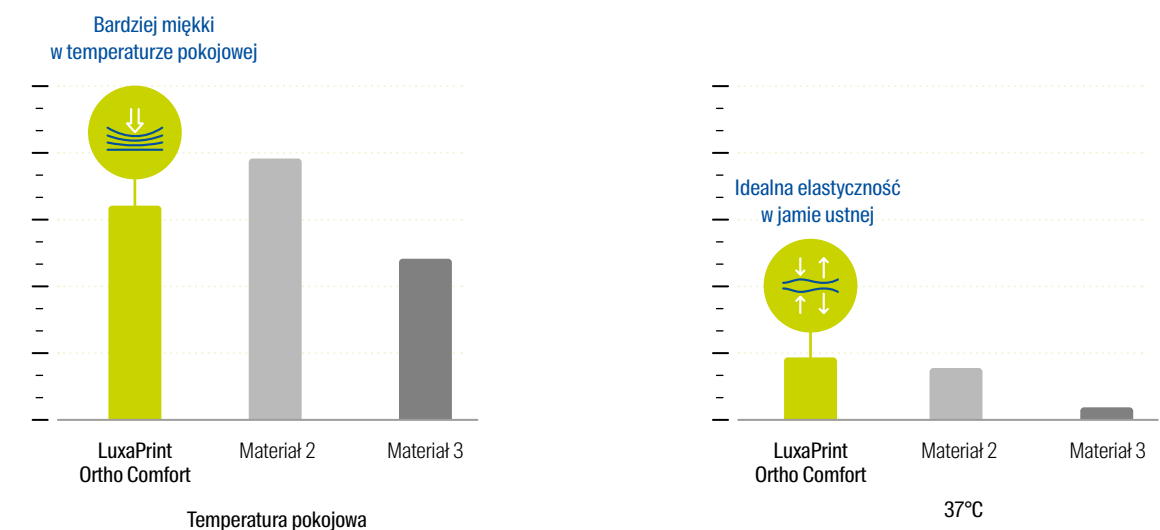
Materiał 2 charakteryzuje się dużą sztywnością w temperaturze pokojowej i dlatego konieczne jest jego ogrzanie przed użyciem, natomiast LuxaPrint Ortho Comfort jest już wystarczająco elastyczny, aby

umożliwić wygodne zakładanie. Po umieszczeniu w jamie ustnej osiąga on optymalną elastyczność, podobną do materiału 2. Materiał 3 jest już elastyczny w temperaturze pokojowej, ale w jamie ustnej staje się tak miękki, że nie spełnia wymagań stawianych wobec właściwości szyny zgryzowej.

Dzięki niskiej zawartości monomerów LuxaPrint Ortho Comfort nie tylko gwarantuje wyjątkowo wysoki poziom bezpieczeństwa, ale jest również bezzapachowy i bezsmakowy, a także zapewnia optymalne siły przywracające i zrównoważoną sztywność, co umożliwia częste i wygodne zakładanie oraz zdejmowanie szyny bez niekorzystnego wpływu na dopasowanie.



Porównanie modułu sprężystości (elastyczności)



Rysunek 2: Moduł sprężystości (elastyczność) LuxaPrint Ortho Comfort w porównaniu z innymi elastycznymi materiałami do produkcji szyn w temperaturze pokojowej (strona lewa) i w temperaturze 37°C (strona prawa)

Procedura

Podobnie jak w przypadku instrukcji dotyczących tradycyjnych materiałów stomatologicznych, procedura drukowania w technologii 3D z użyciem żywicy zależy w znacznym stopniu od właściwości materiału. Tylko po uwzględnieniu tej kwestii w trakcie opracowywania można stworzyć udany materiał z płynną, zorientowaną na wskazania procedurą. W przypadku żywicy do druku 3D procedura obejmuje cały proces produkcyjny, tj. przygotowanie do druku, drukowanie 3D, czyszczenie i utwardzanie, a także wszystkie niezbędne etapy procesu, które prowadzą ostatecznie do uzyskania bezpiecznego, stabilnego, precyzyjnie dopasowanego i sprawdzonego obiektu. Jeśli materiały są optymalizowane wyłącznie pod kątem ich profilu właściwości, dodanie do procedury kolejnych etapów lub czasu oczekiwania może okazać się konieczne, jeśli chodzi o zapewnienie optymalnej jakości komponentu. Może to być na przykład potrząsanie, mieszanie lub ogrzewanie materiałów, oczekiwanie przed rozpoczęciem drukowania, oczekiwanie po myciu lub suszeniu wydrukowanych obiektów lub dalsze etapy procesu



po utwardzeniu. Początkowo może się wydawać, że nie stanowi to poważnej przeszkody w produkcji aparatów stomatologicznych wysokiej jakości, ale gdy w grę wchodzi opłacalność lub wydajna produkcja, kwestie te mogą mieć decydujące znaczenie.

LuxaPrint Ortho Comfort został stworzony nie tylko po to, aby uzyskać najlepsze właściwości materiałowe, ale również aby zapewnić szybką i przyjazną dla użytkownika procedurę, eliminując czas oczekiwania i dodatkowe etapy procesu. Produkcja szyny – od skanowania wewnątrzustnego do umieszczenia jej w jamie ustnej – trwa nieco ponad godzinę.

Podsumowanie

Drukowanie szyn zgryzowych w technologii 3D stało się już niezawodną metodą produkcji dostępną w gabinetach stomatologicznych. Najnowsza generacja materiałów do produkcji szyn pozwala uzyskać szyny, które będą lekko elastyczne i odporne na pękanie, a przy tym zapewnią większy komfort i łatwość obsługi w porównaniu z poprzednimi, twardymi materiałami. Dzięki swojej innowacyjnej formule LuxaPrint Ortho Comfort firmy

DMG ustanawia wyższe standardy w tej klasie materiałów. Oprócz wysokiej transparentności, doskonałej odporności na pękanie i zrównoważonej elastyczności materiał ten został zaprojektowany z myślą o bezproblemowym, szybkim i sprawdzonym procesie produkcyjnym. To jedyny sposób na wykorzystanie pełnego potencjału wydajnego i ekonomicznego drukowania szyn dentystycznych w technologii 3D.

O autorach:

Kai Billerbeck

Kai Billerbeck studiował chemię na Uniwersytecie Hamburgskim i spędził ponad osiem lat w dziale badań i rozwoju w firmie DMG. Ma kilkuletnie doświadczenie w zakresie opracowywania żywicy do druku 3D. Prowadzi badania w Digital Application Centre (DAC) i specjalizuje się w badaniach i rozwoju procesów do procedur druku 3D.

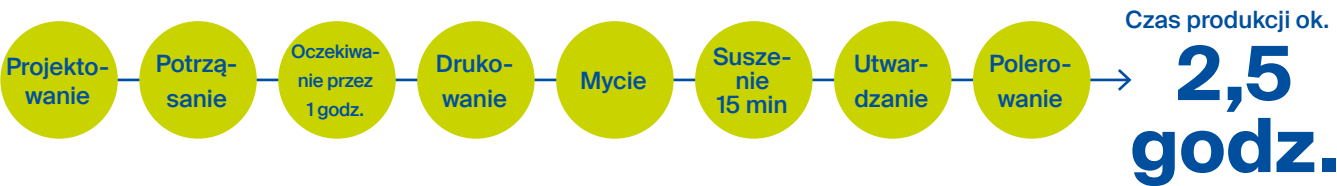
Madlen Cordts

Madlen Cordts jest technikiem dentystycznym w firmie DMG, a w Digital Application Centre wykorzystuje swoje wieloletnie doświadczenie w pracowni dentystycznej. W firmie jest specjalistką w zakresie wszystkich zagadnień stomatologicznych i specyficznych wskazań oraz odpowiada za projekty dotyczące analizy rynku.

LuxaPrint Ortho Comfort:



Inni producenci:



Rysunek 3: Porównanie procedury z użyciem LuxaPrint Ortho Comfort i innych porównywalnych materiałów

i Tian Y., Chen C., Xu X., Wang J., Hou X., Li K., Lu X., Shi H., Lee E.S., Jiang H.B. A Review of 3D Printing in Dentistry: Technologies, Affecting Factors, and Applications. Scanning. 2021 Jul 17;2021:9950131. doi: 10.1155/2021/9950131. PMID: 34367410; PMCID: PMC8313360.
ii <https://additivemanufacturingresearch.com/reports/3d-printing-in-dentistry-2023/>
iii Caussin E., Moussally C., Le Goff S., Fasham T., Troizier-Cheyne M., Tapie L., Dursun E., Attal J.P., François P. Vat Photopolymerization 3D Printing in Dentistry: A Comprehensive Review of Actual Popular Technologies. Materials (Basel). 2024 Feb 19;17(4):950. doi: 10.3390/ma17040950. PMID: 38399200; PMCID: PMC10890271.

A smile ahead
together

