مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية
المجلد41 العدد(1) – 2025: 259-273

Damascus University Journal for engineering sciences
Vo 41 number (1) -2025: 259-273

تقييم مخاطر عدم الالتزام بمعايير أمان أجهزة الليزر في سورية: دراسة حالة لأجهزة نزع الشعر في دمشق وريفها

محمد أمين حمود*[1]

*[1]. مهندس في قسم الهندسة الطبية – جامعة دمشق. mohamadhamoud1970@gmail.com

تاريخ الايداع: 2022/11/27
تاريخ القبول: 2023/8/8

حقـوق النشـر: جامعـة دمشـق – سـورية، يحـتفظ المؤلفـون بحقـوق النشر بموجب **CC BY-NC-SA**

الملخص:

لقد توسع استخدام الليزر بشكل غير مسبوق في وقتنا الحالي وفي ضوء هذا الانتشار الواسع جداً في مختلف المجالات فقد أصبح من الضروري دراسة الآثار والمخاطر الجانبية لأشعة الليزر بحيث نحقق الفائدة الكبرى من هذه التقنية ونتجنب الكثير من الأذى الذي يمكن أن يحدث في حال لم نتقيد بأسس واحتياطات الأمان الليزري بما يحقق استطباب ليزري صحي وأمن بأقل ما يمكن من الآثار غير المرغوبة.

شملت الدراسة 6 مراكز ليزر في دمشق و ريفها يتوفر فيها 12 جهاز ليزر:3 أجهزة من نوع IPL و 4 أجهزة من نوع Diode laser و 3 أجهزة من نوع Alexandrite و جهازان من نوع Nd:Yag، و تمت متابعة 70 حالة معالجة لم يستجب مها إلا 47 حالة و امتنعت باقي الحالات عن أي إجابات وتبين أن أفضل النتائج تم الحصول عليها من أجهزة الالكسندرايت (Alexandrite) و نيوديميوم ياغ (Nd:Yag) و كانت أجهزة الضوء النبضي المكثف (IPL) هي الأسهل استخداماً على المريض و الكادر الطبي إلا أنها و أجهزة ليزر الديود (Diode) laser كانت أقل فعالية.

ارتكبت مجموعة من الأخطاء التي أدت إلى الآثار الجانبية أو إلى عدم فعالية المعالجة مثل عدم المطابقة في بعض الحالات لنوع الجلد ولونه مع ليزر المعالجة وكذلك تم استخدام طاقات عالية أدت إلى نشوء بعض الندبات وعدم وجود تبريد فعال وتكرار الجلسات الليزرية أكثر من اللازم، ومن خلال استقصاء المراكز الستة تبين أن اعتبارات الأمان الليزري لم يكن على المستوى المقبول.

الكلمات مفتاحية: أمان، أخطار، ليزري، انديوم ياغ، ديود ليزر.

Evaluation Risks of Not Adhering to Laser safety in Syria: Hair Removal in Damascus and its Suburbs as Case Study

Mohamad Amin Hamoud*[1]

*[1]. An Engineer at Bio Medical Engineering Department-Damascus University. madhamoud1970@gmail.com

Received:28 /11/2022
Accepted:8/8/2023

Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

Abstract:

The use of lasers has expanded in an unprecedented way at the present time, and in light of this very wide spread in various fields, it has become necessary to study the side effects and risks of laser radiation so that we achieve the greatest benefit from this technology and avoid a lot of harm that can occur if we do not adhere to the basics and precautions Laser safety in order to achieve a healthy and safe laser indication with the least possible undesirable effects.

The study included 6 laser centers in Damascus and its countryside, in which 12 laser devices are available: 3 IPL devices, 4 Diode laser devices, 3 Alexandrite devices, and 2 Nd:Yag devices, and 70 treatment cases were followed up, of which 47 cases responded, and the rest of the cases refused to give any answers. It was found that the best results were obtained from Alexandrite and Neodymium Yag devices. Intense Pulsed Light (IPL) devices were the easiest to use on the patient and the medical staff, but they Diode laser devices were less effective.

A group of errors were made that led to side effects or ineffective treatment, such as non-compliance in some cases of skin type and color with the treatment laser, as well as high energies were used that led to the emergence of some scars, lack of effective cooling, and repetition of laser sessions too much, and through an investigation The six centers show that laser safety considerations were not at the acceptable level.

Keywords: safety, hazards, lasers, indium yag, diode lasers

المقدمة:

تختلف استخدامات الليزر وتطبيقاته باختلاف طول موجته و طاقته وهما العاملان الأهم في تحديد إمكانية الاستفادة منه، وقد دخل الليزر منذ اكتشاف ليزر الياقوت الأحمر عام 1960 على يد العالم ثيودور ميمان مختلف مجالات الحياة ولا يخفى على أحد أن لأشعة الليزر تطبيقات متنوعة تبدأ بالأبحاث والقياسات البيئية والعلمية مروراً بالطب والهندسة والصناعة وانتهاء بالمجال العسكري، وسوف نركز في هذا المقال على الجانب الطبي حيث شهد استخدام الليزر في المعالجة الطبية توسعًا هائلاً في العقود الأخيرة الماضية بدءاً من استخدامه الواسع في الجراحة ومن ثم في طب الأسنان ،ثم حدث انتشار كبير في الليزر بعد دخوله و بقوة عالم التجميل و باتت أجهزة الليزر منتشرة بشكل كبير في مختلف أحياء ومراكز المدن، إلا أنه وبقدر ما لهذه التقنية من فوائد عظيمة فإن لأشعة الليزر خطراً كبيراً عند الممارسات الخاطئة، وتنشأ هذه المخاطر من كونها يمكن أن تسبب إصابات و أضرار مباشرة للعين و الجلد كما قد تتسبب في أضرار غير مباشرة من خلال تفاعل الشعاع الليزري مع المواد الموجودة في البيئة الجراحية و تشمل مخاطر تبخر الأنسجة ومخاطر الحريق ومخاطر كهربائية كامنة في الجهاز الذي يعمل بجهود كهربائية عالية.

إن عدم وجود أسس للاستخدام الأمن لليزر في مرافق الرعاية الصحية سواء في المراكز الطبية أو المشافي أو العيادات سيكون له أثار جانبية خطيرة على المريض وعلى الكادر الطبي.

ولا بد من تثقيف وتأهيل الكوادر الطبية والفنية قبل البدء باستخدام الليزر طبياً حيث أن الاستخدام الخاطئ لن يؤدي إلى نتائج صحيحة أو مرضية بل انه بالضرورة سيؤدي إلى نتائج مؤذية على الكادر الطبي والفني وعلى المريض.

2. خلفية البحث:

2.1 الدراسات المرجعية السابقة:

ركزت الدراسات السابقة بمعظمها على الأخطار البيولوجية لأشعة الليزر وتفاعلات الليزر مع الأنسجة الحيوية وأثارها الجانبية السيئة وأخطارها على العين والجلد، كما أشارت أيضاً إلى خطورة تفاعلات الليزر مع المواد الموجودة في البيئة المحيطة بالليزر وتشمل المخاطر التنفسية الناتجة عن عمود الليزر Laser Plume ومخاطر الحريق والمخاطر الكهربائية لليزر[31] .

بعض الدراسات اتبعت المنحى التجريبي وأجرت تجارب مباشرة على أجهزة الليزر واستخدمت مقاييس طاقة ليزرية من أجل قياس الطاقة النافذة من واقيات العين مثل نظارات الليزر ومقارنتها بحدود التعرض المسموحة، الجدول (1)، وذلك من أجل توضيح أهميتها في حماية العين التي تعتبر أكثر الأعضاء تضرراً بالليزر وأهمها[32] .

الجدول (1) حدود التعرض المسموحة لبعض انواع الليزرات حسب معيار المعهد الوطني الامريكي ANSI

Type of laser	Principal wavelength(s)	MPE (eye)
Argon-fluoride laser	193 nm*	3.0 mJ/cm² over 8 h
Xenon-chloride laser	308 nm	40 mJ/cm² over 8 h
Argon ion laser Copper vapor laser Helium-neon laser Gold vapor laser Krypton ion laser	488, 514.5 nm 510, 578 nm 632.8 nm 628 nm 568, 647 nm	3.2 mW/cm² for 0.1 s 2.5 mW/cm² for 0.25 s 1.8 mW/cm² for 1.0 s 1.0 mW/cm² for 10 s
Neodymium:YAG laser (primary λ)	1,064 nm	5.0 μJ/cm² for 1 ns to 50 μs No MPE for t < 1 ns 5 mW/cm² for 10 s
Neodymium:YAG laser (secondary λ)	1,334 nm	40 μJ/cm² for 1 ns to 50 μs 40 mW/cm² for 10 s
Pulsed Nd:YAG (1.44 μm), Pulsed holmium laser	1.44 μm 2.1 μm	0.1 J/cm² for 1 ns to 1 ms
CW holmium laser CW carbon monoxide laser Carbon dioxide laser	2.1 μm ~5 μm 10.6 μm	100 mW/cm² for 10 s to 8 h, limited area 10 mW/cm² for >10 s for most of body (skin)

*All standards/guidelines have MPE's at other wavelengths and exposure durations.
*Sources: ANSI Standard Z-136.1-1993; ACGIH TLVs (1993) and IRPA.
Note: to convert MPE's in mW/cm² to mJ/cm², multiply by exposure time t in seconds, e.g., the He-Ne or Argon MPE at 0.1 s is 0.32 mJ/cm².

كما ركزت بعض الدراسات الأخرى على أنواع معينة من الليزرات المستخدمة في بعض القطاعات مثل أجهزة التجميل ونزع الشعر والتي انتشرت بشكل كبير في الآونة الأخيرة وعمدت إلى إجراء استبيانات وإحصائيات بينت من خلالها المخاطر المحيطة بمثل هذه الأجهزة خاصة عندما لا يتوفر التأهيل والتدريب الكافي للكوادر الطبية أو عند استخدام الليزر بشكل خاطئ مما يؤدي إلى أثار جانبية غير محمودة على المريض والكادر الطبي[33] .

كل الدراسات السابقة بمجملها أكدت على ضرورة تأمين أقصى درجات الحماية لجميع المشاركين في إجراءات

الليزر، إلا أنها لم تعمد إلى وضع معايير وأسس يمكن من خلالها تقييم عوامل الأمان الليزري في أي منشأة طبية. [31]

2.2 أهمية البحث :

لقد تم في البحث الحالي إتباع نفس منهجية الأبحاث السابقة من حيث تسليط الضوء على الآثار و الأخطار المختلفة لأشعة الليزر لما لها من أهمية في رفع السوية العلمية و التثقيفية للكوادر العاملة في مجال الليزر ، إلا أنه تم الاعتماد على معيار عالمي هو معيار المعهد الوطني الأمريكي ANSI بضوابطه الهندسية و الإدارية و الإجرائية المختلفة و تم وضع أهم العوامل و الأسس المعيارية التي يمكن من خلالها تقييم سوية الأمان والسلامة الليزرية، وتقييم كل عامل منها بحسب درجة تحقيقه من قبل المركز أو المنشأة الطبية.

ويمكن اعتمادها مع توسيع قاعدة الدراسة لتشمل مدناً بأكملها وذلك بهدف وضع معايير محلية مستقبلية تضمن رفع مستوى الحماية والأمان عند استخدام أجهزة الليزر.

3. تصنيف مخاطر الليزر:

قبل البدء بالحديث عن تصنيف الليزر ومخاطره لا بد من تعريف مصطلح MPE وهو مختصر Maximum permissible exposure ويقصد به الحد الأقصى المسموح به من الإشعاع الليزري قبل حدوث ضرر للجلد أو العينين [1]، الجدول (1) يبين MPE لمجموعة من أشهر الليزرات وأكثرها انتشاراً.

يمكن تقسيم الليزر إلى أربع فئات اعتماداً على MPE، فالفئة الأولى هي الليزرات التي تصدر إشعاع ليزري أقل من MPE المسموح وكمثال عليها أجهزة المسح في المتاجر والبقاليات، أما الليزرات من الفئة الثانية فهي موجودة في الطيف المرئي وهي كذلك أقل من MPE المسموح ولا تحدث أي ضرر بشرط عدم التعرض المباشر أو لفترات طويلة و عادة مثل هذه الليزرات تحدث وميض يمنع الشخص من إطالة النظر لفترة طويلة [2] وكمثال على هذا النوع مؤشرات الليزر. LASER POINTERS

الليزرات من الفئة الثالثة تكون ضارة عند التحديق المباشر مثل الليزرات المستخدمة في عروض الليزر ويجب تجنب التحديق المباشر في مثل هذه الأنواع من الليزرات، أما الليزرات من الفئة الرابعة فتعرف بأنها الليزرات التي تزيد قدرتها عن 0.5 W وبزمن تعرض 0.25 S أو تلك التي تتجاوز 10 J/Cm^2 [3] وكل أنواع الليزرات من هذه الفئة تسبب إصابات في العين والجلد [4].

4. المخاطر البيولوجية على العين:

نظراً للخصائص البصرية الخاصة للعين البشرية ،لذا تعتبر العين الأكثر عرضة للإصابة بضوء الليزر وعلى الرغم من أن العين مزودة بآلية وقائية طبيعية للحماية وذلك من خلال منعكس إغلاق الجفن بحيث تتم حماية البنى الداخلية من التعرض للإشعاع إلا أن بعض الشدات الليزرية قد تكون كبيرة لدرجة أن الإصابة يمكن أن تحدث بشكل أسرع من التأثير الوقائي السابق الذي يستغرق ما بين 0.25 S− 0.2 S [5]، وعلاوة على ذلك لا تصدر أشعة الليزر التي تعمل في طيف الأشعة تحت الحمراء ضوءًا مرئيًا ساطعًا أو وميضاً ضروريا من أجل تحريض منعكس الإغلاق [6]. ويرتبط تلف العين الناتج عن التعرض المباشرة لأشعة الليزر بطول موجة الليزر المستخدم، الشكل (1).

[31]

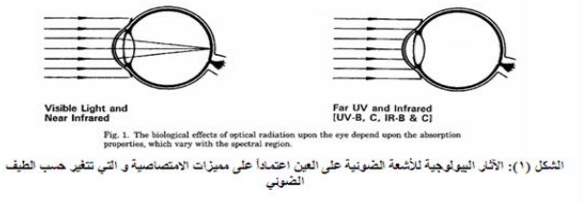


Fig. 1. The biological effects of optical radiation upon the eye depend upon the absorption properties, which vary with the spectral region.

الشكل (١): الآثار البيولوجية للأشعة الضوئية على العين اعتماداً على مميزات الامتصاصية و التي تتغير حسب الطيف الضوئي

لا يمكن للأشعة الليزرية أن تلحق الضرر بالأنسجة العينية إلا إذا كانت قادرة على اختراق الهيكل إضافة إلى إمكانية امتصاص هذه الإشعاعات من البنى المختلفة كما هوموضح في الشكل (2)، والأطوال الموجية الواقعة في النطاق المرئي

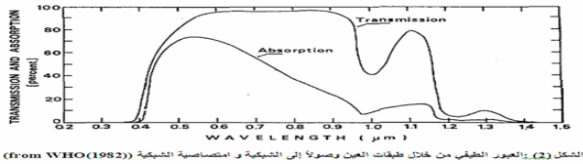
ونطاق الأشعة تحت الحمراء القريب (Visible and IR-A) والتي تستطيع العبور من الوسط الشفاف للعين ويمكن امتصاصها من قبل الشبكية سوف تؤدي إلى إصابة مباشرة في الشبكية إذا كانت باستطاعة عالية، وتجدر الإشارة هنا إلى أن بنية العين تلعب دور سلبي في هذا المجال حيث تعمل على تركيز الإشعاع ليسقط على الشبكية بتركيز عالي بحيث تكون بقعة الليزر من مستوى 10-20 pm (أدق من شعر الإنسان).

لذلك فان الأطوال الموجية 400-1400 nm تسمى منطقة الخطر الشبكي(Retina Hazards Region) حيث أن معامل تركيز الأشعة بعد دخولها إلى العين قد يصل إلى مستوى 100.000، فعند سقوط حزمة مركزة بتركيز 1W/Cm^2 على القرنية سيتم تركيزها لتصل إلى مستوى 100 KW/Cm^2 عند الشبكية.

كقاعدة عامة، يمتص قطاع العين الأمامي الأشعة الليزرية التي تقع في المجال الطيفي للأشعة فوق البنفسجية - 200) (400 nm والأشعة تحت الحمراء المتوسطة – 1400)

(3000nm والأشعة تحت الحمراء البعيدة 10600nm (3000-

وتسبب أذية للعدسة أو القرنية ، بينما الأشعة الليزرية الواقعة ضمن الطيف المرئي (400 – 760 nm) و طيف الأشعة تحت الحمراء القريب (760 – 1400 nm) فإنها تستطيع العبور من خلال بنية العين و يتم تضخيمها كما سبق ذكره لتصل إلى الجزء الخلفي للعين و يتم امتصاصها من قبل الشبكية و المشيمية الوعائية [7] وهنا الإصابة ستكون أخطر وسوف تؤدي إلى ضعف الإبصار أو قد تؤدي إلى العمى في مراحلها المتقدمة وتجدر الإشارة هنا إلى وجود عامل خطورة إضافي عند إصابة الشبكية بسبب قلة مستقبلات الألم أي أن الإصابة تحدث من دون الشعور بأي ألـــــــــم. [34]



الشكل (2) يوضح العبور الطيفي من خلال طبقات العين وصولاً إلى الشبكية و امتصاصية الشبكية ((from WHO(1982)

الشكل (2) يوضح منحني النفاذية والامتصاص للطيف الضوئي الليزري داخل العين.

يمكننا مما سبق أن نستخلص آلية التفاعل بين الليزر ذي الطول الموجي الوحيد والنسيج (laser Tissue Interaction) فعلى سبيل المثال فان ليزر CO2 بطول موجي 10600 nm (منطقة تحت الأحمر البعيد) والذي يمتص بشدة من قبل الماء لايعبر أكثر من 100µm ضمن القرنية حيث تقوم القرنية بامتصاصه كونها تتضمن تركيبة مائية أكثر من 78% مما يؤدي إلى توليد طاقة حرارية يتجاوز معدل تبديدها بواسطة البيئة المحيطة وتؤدي إلى إصابة حرارية [8]، أما الليزر الواقع ضمن المجال المرئي وتحت الأحمر القريب فانه سيصل إلى الشبكية وسوف يمتص بشدة من قبل صبغة الميلانين وبشكل اقل من قبل الزانتوفيل والهيموغلوبين والإصابات قد تتراوح بين ضعف حدة البصر و ضعف تمييز الألوان وقد تصل إلى العمى في مراحل متقدمة[8,9] .

بعض الليزرات يمكن أن تصيب أجزاء مختلفة من العين فعلى سبيل المثال فان الليزرات من نوع الكسندرايت 755 nm و ليزرأنصاف النواقل 810 nm و ليزر Nd:Yag بطول موجي 1064 nm يمكن أن تؤذي الشبكية و العدسة معاً، و ليزر من نوع Er:Yag بطول موجي 2940nm يؤذي العدسة و القرنية [7].

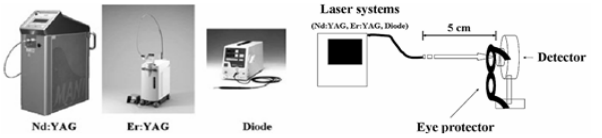
تعطى الأهمية القصوى في اعتبارات الأمان الليزري لحماية العين كونها العضو الأهم والأكثر تعرضاً للأذى، وعند تشغيل أجهزة الليزر فيجب على أي شخص قد يتعرض للإشعاع الليزري ارتداء نظارات واقية مناسبة، بما في ذلك عامل الليزر وموظفي الدعم والمرضى والزوار.

ويتم اختيار النظارات الواقية بناءً على الأطوال الموجية للضوء المنبعث من الليزر حيث يتم تصميم كل زوج من

نظـارات السـلامة بطـول مـوجي مركـزي للـرفض أو نطـاق رفض من الأطوال الموجية الشكل (3)، وتعمل الكثافة البصرية (OD) Optical density التي توفرها النظارة على

الشكل (3): نظارات حماية خاصة لكل نوع من أنواع الليزر [35]

تضعيف الليزر النافذ عبر العدسة إلى العين ويجب استخدام نظـارات حمايـة خاصـة لكل نـوع من أنـواع الليـزر ولا يمكـن استخدام نظـارات الحمايـة الغير موثوقة لما لها من خطورة عالية و قد أجريت تجارب في اليابان على كفاءة النظارات [33]، حيث تم اختبار ثلاث أنواع من الليزرات Nd:Yag و Er:Yag و Diode laser وذلك باستخدام نظارات خاصة لكل نوع من هذه الليزرات، الشكل(4) والشكل(5) حيث بينت القياسات انخفاض الطاقة النافذة من النظارات إلى الكاشف الذي يقوم مقام العين إلى ما يقارب الصفر في حين أن الطاقة المقاسة عند استخدام أنواع رديئة من النظارات قد تزيد عن قيمة MPE المسموحة، الجدول (1).



الشكل (4) مخطط تمثيلي للتجربة حيث يستخدم مقياس طاقة ليزري لقياس الأشعة النافذة من بطارية الحماية بطاقة الليزر 200 mJ بتردد تعرضي 10 pps و زمن 10S

الشكل (5) ثلاث أجهزة ليزر من الليزرات المستخدمة في التجربة.

ومن الجدير ذكره أنه كلما زادت قيمة الكثافة البصرية OD للنظارة، زادت الحماية التي توفرها النظارة ولكنها من ناحية أخرى قد تسبب تشتت ضوئي عالي وتضعف التمييز اللوني بحيث قد لا يميز الطبيب لصاقات علب الأدوية ومواد المعالجة وفي هذه الحالة يجب إشراك أشخاص آخرين في تمييز هذه اللصاقات [7,10].

5. المخاطر الجلدية:

إن مخاطر إصابة الجلد تأتي بالمرتبة الثانية من حيث الاهتمام بعد العين إلا أن احتمالية الإصابة تزيد عن العين و ذلك بسبب أن مساحة الجلد المعرض للإصابة أكبر بكثير من المساحة الصغيرة التي تشغلها العين، وتحدث إصابة الجلد من خلال آليتين أساسيتين هما آلية الضرر الضوئي الكيميائي photo-chemical في منطقة الطيف فوق البنفسجي وآلية الضرر الحراري في منطقة الطيف تحت الأحمر وعلى سبيل المثال فيمكن للبشرة أن تصاب بالحمامى Erythema من خلال الأثر الضوئي الكيميائي [11]، أما الليزر المرئي وتحت الأحمر فيمكن أن يسبب حروق من الدرجة الأولى و الثانية و الثالثة كما يمكن لها أن تحرق الأغطية النسيجية و المواد البلاستيكية في محيط منطقة المعالجة [13].

يرتبط الضرر الذي يمكن أن يحدثه شعاع الليزر بطول الموجة وعمق الاختراق الذي يمكن أن يصله فعلى سبيل المثال فان اختراق ليزر من نوع CO2 بطول موجي 10600 nm يكون من مرتبة 20µm والضرر الذي يمكن أن يحدثه يكون اقل من الأمواج القصيرة مثل ليزر Nd:Yag بطول موجي 1064 nm والذي يمكن أن يخترق عدة ميليمترات داخل النسيج الجلدي.

يمكن أن يحدث حرائق عميقة في الجلد، في حين ليزرات HO:Yag و KTP وتؤدي الى ضرر حراري وسطي بين الاثنين [14].

تشمل المضاعفات الجلدية الأكثر شيوعًا أيضا التهاب الجريبات، والوذمة المحيطة بالجريبات، والألم الجلدي، والتقشر وغيرها.

الجدول(2) تمييز أنواع الليزر من حيث ملاءمتها لنوع الجلد Fritzpatrick Skin type

Type of light based treatments	Wavelength	Recommended suitable skin type
Ruby laser	694 nm	Suitable for fair skin types namely Fitzpatrick I to III. Not suited for darker skin types due to the epidermal melanin interference (12).
Alexandrite laser	755 nm	Suitable for fair skin types namely Fitzpatrick I to III. Not suited for darker skin types due to the epidermal melanin interference (9).
Diode laser	810 nm	Suitable for Fitzpatrick skin types I to V (13).
Nd:YAG laser	1064 nm	Suitable for Fitzpatrick skin type I to VI (14).
Intense Pulse Light (IPL)	400–1400 nm	Typically Fitzpatrick skin type I, and II. Largely dependent on device (9).

[15, 16] ويمكن أن تحدث آثار جانبية أكثرخطورة كما سبق ذكره وتشمل الحروق.

الحرارية التي تؤدي إلى تندب دائم وبثور وتغيرات في الصباغ (فرط ونقص التصبغ) [17] وتشمل الآثار الجانبية الأخرى غير الشائعة تحريض أو تفاقم حب الشباب والطفح الجلدي الشبيه بالوردية.

لعل أكثر مخاطر الجلد التي يمكن أن نشير إليها في الآونة الأخيرة تأتي من ليزرات التجميل ومعالجة البشرة كونها الأكثر انتشاراً وقد أحدثت طفرة في انتشار الليزر في مختلف المواقع الطبية (مشافي – مستوصفات– مراكز – عيادات) و تنشأ الخطورة من الممارسات الخاطئة التي رافقت هذا الانتشار الكبير وقد ينشأ الخطأ هنا من اختيار طول موجي غير مناسب أو تطبيق غير مناسب على منطقة المعالجة وخاصة أن الليزرات المستخدمة في هذا المجال كلها مصنفة بالصنف الثالث والرابع عالي الخطورة و أشهرها Alexandrite(755nm) و laser Diode و Nd:Yag وقد انضم اليها IPL مع العلم انه ليس ضوء ليزري ويختلف بآلية تطبيقه عن الليزر وله ايجابيات وسلبيات، الجدول (2). صرحت الجمعية [33] الكندية للأمراض الجلدية بعد أن قامت باستطلاع عام عن أضرار الليزر المحتملة أن 73% من أطباء الجلد الذين شملهم الاستطلاع أفادوا بأنهم قد عالجوا المرضى من الحروق والندبات والجروح التي لحقت بهم بعد القيام بجلسات معالجة وتجميل بالليزر[18] .

هذه الأضرار بالغالب تسبب بها أشخاص غير متخصصين في العلاج الليزري أو أشخاص غير متدربين بشكل كافي ويمكن أن نستشهد في هذا المجال بدراسة تمت في ألمانيا حيث تم إجراء مسح وطني في الفترة من أكتوبر 2009 إلى يناير(19) 2010 وقيّم هذا التحليل بأثر رجعي 50 مريضا أبلغوا عن أخطاء العلاج من قبل أشخاص عاديين. تم استبعاد البيانات من سبعة مرضى بسبب البيانات المفقودة أو غير المؤكدة أو غير المحددة، والنتيجة أكدت أنه من بين الأشخاص العاديين الذين يديرون العلاج كان 2.3% هم فنانو وشم و13.9 مساعدين مدربين و32.6% لديهم مؤهلات غير محددة و51.2% فقط كانوا أخصائيي تجميل. تم استخدام الأجهزة التالية: تم علاج 62.8% باستخدامIPL، وعولج 18.6% بالليزر، وفي الباقي كانت الأجهزة غير مصنفة، وقد تم الإبلاغ عن حدوث أخطاء العلاج التالية: استخدام الطاقة المفرطة في حالات كثيرة واختيار غير صحيح لجهاز العلاج وتبريد غير كافي للجلد مما أدى إلى ارتفاع درجة حرارة منطقة المعالجة، وعدم كفاية المعلومات للتقييم في حوالي 5% من الحالات [19] أما المضاعفات فقد أفاد الاستطلاع عن المضاعفات التالية: تغييرات صباغية في عدد كبير من الحالات وندبات بنسبة أقل وبعض الحالات أصيبوا باضطرابات نسيجية، وفي 4.6% من الحالات لم تكن الأعراض قابلة للتقييم. 6. المخاطر التنفسية.

الشكل (6):جهاز شفط دخان و هو يمنع استنشاق دخان عمود الليزر Laser Plume

الشكل (7):كمامة خاصة بالليزر تمنع عبور الجزيئات الناتجة عن تبخر الأنسجة

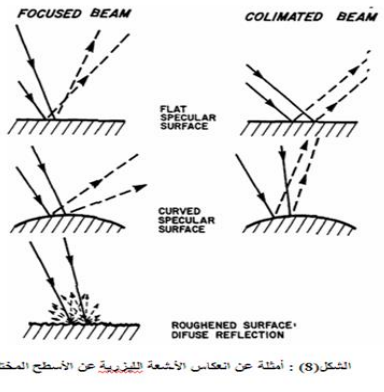
إن التفاعل الحراري بين أشعة الليزر والنسيج المعالج لديه القدرة على إنتاج دخان جراحي أو ما يسمى بعمود الليزر Laser Plume ولهذا الدخان خطورة بسبب ما يحتويه من مواد كيميائية لها القدرة على إحداث الطفرات والتسبب في

الإصابة بالسرطان، فضلاً عن الدور المحتمل الذي قد يلعبه في انتقال المرض.

العالم بلابيرت وآخرون اكتشفوا مواد تم إطلاقها عند التبخر الحراري للأنسجة بليزر Co2 بعضها سام للخلايا وللجينات وبعضها مسبب للطفرات ومن هذه المواد أول أكسيد الكربون، وسيانيد الهيدروجين، والأمونيا، والفورمالدهيد، والأكرولين، والتولوين، وغيرها [21 ,20] كما ثبت أن هذه المواد الموجودة في الدخان الجراحي هي مهيجات تنفسية، مما قد يؤدي إلى التهاب الشعب الهوائية والرئتين [21]، ومن أجل حماية الجهاز التنفسي لا بد من استخدام قناع خاص لليزر يؤمن حماية عالية ضد هذه المواد إضافة إلى ضرورة استخدام أجهزة شفط دخان وأبخرة Smoke Evacuator، الشكل (6) والشكل (7).

[35] 7. الحوادث الليزرية:

إن الخطورة في حوادث الليزر لا تقتصر على التعرض المباشر بل إن بعض الإحصائيات أكدت على أن الانعكاس كان له الدور الأكبر في الإصابات الليزرية وهناك خطورة عالية من احتمال انعكاس شعاع الليزر عن أجسام معدنية وأدوات جراحية أو مرايا ضمن غرفة العمل الجراحي وبعض السطوح المعدنية يمكن أن تعكس حوالي 95% من الإشعاع الليزري.



الشكل(8) : أمثلة عن انعكاس الأشعة الليزرية عن الأسطح المختلفة

[31] الشكل (8) يصف انعكاسات الحزمة الليزرية

من السطوح المستوية والمحدبة والتي قد تكون أدوات جراحية مستخدمة في العمل الجراحي .الحزمة المركزة هي الأكثر خطورة خصوصا إذا كانت من مسافة قريبة مثل تلك المنعكسة من الأدوات الجراحية على أيدي الجراحين من مسافة قريبة بينما الحزمة المتباعدة تكون أكثر خطورة على العين، وينصح هنا باستخدام أدوات جراحية ذات أسطح خشنة خاصة لمنع الانعكاس[24 ,23 [22] كما يجب أخذ البنية التصميمية لغرفة العمليات الليزرية بحيث تكون الألوان أقرب إلى العتامة و الأسطح غير ملساء وفضل أن يراعى مسافة الانعكاس المحتمل بحيث تعمل على تفريق وتباعد الحزمة وتقليل ما أمكن من الخطورة، الشكل (9).

تجدر الإشارة في هذا السياق إلى خطرين أخرين مهمين في مجال الأجهزة الليزرية هما الصبغات الليزرية المستخدمة في أجهزة Dye Laser والعديد من هذه الصبغات شديد السمية ويمكن أن تنتقل سميتها عبر الجلد وعند التعامل معها لا بد للطبيب أو الفني من استخدام القفازات الواقية ويجب التخلص منها عند انتهاء صلاحيتها بإجرائيات خاصة حسب إرشادات الشركات الصانعة تجنباً لضررها وتجنباُ لتلوث البيئة [34].

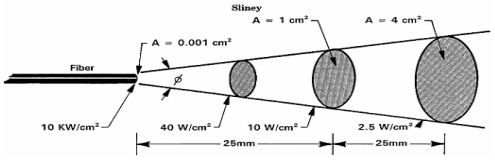
والخطر الثاني هو خطر الحرائق حيث تنجم حرائق الليزر عن اشتعال مادة قابلة للاشتعال بالقرب من الليزر أثناء إجراء المعالجة أو الجراحة بالليزر مثل الشاش والمناشف والستائر وملحقات أجهزة التنفس، بما في ذلك أقنعة الوجه و قنيات الأنف ويجب أخذ الحيطة أو إزالة كل هذه المواد القابلة للاشتعال بما في ذلك المكياج قبل إجراء الليزر واستبدالها إن أمكن بمواد غير قابلة للاشتعال ولا ينبغي أبدًا استخدام الكحول لتحضير مكان العملية، كما يجب توخي الحذر عند إجراء عمليات الليزر في المناطق التي تحتوي على الشعر، حيث يمكن أن يشتعل الشعر ويسبب حروقًا في الجلد، ومن أجل التخفيف من مخاطر اشتعال المواد التي يحتمل احتراقها فيمكن استخدام محلول ملحي لترطيب منطقة الجراحة والأدوات– بما في ذلك الستائر والشاش والأنابيب ومن المناسب أيضًا إبقاء شعر المريض رطبًا أثناء العملية لتقليل احتمالية التسبب في الحرق [25, 26, 27].

8. الأمان الليزري:

كل ما سبق يدل على أن العلاج بالليزر يتطلب مستوى عالي من الأمان واحتياطات السلامة إضافة إلى ضرورة تأهيل وتثقيف الكوادر التي ستعالج بالليزر ورفع سويتها قبل المباشرة باستخدام الليزر علاجياً ونشير هنا إلى أن بعض البلدان لا تسمح لأي أخصائي بممارسة العلاج الليزري إلا بعد اجتياز دورات تدريبية قد تصل إلى 100ساعة[28]

إن معظم الدول تعمل على وضع معايير أمان للتطبيقات الليزرية تتماشى مع المعايير العالمية ولعل أشهرها هو معيار المعهد الوطني الأمريكي American National Standards Institute ويطلق عليه اختصاراً ANSI ويوفر قائمة من الاجرائيات وعوامل التحكم والاحتياطات التي تهدف إلى تحقيق درجة عالية من الحماية للمريض والكادر الطبي والهندسي إضافة إلى المرافقين والناس العاديين الموجودين في منطقة الليزر[30] .

وتجدر الإشارة هنا أن المعايير العالمية تؤكد على ضرورة تعيين ضابط أمان ليزري في كل منشأة طبية تستخدم الليزر Laser Safety Officer ويختصر بـ LSO بحيث يكون هو المسؤول عن إدارة برنامج الأمان الليزري ولديه الصلاحيات بتقييد أو تعليق أو إيقاف نظام الليزر في حال كانت ضوابط أمان الليزر غير كافية[29, 30]، و لا يمكن تحقيق الغاية المثلى إلا إذا شارك المجتمع بأكمله من جراحين وأطباء وكادر تمريضي ومهندسي الأجهزة الطبية ومسؤولي السلامة الليزرية LSO في هذا السياق، كما لا يجب أن نهمل السلامة الكهربائية بحيث لا يتشكل أي أخطار محتملة لصدمة كهربائية والتأكيد على تأريض الأجهزة و اتخاذ إجراءات السلامة الكهربائية بالكامل حسب إرشادات الشركة الصانعة وهذه مسؤولية مهندسي وفنيي الالكترونيات الطبية.[30]



الشكل (9) تباعد الحزمة الليزرية تناسبياً مع البعد عن مخرج الليف الضوئي

حسب معيار ANSI تقسم تدابير الأمان والسلامة الليزرية إلى ضوابط هندسية وضوابط إدارية وإجرائية ومعدات واقية ويمكن أن نلخص ونختصر بعضاً من هذه الضوابط بالإرشادات والاجرائيات التالية:

– وجود علامات تحذيرية خارج وداخل غرفة الليزر.

– حصر التواجد في غرفة العمليات على المريض وأعضاء الفريق الطبي والمتخصصين بمراقبة الأمان الليزري.

– استخدام قائمة فحص سلامة الليزر قبل كل عملية جراحية أو علاجية بالليزر تتضمن مراجعة جاهزية الجهاز واعتبارات السلامة الكهربائية واعتبارات الأمان في غرفة العمليات (أبواب –نوافذ – فتحات تهوية .....).

– التأكد من عمل مفتاح الطوارئ ومفتاح القفل البعيد ودعسة القدم.

– التأكد من عمل وجاهزية أجهزة التبريد وأجهزة شفط الأبخرة Smoke Evacuator ومجاري التهوية.

– التأكد من سلامة نظام نقل الليزر وخاصة نظام الألياف البصرية والتأكد من عدم وجود كسر فيها قد يؤدي إلى حوادث أو أخطار ليزرية. [31]

– التأكد من جاهزية شعاع التهديف Aiming Beam ومعايرته.

– التأكد من الحمايات العينية بحيث تكون سليمة لا يوجد فيها حك أو تخرش والتأكد من سلامة الإطار كما تشمل أيضا دروع الوجه وواقيات الأعين المعدنية أو الخزفية.

– التأكيد على توفير الحمايات الشخصية المناسبة لكل نوع من أنواع الليزر المستخدم في المنشأة الطبية.

– التقيد باستخدام ملحقات للعمل الجراحي متوافقة مع الليزر وخاصة تلك المستخدمة في فم المريض مثل أنابيب الرغامى

Endotracheal Tubes حيث يمكن أن تؤثر على حياة المريض.

– التأكيد على دور مسؤول سلامة الليزر LSO وتحديد مؤهلاته وتمكينه من القيام بدوره في إدارة برنامج السلامة الليزرية.

–يجب توثيق المعالجات الليزرية بحيث يحتفظ بوثائق تبين معلومات المريض ونوع المعالجة والجهاز المستخدم وطاقة الليزر المطبقة ومدة المعالجة وعدد الجلسات ونتائج المعالجة.

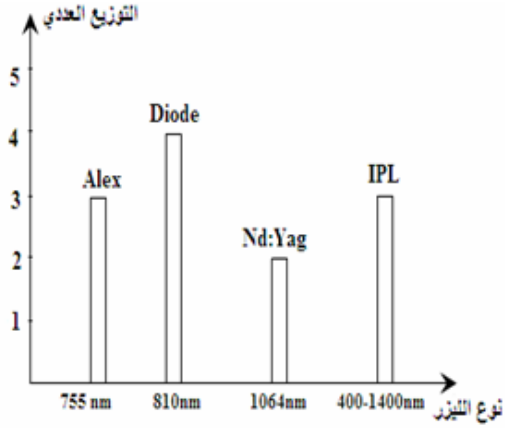
9. دراسة الأمان الليزري في دمشق وضواحيها:

كتطبيق عملي لأمان الليزر ومن كوننا مهندسي وفنيي أجهزة طبية نعمل بأجهزة الليزر وعلى تماس مباشر مع مراكز الليزر فقد تم انجاز دراسة مصغرة على عدة مراكز معالجة بالليزر واستهدفت فقط الأجهزة المستخدمة في مجال نزع الشعر Hair Removal في دمشق وضواحيها وحصلنا على النتائج التالية:

عدد المراكز المتضمنة في الدراسة بلغ 6مراكز وعدد أجهزة الليزر في المراكز الستة بلغ 12 جهازاً ما بين أجهزة ليزر و أجهزة ضوء مكثف IPL بحيث كان من ضمن هذه الأجهزة 3 أجهزة IPL و4 أجهزة Diode و3 أجهزة Alexandrite وجهازين Nd:Yag والأجهزة بمعظمها من منشأ الصين و بعضها من منشأ ايطالي، الشكل (10).

تمت متابعة 70 حالة معالجة إلا أنه لم يستجب إلا 47 حالة وامتنعت باقي الحالات عن أي إجابات وتبين أن أفضل النتائج تم الحصول عليها من أجهزة Alexandrite وNd:Yag وكانت أجهزة IPL هي الأسهل استخداماً على المريض و الكادر الطبي إلا أن أجهزة IPL وأجهزة Diode laser كانت أقل فعالية،

ومن ضمن 47 حالة عانت 11 حالة من إصابات جلدية تراوحت بين الاحمرار وفرط التصبغ وحروق من الدرجة الأولى لحالتين فقط، ولم يحدث أي حوادث ليزرية بحسب إجابات الكادر الإداري والطبي مثل خروج عن السيطرة أو إصابات ناتجة عن انعكاس الليزر أو التسبب بإحداث حرائق.



الشكل(10) التوزع العددي لأجهزة الليزر في المراكز المدروسة

ارتكبت مجموعة من الأخطاء التي أدت إلى الآثار الجانبية أو إلى عدم فعالية المعالجة مثل عدم المطابقة في بعض الحالات لنوع الجلد ولونه مع ليزر المعالجة وكذلك تم استخدام طاقات عالية أدت إلى نشوء بعض الندبات وعدم وجود تبريد فعال وتكرار الجلسات الليزرية أكثر من اللازم، ومن خلال استقصاء المراكز الستة تبين أن اعتبارات الأمان الليزري لم يكن على المستوى المقبول وسجلنا الملاحظات التالية:

–بعض الكوادر الطبية لم يكن يستخدم نظارات حماية

–غياب الإشارات التحذيرية من أشعة الليزر في بعض المراكز.

–لم يكن هناك أي شخص مسؤول عن أمان الليزر (LSO)

–لا يوجد فني أو مهندس طبي مسؤول عن معايرة الجهاز أو الصيانة الدورية وضمان سلامة الأجهزة من الناحية الفنية والكهربائية إلا بالحد الأدنى من قبل المورد للجهاز:

–ثلاث مراكز فقط لديها أجهزة تبريد للجلد.

–مركزان لديهم أجهزة شفط أبخرة الليزر.

Laser Plume لحماية الجهاز التنفسي والباقي يعتمد على التهوية بنسب متفاوتة.

– لا يوجد توثيق للمعالجة بحيث لا يحتفظ بسجلات لكل حالة مرضية يحدد فيها الطاقة المستخدمة ومدة التعريض الليزري والمتابعة السريرية غياب معظم متطلبات السلامة الكهربائية مثل سلك الأرضي أو مفتاح القفل البعيد.

9.1 تقييم عوامل الأمان الليزري:

من أجل دراسة عوامل الأمان الليزري في المراكز الستة فقد قمنا بتقييم مجموعة من المعايير الأساسية للأمان الليزري وتم تنظيم جدول يبين نسبة تحقيق المركز لكل من هذه المعايير بنسبة بين 0% و100% ثم قمنا بأخذ الوسطي للمراكز الستة من أجل تقييم الحالة العامة السائدة للأمان الليزري وهذه المعايير هي التالية:

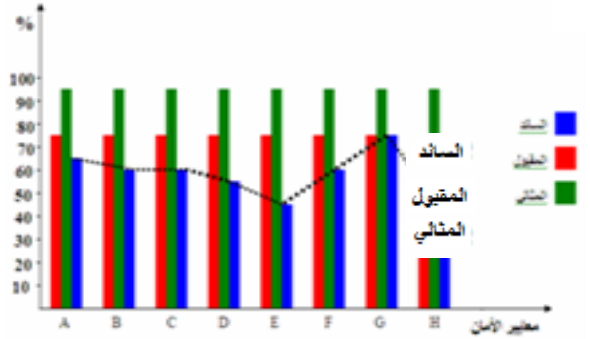
- (A) نظارات حماية العين للكادر الطبي و المريض.
- (B) ملاءمة المكان للعلاج الليزري واحتياطات أمان الانعكاس وأمان الحريق.
- (C) تبريد الجلد الفعال.
- (D) وجود آليات شفط أبخرة .Smoke evacuator
- (E) مراقبة أمان الليزر.
- (F) فعالية المعالجة.
- (G) اعتبارات الأمان في جهاز الليزر مثل مفتاح الطوارئ وكود التشغيل السري و مفتاح القفل البعيد.
- (H) اعتبارات السلامة الفنية والكهربائية من قبل مهندسين متخصصين.

وتم إهمال اعتبارات مهمة أخرى مثل مؤهلات الكادر الطبي أو الحوادث الليزرية وذلك لعد م وجود إجابات على هذا الصعيد، الجدول(3) .

الجدول(3) نتائج تقييم عوامل الأمان لست مراكز في دمشق و ضواحيها

عامل الأمان / المركز المدروس	A %	B %	C %	D %	E %	F %	G %	H %
المركز الأول	85	50	40	40	40	50	80	40
المركز الثاني	30	65	40	40	40	65	70	40
المركز الثالث	90	70	90	85	50	80	80	60
المركز الرابع	70	60	90	89	50	75	90	60
المركز الخامس	60	50	40	40	40	60	70	40
المركز السادس	50	75	80	40	50	50	70	40
الوسطي	64.66	61.66	63.33	55.66	45	63.33	76.66	46.66

وإذا اعتبرنا أن الحد المقبول لعوامل الأمان هو 75% لما لهذا الموضوع من أهمية فان النتائج كلها دون المستوى المقبول ولا بدمن وجود آليات مراقبة وتصحيح لرفع السوية فوق المستوى المطلوب لجميع المراكز، الشكل (11) يبين رسم بياني لمستوى الأمان الليزري السائد مقارنة بالأمان الليزري المثالي.



الشكل (11): رسم بياني لمستوى الأمان السائد حسب الدراسة لست مراكز بدمشق مقارنة مع مستوى الأمان المثالي

ويمكن الحصول على بعض القيم والمؤشرات الإحصائية من خلال استخدام برنامج SPSS الإحصائي، الجدول(4).

يبين هذا الجدول بعض القيم الإحصائية المهمة:

(Mean=59.27,Median=60

Std.Deviation=18.137,Variance=328.949)، وأصغر قيمة تساوي 30 والقيمة الأعلى هي 90. أكثر القيم تكراراً هي 40 حيث تكررت 14 مرة بنسبة 28.6 % وكذلك القيمة 50 والقيمة 60 وأقلها تكراراً هي 89 حيث وردت مرة واحدة.

وتؤكد هذه المؤشرات ما خلصنا إليه فيما سبق من أن سوية عوامل الأمان الليزري هي دون المستوى المقبول ونحن بحاجة لرفع هذه السوية من أجل ممارسة طبية آمنة.

الجدول (4) بعض القيم و المؤشرات الإحصائية باستخدام برنامج SPSS

Statistics

عوامل الأمان

N	Valid	49
	Missing	0
Mean		59.27
Median		60.00
Std. Deviation		18.137
Variance		328.949
Minimum		30
Maximum		90

عوامل الأمان

		Frequency	Percent
Valid	30	1	2.0
	40	14	28.6
	45	1	2.0
	50	8	16.3
	60	5	10.2
	65	2	4.1
	70	5	10.2
	75	2	4.1
	80	4	8.2
	85	2	4.1
	89	1	2.0
	90	4	8.2
	Total	49	100.0

10. التطلعات المستقبلية:

إن الكوادر المخصصة لاستخدام أجهزة الليزر يجب أن تتلقى التعليم والتدريب المناسب حسب مسؤولية كل منهم كما أن وضع برامج ومعايير لضبط وتقييم أمان الليزر في المنشآت الطبية في ضوء الانتشار الحالي الواسع بات ضرورة ملحة وذلك من وتؤكد هذه المؤشرات ما خلصنا إليه فيما سبق من أن سوية عوامل الأمان الليزري هي دون المستوى المقبول ونحن بحاجة لرفع هذه السوية من أجل ممارسة طبية آمن.

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل(501100020595).

References:

[1] Laser Safety Training Tutorial UIUC. Available at: http://www.ehs.edu/~ rad/laser/tutorial. html. Accessed Feb 14, 2023.

[2] University of Iowa Health Sciences Laser Safety Program. Advanced Laser Safety Course. Section7: Laser Standards. Available at:http://www.vh.org/Providers/TeachingFiles/LaserSafety/advanced/AdvancedSection7.html. Accessed May 10, 2001. Accessed Feb25, 2023.

[3] Laser safety. In: Luxar LX-20 operator's manual. Bothell (WA): Luxar Corporation; 1996. p. 2-1–2-27.

[4] Laser safety guide, Marshall W, Sliney D, editors. Orlando (FL): Laser Institute of America; 2000. p. 1–47.

[5] Sliney DH, and Wolbarsht ML. 1980. "Safety with Lasers and Other Optical Sources." New York: Plenum.

[6] Sliney DH, Trokel SL.1992. "Medical Lasers and Their Safe Use." New York: Springer-Verlag.

[7] Youker SR, Ammirati CT. 2001."Practical aspects of laser safety". Facial Plast Surg; 17:155–163.

[8] Barkana Y, Belkin M2000." Laser eye injuries". Surv Ophthalmol; 44:459– 478.

[9] Goldman AI, Ham WT Jr, Mueller HA.1975."Mechanisms of retinal damage resulting from the exposure of rhesus monkeys to ultrashort laser pulses". Exp Eye Res; 21:457–469.

[10] Teichman JM, Vassar GJ, Yates JT, Angle BN, Johnson AJ, Dirks MS, Thompson IM.1999."Color vision deficits and laser eyewear protection for soft tissue laser applications". J Urol; 161:874– 880.

[11] Wood RL, Sliney DH, Basye RA. 1992."Laser reflections from surgical instruments". Lasers Surg Med,12:675-678. [12] Sliney DH, Mainster MA. 1987."Potentially hazardous reflec- tions to the clinician during photocoagulation". Am J Ophthalmol; 103(6):758-760.

[13] Sliney DH, Trokel SL. 1992. "Medical Lasers and Their Safe Use." New York: Springer-Verlag.

[14] Sliney DH, and Wolbarsht ML. 1980."Safety with Lasers and Other Optical Sources". New York: Plenum.

[15] Lapidoth M, Shafirstein G, Ben Amitai D, Hodak E, Waner M, David M. Reticulate. 2004."erythema following diode laser-assisted hair removal: a new side effect of a common procedure". J Am Acad Dermatol.; 51:774–77.

[16] Vano-GalvanS, Jaen P. 2009."Complications of nonphysician-supervised laser hair removal. Case report and literature review". Can Fam Physician.;5 5: 50 –52.

[17] Alster TS, Khoury RR. 2009. "Treatment of laser complications". Facial Plast Surg.; 25:316–23.

[18] Das A, Sarda A, De A. 2016.Cooling devices in laser therapy. J Cutan Aesthet Surg.;9: 215– 19.

[19] Hammes S, Karsai S, Metelmann HR, Pohl L, Kaiser K, Park BH, Raulin C.2013."Treatment errors resulting from use of lasers and IPL by medical laypersons: results of a nationwide survey". J Dtsch Dermatol Ges.;11:149 –56.

[20] Youker SR, Ammirati CT. 2001." Practical aspects of laser safety". Facial Plast Surg; 17:155–163.

[21] Barrett WL, Garber SM.2003." Surgical smoke: a review of the literature. Is this just a lot of hot air?". Surg Endosc; 17:979– 987.

[22] Sliney DH, Trokel SL. 1992." Medical Lasers and Their Safe Use". New York: Springer-Verlag.

[23] Sliney DH, Mainster MA. 1987."Potentially hazardous reflec- tions to the clinician during

photocoagulation". Am J Oph- thalmol; 103(6):758-760.

[24] Wood RL, Sliney DH, Basye RA.1992."Laser reflections from surgical instruments". Lasers Surg Med,12:675-678.

[25] Youker SR, Ammirati CT.2001. "Practical aspects of laser safety". Facial Plast Surg; 17:155–163.

[26] Epstein RH, Brummett RR Jr, Lask GP. 1990." Incendiary potential of the flash- lamp pumped 585- nm tunable dye laser". Anesth Analg; 71:171– 175.

[27] Rohrich RJ, Gyimesi IM, Clark P, Burns AJ.1997."CO laser safety considerations in facial skin resurfacing". Plast Reconstr Surg; 100:1285–1290.

[28] Crichton P. Informative articles laser or IPL treatments; 2012 [accessed 2016 May 28].

[29] Guideline for laser safety. In: Guidelines for Perioperative Practice. Denver, CO: AORN, Inc; 2021. In press.

[30] American National Standards Institute. Laser Institute of America. ANSI Z136.3: Safe Use of Lasers in Health Care. Orlando, FL: Laser Institute of America; 2018.

[31] Sliney DH.1995. "Laser Safety". Lasers in Surgery and Medicine 16:215-225.

[32] Saegusa H, Watanabe S.2010. "Safety of laser use under the dental microscope.ae". Aust Endod J 2010; 36: 6–11.

[33] Mandy M. Thomas & Nicolette N. Houreld .2019."The ins and outs" of laser hair removal: a mini review". Journal of Cosmetic and Laser Therapy
.

[34] Moseley H.1994. "Ultraviolet and Laser Radiation Safety". Phys. Med.
Biol.1765-1749.

[35] Fry TR. Laser safety. Vet Clin North Am Small Anim Pract. 2002 May;32(3):535-47. doi: 10.1016/s0195-5616(02)00004-9. PMID: 12064040.