



Luce blu. Quali dispositivi sono sicuri?

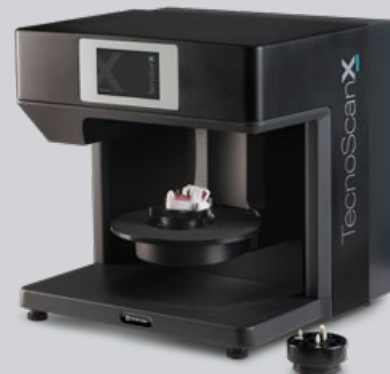
L'impatto della luce blu sulla salute e sicurezza degli operatori che utilizzano scanner odontotecnici.

Prall C, Friemel J. Risikofaktor dentaler 3-D-scanner?



Luce blu.

Quali dispositivi sono sicuri?



Abstract

Sebbene la luce blu sia da tempo simbolo dell'innovazione tecnica, l'attenzione si sta spostando sempre più sui suoi effetti dannosi sull'occhio umano. Ciò è importante anche nel lavoro quotidiano del laboratorio odontotecnico, dove vengono sempre più utilizzati scanner 3D con intense sorgenti di luce blu. In questo caso spetta ai produttori e ai proprietari dei laboratori garantire la salute e la sicurezza sul lavoro.

Introduzione

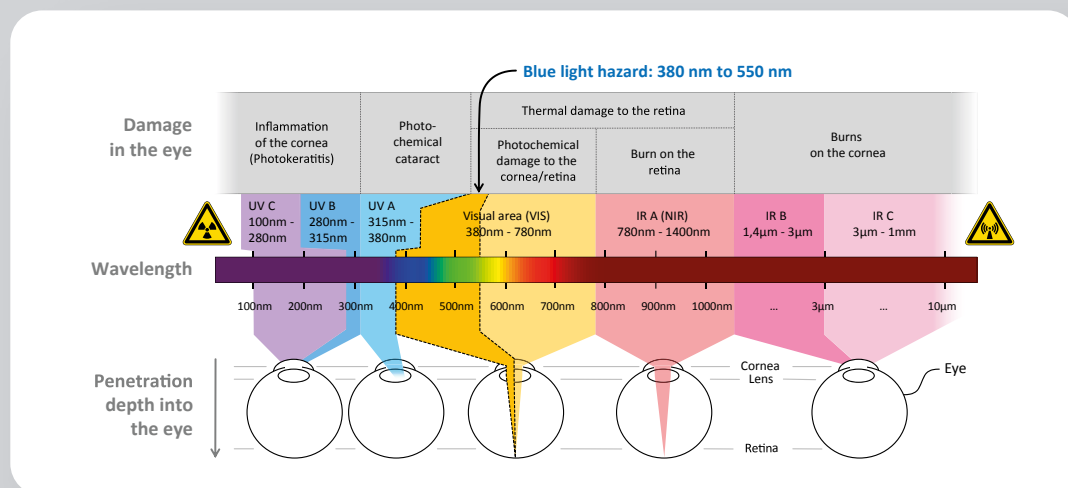
Le moderne sorgenti luminose artificiali, come i diodi emettitori di luce (LED), possono generare luce nella gamma spettrale visibile, e quindi nella gamma spettrale blu, in modo molto efficiente e con elevata potenza (1). Con lunghezze d'onda comprese tra 400 nm e 490 nm (nanometri) (2), i LED blu non sono lontani dalla luce ultravioletta (luce UV), che inizia con una lunghezza d'onda inferiore a 380 nm o 400 nm, a seconda dello standard considerato (3, 4). Non dovrebbe quindi sorprendere che la luce blu sia potenzialmente pericolosa per l'occhio umano. Gli effetti dannosi dei raggi UV sugli occhi e sulla pelle sono ben noti (5, 6). Tuttavia, il rischio fotochimico sulla retina derivante dalla luce blu (fotoretinite) viene spesso trascurato perché l'occhio umano percepisce la luce blu come meno intensa rispetto alla luce verde o gialla della stessa intensità (7). Questa percezione ingannevole del potenziale pericolo è nota anche come pericolo da luce blu (2, 4, 8, 9).

Figura 1

Rappresentazione grafica dei danni oculari che possono essere causati da un'intensa esposizione alle radiazioni ottiche, a seconda del colore e della lunghezza d'onda della luce

(Grafica: C. Prall, smart optics Sensortechnik GmbH).

(dati di base: 4, 9, 15)



Questo articolo è stato pubblicato per la prima volta in tedesco nel maggio 2021: Prall C, Friemel J. Risikofaktor dentaler 3-D-scanner?. *dialogo dentale* 2021;22(5):54–59.

Potenziali rischi di radiazioni ottiche visibili e invisibili

La lunghezza d'onda della luce (cioè il suo colore) è essenziale fattore determinante per l'effetto delle radiazioni ottiche sull'occhio e per la loro eventuale pericolosità (fig. 1). Ad esempio, le diverse gamme spettrali – dalla luce UV a quella visibile a quella infrarossa (IR) – influenzano l'occhio in modo diverso (4, 6, 8) perché la luce penetra nell'occhio a diverse profondità a seconda della lunghezza d'onda. Innanzitutto, la luce UV viene assorbita principalmente nella regione anteriore dell'occhio (la cornea) o nel cristallino e penetra a malapena nella retina (4, 8, 9). A seconda dell'intensità della radiazione, l'irradiazione con luce UV può causare un'infiammazione temporanea e dolorosa della cornea (fotocheratite) e, a lungo termine, un annebbiamento irreversibile del cristallino (cataratta fotochimica) (3, 4). È noto che tali danni agli occhi derivano anche dalla cecità da neve o dal guardare dentro un arco di saldatura senza protezione. Al contrario, l'irradiazione IR dell'occhio può indurre danni termici (cioè ustioni sull'occhio o nell'occhio), a seconda dell'intensità della radiazione (4, 8, 9). La retina può essere danneggiata dalla gamma IR vicina (NIR) e la cornea può essere danneggiata dalla gamma IR lontana. La luce blu, invece, fa parte dello spettro visibile e raggiunge quindi la retina, dove viene assorbita e ulteriormente elaborata come informazione sulla luce blu (7). Tuttavia, possono verificarsi anche danni termici o fotochimici alla retina, a seconda della lunghezza d'onda, dell'intensità della radiazione e del tempo di esposizione (2, 3). Elevate intensità di radiazione (ad esempio, dalla luce laser) possono portare a danni termici alla retina (cioè ustioni) (2, 3, 6). A intensità di radiazione inferiori prevale il rischio di danno fotochimico alla retina. Il potenziale di pericolo

dipende fortemente dalla lunghezza d'onda della luce incidente (9). In particolare, la luce con una lunghezza d'onda compresa tra 380 nm (al limite della luce UV) e 550 nm (luce gialla) può causare danni fotochimici alla retina. Tuttavia, questo effetto è più pronunciato nella luce blu e raggiunge il massimo impatto ad una lunghezza d'onda compresa tra 435 nm e 440 nm (6, 9). Il danno fotochimico alla retina viene quindi definito rischio da luce blu. Le molecole della retina possono assorbire l'energia della luce blu incidente, portando potenzialmente alla formazione di prodotti di reazione (ad esempio radicali liberi) (2, 10).

Questi prodotti di reazione sono altamente reattivi e possono danneggiare la retina attraverso reazioni chimiche. La quantità di prodotti di reazione derivanti da questo processo è proporzionale al prodotto tra irraggiamento e tempo di esposizione. In altre parole, una forte irradiazione per un breve periodo di tempo può avere lo stesso effetto di una debole irradiazione per un periodo di tempo più lungo. L'effetto dell'irradiazione prolungata è cumulativo e può quindi sommarsi (6, 10). Mentre il danno termico alla retina è solitamente immediatamente evidente attraverso la cecità delle aree colpite, il danno fotochimico avviene insidiosamente come risultato di un effetto cumulativo (2, 10). Il danno retinico è solitamente irreversibile e può portare a ridotta acuità visiva, alterazione della visione dei colori, difetti del campo visivo e, in casi estremi, cecità.

Gli effetti potenzialmente dannosi della luce blu sulla vista sono diventati più importanti solo negli ultimi anni con l'avvento della tecnologia LED. Mentre lo spettro luminoso delle classiche lampade a incandescenza comprende una componente rossa più alta e una componente blu più bassa, con la maggior parte dei moderni LED bianchi avviene l'esatto opposto, poiché queste sorgenti luminose si basano su LED blu che eccitano un colorante a brillare e creano l'impressione di colore bianco (1, 2, 11). I LED utilizzati per l'illuminazione degli ambienti rimangono

Condizioni quadro giuridiche e normative

DIRETTIVA 2006/25/CE
Protezione dei lavoratori dai rischi connessi all'esposizione alle radiazioni ottiche artificiali

OSTrV
Ordinanza tedesca sulla protezione dei lavoratori dai pericoli delle radiazioni ottiche artificiali

TROS (*regole tecniche in Germania per la radiazione ottica incoerente*)

Norme tecniche per la normativa sulla salute e sicurezza sul lavoro relative alle radiazioni ottiche artificiali

TROS (*regole tecniche in Germania per la radiazione laser*)

Norme tecniche per l'ordinanza sulla salute e sicurezza sul lavoro relative alle radiazioni ottiche artificiali

CEI 62471
Sicurezza fotobiologica di lampade e sistemi di lampade

CEI/TR 62778
Regola tecnica per l'applicazione della norma

CEI EN 62471
CEI 60825
Sicurezza dei prodotti laser

Luce blu.

Quali dispositivi sono sicuri?

generalmente al di sotto dei limiti critici. Tuttavia, questo potrebbe non essere il caso delle sorgenti luminose potenti e focalizzate in modo ristretto, come i farette da palcoscenico blu o i proiettori di immagini blu. A seconda dell'adattamento dell'occhio alla visione diurna o notturna e alla lunghezza d'onda della luce, l'occhio umano può percepire solo la luce blu 10-20 volte più debole della luce verde o gialla (7). Pertanto, le valutazioni personali del rischio possono essere ingannevoli, poiché la luce blu ad alta intensità può essere percepita come molto più debole della luce verde o gialla della stessa intensità. I potenziali pericoli dovrebbero essere considerati al più tardi nell'effetto abbagliante sugli occhi causato dalla luce blu.

Utilizzo della luce blu negli scanner 3D dentali

Negli ultimi anni, la luce blu pura è stata ampiamente utilizzata nella tecnologia dentale per digitalizzare oggetti dentali 3D. Le ragioni tecniche di ciò sono la minore aberrazione cromatica e i ridotti effetti di diffrazione delle immagini catturate da un sensore 3D (12, 13). Questi effetti ottici, che possono causare sfocature, sono meno evidenti con la luce blu. Inoltre, gli scanner 3D vengono sempre più prodotti con un design aperto per migliorare la comodità operativa e garantire che l'oggetto scansionato possa essere sostituito rapidamente. Durante il processo di scansione, ciò potrebbe aumentare l'esposizione alla luce blu sperimentata dall'operatore e dalle postazioni di lavoro circostanti.

Condizioni quadro tecnico

Per ridurre al minimo i rischi derivanti dalle radiazioni ottiche (ad esempio, luce blu), è necessario osservare alcune linee guida, standard e norme legali. La norma IEC 62471, in particolare, si occupa della sicurezza fotobiologica delle sorgenti luminose (incoerenti) e in particolare dei pericoli della luce blu. Inoltre, i LED sono stati esplicitamente inclusi nell'ultima revisione di questo standard. La norma IEC 60825 si occupa invece della luce laser (radiazione coerente). Le più importanti condizioni quadro legali e normative relative alle radiazioni ottiche, utilizzando gli esempi di Europa e Germania, sono riportate nella Tabella 1.

Come possono i proprietari di laboratori valutare i potenziali rischi delle radiazioni ottiche artificiali, in particolare della luce blu? Qui si può applicare la seguente intuizione del medico e filosofo Paracelso: "Solo la dose decide che qualcosa è un veleno" (14). I fattori decisivi per il potenziale di pericolo di una sorgente luminosa includono:

- Luminosità (intensità);
- Colore (distribuzione spettrale dell'ottica artificiale radiazione);
- Tempo (durata dell'esposizione).

Per il proprietario di un laboratorio, confrontare questi tre fattori del principio di dose con ciò che si trova in un tipico scanner 3D che utilizza una sorgente di luce blu non è facile nella pratica. Tuttavia, il tempo di esposizione massimo possibile per una giornata lavorativa può comunque essere facilmente valutato in base alla durata di utilizzo dello scanner 3D. Valutare l'intensità in base alla componente spettrale della rispettiva sorgente luminosa non è una questione facile. Fattori essenziali oltre a questo includono la superficie radiante e la direzione della radiazione. Se gli operatori o altre persone possono guardare direttamente nella sorgente luminosa dello scanner 3D (ad esempio in un laboratorio odontotecnico), esiste un potenziale di rischio maggiore rispetto a quando la radiazione diretta emessa è schermata. Se non è possibile emettere radiazioni dirette, è necessario analizzare la proporzione dell'intensità della luce diffusa.

Figura 2

Segnale di avvertimento contro le radiazioni ottiche (a sinistra) e segnale di avvertimento contro la radiazione laser (a destra)

(Grafica: C. Prall, smart optics Sensortechnik GmbH).



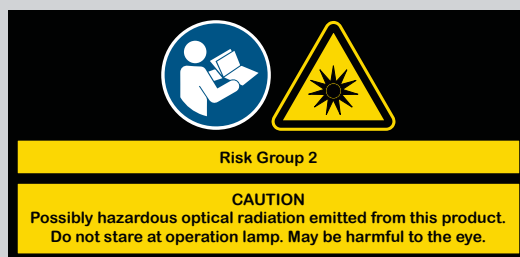


Figura 3
Esempio di etichettatura di un prodotto con radiazioni ottiche del gruppo di rischio 2

(Grafica: C. Prall, smart optics Sensortechnik GmbH).

La sicurezza sul lavoro è importante anche per gli scanner 3D

Le suddette valutazioni non sono facilmente disponibili per il titolare del laboratorio, che è responsabile della salute e della sicurezza sul lavoro dei propri dipendenti. Queste valutazioni richiedono conoscenze specialistiche di fisica e fotometria, apparecchiature di misurazione speciali e la comprensione delle norme e dei regolamenti pertinenti. Infine il titolare del laboratorio dovrebbe farsi confermare dal produttore dello scanner 3D che il funzionamento dello scanner è sicuro per quanto riguarda la protezione contro le radiazioni ottiche artificiali e in particolare contro la luce blu. Idealmente, il produttore identificherà il rispettivo gruppo di rischio per il prodotto ad una distanza di riferimento dalla sorgente luminosa secondo IEC 62471 o (nel caso della luce laser) identificherà la rispettiva classe laser secondo IEC 60825. Queste classificazioni indicano il grado di pericolo coinvolto, le misure di sicurezza risultanti e la durata massima dell'esposizione. Le sorgenti luminose classificate nel gruppo libero non presentano alcun pericolo fotobiologico (2, 9). Inoltre, le sorgenti luminose assegnate al gruppo di rischio 1 non rappresentano alcun pericolo, dato il normale comportamento umano (2, 9). Per il gruppo di rischio 2, i rischi sono ridotti al minimo solo se la reazione di difesa dell'occhio funziona correttamente durante l'irradiazione diretta e il riflesso di chiusura delle palpebre funziona correttamente con un massimo di 0,25 s (secondi) (2, 9). L'irradiazione superiore a 0,25 s può rappresentare un pericolo per il gruppo di rischio 2. Per il gruppo di rischio 3, il gruppo a rischio più elevato, anche l'irradiazione a breve termine è pericolosa. Considerazioni simili si applicano agli scanner 3D che utilizzano luce laser. Questi sono considerati sicuri nella Classe Laser 1, dato il normale comportamento umano. Per i laser di classe 2, i rischi sono ridotti al minimo solo se la vista è visibile la reazione di difesa funziona correttamente durante l'irradiazione diretta e il riflesso di chiusura delle palpebre funziona correttamente con un massimo di 0,25 s (15). Se si prevede una durata di esposizione più lunga nel gruppo di rischio 2 o nella classe laser

2, una possibile misura di protezione è che l'utente e tutte le altre persone a rischio (ad esempio in un laboratorio odontotecnico) indossino speciali occhiali protettivi.

Ci si può aspettare che uno scanner 3D ben progettato funzioni in sicurezza senza che l'utente debba indossare occhiali protettivi, senza comportare rischi per l'utente. Un produttore non può sottrarsi alle proprie responsabilità apponendo etichette di avvertenza e trasferendo la responsabilità all'operatore (Fig. 2, 3). Piuttosto, un produttore è generalmente obbligato a garantire la sicurezza dei prodotti che immette sul mercato. Ciò include tutti i pericoli noti o prevedibili che possono derivare da un prodotto, compresi i pericoli della luce blu.

Secondo la norma centrale di base ISO 12100 "Sicurezza delle macchine", la primissima fase di minimizzazione del rischio è l'implementazione di una "progettazione intrinsecamente sicura". Ciò significa che tutti i pericoli devono essere ridotti il più possibile mediante misure tecniche.

Solo i rischi residui, che non possono essere ulteriormente ridotti con misure tecniche, possono poi essere contrastati con misure supplementari, come istruzioni di sicurezza, segnali di avvertimento o prescrizione di dispositivi di protezione individuale.

Qual è la situazione per quanto riguarda le radiazioni ottiche artificiali, la luce laser e la luce blu negli scanner 3D dentali attualmente sul mercato?

Quasi tutti i produttori offrono scanner 3D con pura luce blu. Le sorgenti luminose utilizzate in questi scanner rientrano nell'intervallo di lunghezze d'onda descritto da 380 nm (al limite della luce UV) a 550 nm (luce gialla) e possono causare danni fotochimici alla retina. Allo stesso tempo, la progettazione di questi dispositivi sta diventando sempre più aperta. La maggior parte dei dispositivi oggi non dispone di un cappuccio che possa essere chiuso durante la scansione e che schermi in modo affidabile tutti gli

Luce blu. Quali dispositivi sono sicuri?

effetti luminosi, compresi quelli pericolosi o disturbanti. Da un punto di vista puramente metrologico, un design aperto significa che può entrare più luce ambientale (ad esempio, luce solare). Per la cattura metrologica è necessario adottare contromisure, come proiettori luminosi sempre più potenti, che aumentano il potenziale di pericolo. L'obiettivo è catturare l'oggetto a velocità crescente, il che significa che il sensore 3D ha meno tempo per raccogliere la luce di misurazione dallo scanner. Per rilevare una quantità di luce sufficiente in un tempo più breve è necessario l'uso di proiettori ancora più potenti.

Conclusione

Meno schermature e proiettori luminosi più potenti: questo è l'esatto contrario della sicurezza intrinseca rispetto ai pericoli delle radiazioni ottiche artificiali e in particolare la luce blu. La maggior parte dei produttori di scanner 3D dentali considera i rischi potenziali sopra menzionati durante la progettazione dei propri scanner. Tuttavia, è ancora importante suscitare sensibilità su questo tema. Se si considerano gli attuali scanner dentali 3D nel contesto di una struttura aperta, in cui una luce blu sempre più intensa viene emessa orizzontalmente nella stanza (a volte anche all'altezza degli occhi dell'operatore seduto), sorge la domanda se è stato preso in considerazione il pericolo rappresentato dalla luce blu o se i produttori stanno eludendo le proprie responsabilità. In fin dei conti, il proprietario del laboratorio è responsabile della salute e della sicurezza sul lavoro come datore di lavoro. Pertanto, prima di acquistare uno scanner 3D dentale, i proprietari del laboratorio dovrebbero farsi confermare dal rispettivo produttore il funzionamento sicuro per quanto riguarda la protezione contro le radiazioni ottiche artificiali, le radiazioni laser e la luce blu. In caso di ancora dubbi, è necessario chiedere consiglio a persone adeguatamente qualificate nel campo della sicurezza sul lavoro, della sicurezza della luce o della sicurezza laser. Altri punti di contatto per il supporto sono le associazioni professionali o le compagnie di assicurazione contro gli infortuni. Questo articolo è stato pubblicato anche in tedesco nel maggio 2021 (16).

Riferimenti bibliografici

1. Dohlus R, Lichtquellen. De Gruyter, 2014.
2. Udovičić L, Mainusch F, Janßen M, Nowack D, Ott G. Photobiologische Sicherheit von Licht emittierenden Dioden (LED). German Federal Institute for Occupational Safety and Health, Vol. 1, 2013.
3. Schneeweiss C, Eichler J, Brose M. Leitfaden für Laserschutzbeauftragte. Springer Spektrum, 2017.
4. Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung - TROS Inkohärente Optische 4. 5. Strahlung - Teil: Allgemeines. Gemeinsames Ministerialblatt (GMBI), No. 65-67, p. 1302, 2013.
5. Ham WT, Mueller HA, Sliney DH. Retinal sensitivity to damage from short wavelength light. Nature 1976; 260(5547):153-155.
6. Sutter E. Schutz vor optischer Strahlung - Laserstrahlung inkohärente Strahlung, Sonnenstrahlung. Vol. 3. VDE Verlag; 2008.
7. Freiding A. Untersuchungen zur spektralen Empfindlichkeit des menschlichen Auges im mesopischen Bereich. Herbert Utz Verlag, 2010. European Commission. Non-binding guide to good practice for implementing Directive 2006/25/EC 'artificial optical radiation'.
8. European Commission, Directorate- General for Employment, Social Affairs and Inclusion, 2011.
9. IEC 62471. Photobiological safety of lamps and lamp systems.
10. Berke A. Teil 2: Blaues Licht - Gut oder schlecht?. DOZ 2014;2:54-59.
11. Prall C. Photoluminescence at high temperatures from epitaxially growing nitride-semiconductor layers for in-situ material characterization. Dissertation, University of Duisburg-Essen, 2018.
12. Eichler J, Eichler HJ. Laser - Bauformen, Strahlführung, Anwendungen. Vol. 6. Springer; 2006.
13. Demtröder W. Laserspektroskopie: Grundlagen und Techniken. Vol. 17. Springer; 2007.
14. Peuckert W-E. Theophrastus Paracelsus Werke Band II: Medizinische Schriften. Wissenschaftliche Buchgesellschaft; 1965.
15. IEC 60825. Safety of laser products.
16. Prall C, Friemel J. Risikofaktor dentaler 3-D-scanner?. dental dialogue 2021;22(5):54-59.