



International Commission on Illumination
Commission Internationale de l'Eclairage
Internationale Beleuchtungskommission

ISBN 978-3-902842-14-5

DOI: 10.25039/TR.245.2021

TECHNICAL REPORT

Optical Safety of Infrared Eye Trackers Applied for Extended Durations

CIE 245:2021

UDC: 612.014.481-06

Descriptor: Optical radiation effects on humans

THE INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION

The International Commission on Illumination (CIE) is an organization devoted to international co-operation and exchange of information among its member countries on all matters relating to the art and science of lighting. Its membership consists of the National Committees in about 40 countries.

The objectives of the CIE are:

1. To provide an international forum for the discussion of all matters relating to the science, technology and art in the fields of light and lighting and for the interchange of information in these fields between countries.
2. To develop basic standards and procedures of metrology in the fields of light and lighting.
3. To provide guidance in the application of principles and procedures in the development of international and national standards in the fields of light and lighting.
4. To prepare and publish standards, reports and other publications concerned with all matters relating to the science, technology and art in the fields of light and lighting.
5. To maintain liaison and technical interaction with other international organizations concerned with matters related to the science, technology, standardization and art in the fields of light and lighting.

The work of the CIE is carried out by Technical Committees, organized in six Divisions. This work covers subjects ranging from fundamental matters to all types of lighting applications. The standards and technical reports developed by these international Divisions of the CIE are accepted throughout the world.

A plenary session is held every four years at which the work of the Divisions and Technical Committees is reported and reviewed, and plans are made for the future. The CIE is recognized as the authority on all aspects of light and lighting. As such it occupies an important position among international organizations.

LA COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE

La Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) est une organisation qui se donne pour but la coopération internationale et l'échange d'informations entre les Pays membres sur toutes les questions relatives à l'art et à la science de l'éclairage. Elle est composée de Comités Nationaux représentant environ 40 pays.

Les objectifs de la CIE sont :

1. De constituer un centre d'étude international pour toute matière relevant de la science, de la technologie et de l'art de la lumière et de l'éclairage et pour l'échange entre pays d'informations dans ces domaines.
2. D'élaborer des normes et des méthodes de base pour la métrologie dans les domaines de la lumière et de l'éclairage.
3. De donner des directives pour l'application des principes et des méthodes d'élaboration de normes internationales et nationales dans les domaines de la lumière et de l'éclairage.
4. De préparer et publier des normes, rapports et autres textes, concernant toutes matières relatives à la science, la technologie et l'art dans les domaines de la lumière et de l'éclairage.
5. De maintenir une liaison et une collaboration technique avec les autres organisations internationales concernées par des sujets relatifs à la science, la technologie, la normalisation et l'art dans les domaines de la lumière et de l'éclairage.

Les travaux de la CIE sont effectués par Comités Techniques, organisés en six Divisions. Les sujets d'études s'étendent des questions fondamentales, à tous les types d'applications de l'éclairage. Les normes et les rapports techniques élaborés par ces Divisions Internationales de la CIE sont reconnus dans le monde entier.

Tous les quatre ans, une Session plénière passe en revue le travail des Divisions et des Comités Techniques, en fait rapport et établit les projets de travaux pour l'avenir. La CIE est reconnue comme la plus haute autorité en ce qui concerne tous les aspects de la lumière et de l'éclairage. Elle occupe comme telle une position importante parmi les organisations internationales.

DIE INTERNATIONALE BELEUCHTUNGSKOMMISSION

Die Internationale Beleuchtungskommission (CIE) ist eine Organisation, die sich der internationalen Zusammenarbeit und dem Austausch von Informationen zwischen ihren Mitgliedsländern bezüglich der Kunst und Wissenschaft der Lichttechnik widmet. Die Mitgliedschaft besteht aus den Nationalen Komitees in rund 40 Ländern.

Die Ziele der CIE sind:

1. Ein internationales Forum für Diskussionen aller Fragen auf dem Gebiet der Wissenschaft, Technik und Kunst der Lichttechnik und für den Informationsaustausch auf diesen Gebieten zwischen den einzelnen Ländern zu sein.
2. Grundnormen und Verfahren der Messtechnik auf dem Gebiet der Lichttechnik zu entwickeln.
3. Richtlinien für die Anwendung von Prinzipien und Vorgängen in der Entwicklung internationaler und nationaler Normen auf dem Gebiet der Lichttechnik zu erstellen.
4. Normen, Berichte und andere Publikationen zu erstellen und zu veröffentlichen, die alle Fragen auf dem Gebiet der Wissenschaft, Technik und Kunst der Lichttechnik betreffen.
5. Liaison und technische Zusammenarbeit mit anderen internationalen Organisationen zu unterhalten, die mit Fragen der Wissenschaft, Technik, Normung und Kunst auf dem Gebiet der Lichttechnik zu tun haben.

Die Arbeit der CIE wird durch Technische Komitees geleistet, die in sechs Divisionen organisiert sind. Diese Arbeit betrifft Gebiete mit grundlegendem Inhalt bis zu allen Arten der Lichtanwendung. Die Normen und Technischen Berichte, die von diesen international zusammengesetzten Divisionen ausgearbeitet werden, sind auf der ganzen Welt anerkannt.

Alle vier Jahre findet eine Session statt, in der die Arbeiten der Divisionen berichtet und überprüft werden, sowie neue Pläne für die Zukunft ausgearbeitet werden. Die CIE wird als höchste Autorität für alle Aspekte des Lichtes und der Beleuchtung angesehen. Auf diese Weise unterhält sie eine bedeutende Stellung unter den internationalen Organisationen.

Published by the

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE
CIE Central Bureau
Babenbergerstrasse 9, A-1010 Vienna, AUSTRIA
Tel: +43(1)714 31 87
e-mail: ciecb@cie.co.at
www.cie.co.at

© CIE 2021 - All rights reserved



International Commission on Illumination
Commission Internationale de l'Eclairage
Internationale Beleuchtungskommission

ISBN 978-3-902842-14-5

DOI: 10.25039/TR.245.2021

TECHNICAL REPORT

Optical Safety of Infrared Eye Trackers Applied for Extended Durations

CIE 245:2021

UDC: 612.014.481-06

Descriptor: Optical radiation effects on humans

This Technical Report has been prepared by CIE Technical Committee (TC) 6-64 of Division 6 "Photobiology and Photochemistry". The document reports on current knowledge and experience within the specific field of light and lighting described, and is intended to be used by all with an interest in excellence in light and lighting. The information provided here is advisory, and not mandatory.

Ce rapport technique a été élaboré par le Comité Technique (TC) 6-64 de la CIE Division 6 "Photobiologie et Photochimie". Le document expose les connaissances et l'expérience actuelles dans le domaine particulier de la lumière et de l'éclairage décrit ici. Il est destiné à être utilisé par tous ceux qui s'intéressent à l'excellence de la lumière et de l'éclairage. Les informations fournies ici sont données à titre indicatif et non obligatoire.

Dieser technische Bericht ist vom Technischen Komitee (TC) 6-64 der CIE Division 6 "Photobiologie und Photochemie" ausgearbeitet worden. Das Dokument berichtet über den derzeitigen Stand des Wissens und Erfahrung in dem behandelten Gebiet von Licht und Beleuchtung; es ist zur Verwendung durch alle an Licht- und Beleuchtungsqualität Interessierte bestimmt. Die in diesem Dokument gegebenen Informationen sind eine Empfehlung und keine Vorschrift.

Any mention of organizations or products does not imply endorsement by the CIE. Whilst every care has been taken in the compilation of any lists, up to the time of going to press, these may not be comprehensive.

Toute mention d'organisme ou de produit n'implique pas une préférence de la CIE. Malgré le soin apporté à la compilation de tous les documents jusqu'à la mise sous presse, ce travail ne saurait être exhaustif.

Die Erwähnung von Organisationen oder Erzeugnissen bedeutet keine Billigung durch die CIE. Obgleich große Sorgfalt bei der Erstellung von Verzeichnissen bis zum Zeitpunkt der Drucklegung angewendet wurde, besteht die Möglichkeit, dass diese nicht vollständig sind.

© CIE 2021 - All rights reserved

The following members of TC 6-64 “Optical Safety of Infrared Eye Trackers Applied for Extended Durations” took part in the preparation of this Technical Report. The committee comes under Division 6 “Photobiology and Photochemistry”.

Authors:

Sliney, D.H. (Chair)	USA
Mulvey, F. (Co-Chair)	Denmark
Charlier, J.	France
Cleveland, D.	USA
Daunys, G.	Lithuania
Donegan, M.	United Kingdom
Droege, D.	Germany
Joos, M.	Germany
Liggins E.	United Kingdom
Schulmeister, K.	Austria
Söderberg, P.	Sweden
Štěpánková, O.	Czech Republic
Villanueva, A.	Spain

TC 6-64 acknowledges the assistance by Dr. Jean-Pierre Césarini (FR) in reviewing the section on potential hazards to the skin.

Contents

Summary	v
Résumé	v
Zusammenfassung	vi
1 Introduction	1
2 Background	1
3 Potential optical radiation hazards	1
4 Hazard criteria and standards	3
4.1 Human exposure limits and product emission limits	3
4.2 Lamp safety standards	3
4.3 Laser product safety standard	3
5 Human exposure limits for hazard evaluation	3
5.1 Background	3
5.2 Exposure guidelines for IR-A radiant energy	3
5.3 Infrared corneal (lens) thermal hazard	4
5.4 Retinal thermal hazard	4
5.5 Maximum permissible exposure limits for laser radiation at 810 nm	5
5.6 Retinal irradiance approach	7
6 Applicability to chronic exposure	7
7 Skin exposure	8
8 Radiometric measurements	9
8.1 Exposures of the eyes at reference points and for normal use	9
8.2 Exposures of the eye at the closest points of access	9
8.3 Measurements of ultraviolet radiation (UVR)	9
8.4 Measurement of source characteristics	9
9 Recommended measurement procedure for infrared eye trackers	10
9.1 Part A	10
9.2 Part B	10
10 Conclusions	11
Annex A Retinal irradiance and retinal injury	12
A.1 Retinal irradiance and source radiance	12
A.2 Retinal injury thresholds at 810 nm	12
A.3 Point source vs. extended source	13
A.4 Table A.1 – Representative eye-tracker measurements	14
A.5 Table A.2 – Terms and Definitions	15
References	18

OPTICAL SAFETY OF INFRARED EYE TRACKERS APPLIED FOR EXTENDED DURATIONS

Summary

Infrared eye trackers are employed to achieve communication through gaze interaction, which is an important application of modern electro-optics and computer technology to the benefit of persons with disabilities who have major motor impairments, as well as for general use as a human-to-computer interaction device.

By tracking eye movements of persons with severe motor disabilities, the individuals can interact with automated equipment through movements of their gaze. In addition to purely passive systems, which may only employ ambient lighting, more typical eye trackers employ active infrared eye-tracking techniques. However, questions have arisen with regard to the potential optical radiation hazards of using infrared eye trackers for the much-extended durations of 10 to 12 hours each day for a lifetime. Conventional eye trackers employed in the research setting would rarely be used for more than an hour. Several exposure guidelines exist today, but the question has arisen whether the chronic nature of exposure for such an infrared illuminator for assistive devices falls outside the assumed conditions of daily exposure.

This technical report explores the basis of the current human exposure guidelines, their scientific basis and underlying assumptions in order to determine the direct applicability of these guidelines to this application. It is found that the most limiting exposure criterion is the infrared exposure limit to protect against delayed changes in the crystalline lens of the eye. The Technical Committee also examined some representative eye trackers and found that the day-long average exposure in these typical examples of current technology did not exceed that criterion.

SECURITE OPTIQUE DES DISPOSITIFS INFRAROUGES DE SUIVI DU REGARD POUR DE LONGUES DUREES D'UTILISATION

Résumé

Les dispositifs infrarouges de suivi du regard (eye-trackers) sont utilisés pour permettre une communication par le regard, ce qui est une application importante de l'électro-optique moderne et de la technologie informatique pour le bénéfice des personnes handicapées qui ont des restrictions motrices importantes. On peut utiliser cette technologie également à des fins générales.

Par la poursuite des mouvements oculaires chez des personnes présentant de désordres moteurs importants, ces personnes peuvent interagir avec des équipements automatisés grâce aux mouvements de leur regard. Il-y-a des eye-trackers purement passifs qui peuvent uniquement utiliser l'éclairage ambiant, mais la plupart des eye-trackers utilise des rayons infrarouge. Cependant, des questions ont été posées concernant les risques potentiels du rayonnement infrarouge pendant des longues durées d'utilisation, jusqu'à 10 à 12 heures par jour pendant la durée de vie. Des eye-trackers conventionnels utilisés en recherche ne sont que rarement utilisés pendant plus d'une heure. Il-y-a des recommandations pour différents types d'exposition, mais des questions ont été posées concernant les conditions d'exposition des sources infrarouges dans les appareils et accessoires fonctionnels (comme pour des personnes handicapées) dont l'utilisation chronique dépasse les conditions d'exposition quotidiennes supposées.

Ce rapport technique explore les bases des recommandations concernant les limites maximale d'exposition humaine, leurs bases scientifiques et leurs conséquences afin d'évaluer la validité de ces recommandations pour des utilisations chroniques. Ce rapport conclut que le critère d'exposition le plus drastique est la limite maximale d'exposition infrarouge pour protéger contre les effets à long terme sur le cristallin de l'œil. Le Comité Technique a également examiné quelques eye-trackers représentatifs et a constaté que l'exposition moyenne sur une journée pour ces exemples typiques de la technologie actuelle ne dépassait pas ce critère.

OPTISCHE SICHERHEIT VON INFRAROT-BLICKBEWEGUNGSMESSERN IM LANGZEITGEBRAUCH

Zusammenfassung

Infrarot-Blickbewegungsmesser (Eyetracker) werden angewendet, um Kommunikation mittels Blickinteraktion zu ermöglichen. Dies ist eine wichtige Anwendung moderner Opto-Elektronik und Computer-Technologie, um Personen mit motorischen Behinderungen zu unterstützen sowie als allgemein anwendbare Methode zur Interaktion mit Computern.

Durch das Verfolgen der Blickbewegungen von Personen mit erheblichen motorischen Beeinträchtigungen wird es diesen ermöglicht, mit Hilfe ihrer Blickbewegungen mit automatisierten Geräten zu interagieren. Neben rein passiven Systemen, die nur mit Umgebungslicht arbeiten, verwenden typische Eyetracker aktive Infrarot-Techniken. Dadurch stellte sich die Frage, inwieweit die optische Strahlung eines Eyetrackers, wenn diese im Langzeitgebrauch von 10 bis 12 Stunden lebenslang täglich auftritt, eine Gefährdung darstellt. Konventionelle Eyetracker, wie sie in wissenschaftlichen Kontexten verwendet werden, kommen selten länger als eine Stunde zum Einsatz. Momentan gibt es mehrere Strahlungsrichtlinien, wobei sich die Frage stellt, ob diese auch auf den Langzeitgebrauch, wie er in Hilfsmitteln, die mit einer Infrarot-Lichtquelle ausgestattet sind, anwendbar sind.

Dieser technische Bericht erörtert die Grundlage bestehender Strahlungsrichtlinien für Menschen, ihre wissenschaftliche Basis und zugrunde liegenden Annahmen, um sie auf ihre Anwendbarkeit für die hier beschriebene Anwendung zu überprüfen. Es wurde herausgefunden, dass das Infrarot-Strahlungslimit zum Schutz der Linse des Auges gegen verzögerte Veränderungen das am meisten limitierende Kriterium ist. Das technische Komitee nahm auch Messungen an repräsentativen Eyetrackern vor und konnte zeigen, dass die über einen Tag emittierte Strahlendosis dieser typischen Beispiele aktueller Technologie unter diesem Grenzwert blieben.

1 Introduction

Communication through gaze interaction applies both to the application of modern electro-optics and computer technology to the benefit of users with disabilities, through the development of assistive technologies for citizens with motor impairments, and to the use of gaze attenuated technologies in general use. A major goal is to improve existing gaze-based interaction techniques and facilitate the implementation of systems for everyday communication. By tracking the eye movements of persons with severe motor disabilities, gaze provides a means of interacting with automated equipment and computer interfaces. Such users often rely on eye tracking for all their communication and environmental control needs, every day, and may have limited ability to blink or especially large pupils, or both. In addition to purely passive systems, which may only employ ambient lighting, more typical eye-tracking devices employ active infrared (IR) eye tracking techniques. Systems in this latter category are the subject of this report. As part of the compilation of this report the Technical Committee also conducted measurements on some representative eye trackers to quantify optical radiation emissions.

2 Background

Typical eye trackers employ infrared Light Emitting Diodes (LEDs), sometimes referred to as “IREDS”, or other types of filtered infrared lamps and projection optics to illuminate the eye. Although visible optical radiation sources may be used to illuminate the eye, these may be uncomfortable and are potentially more hazardous to the eye (and subject to more restrictive human exposure guidelines). Using an infrared optical source that is invisible or only slightly visible to the user is far less disturbing than visible optical radiation (light) and will not elicit a pupillary reflex. It turns out that a wider pupil is more easily detected by most eye-tracking systems. However, when using barely visible or invisible infrared sources, the subject will not have a natural aversion to excessive exposure. For this reason, the eye cannot “protect itself” from potentially harmful effects; hence the levels of ocular exposure must be compared to human exposure guidelines and follow appropriate optical safety standards. Several exposure guidelines exist, but the question has arisen whether the chronic nature of exposure for such an infrared illuminator for assistive devices falls outside the assumed conditions of daily exposure. This report considers the current state of applicable optical radiation safety guidelines and what special precautions may apply. The Technical Committee also examined some representative eye trackers to show that the averaged day-long exposure from current technology did not exceed applicable exposure limits. This report does not consider the use of lasers for this application.

3 Potential optical radiation hazards

The eye is well adapted to protect itself against overly intense broad-band optical radiation (ultraviolet, visible and infrared radiant energy) from the natural environment, and humans have learned to use protective measures such as eye-protectors to shield against the harmful effects on the eye from intense ultraviolet radiation (UVR) and blue light present in sunlight incident upon snow or sand. The aversion response limits the duration of viewing exposure to a fraction of a second (about 0,25 s) to prevent injury from bright light sources such as the sun, arc lamps or welding arcs.

The infrared LEDs employed in most infrared LED eye trackers do not, however, provide a strong aversion response, as the optical radiation is barely visible, and the emission is limited to the near-infrared (IR-A, 780 nm to 1 400 nm) spectral band. The eye is exposed to IR-A radiant energy in the outdoor environment and from most conventional lamps and heat sources. The Sun irradiates the Earth with approximately $30 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2}$ of IR-A. If a conventional incandescent lamp or discharge lamp that has been filtered to block most visible radiation and to transmit IR-A is employed, some emissions of note are possible outside the IR-A and must be evaluated separately. The traditional red-glass-envelope “heat lamp” is normally an incandescent lamp with most of the visible radiation filtered out. In general, optical radiation safety guidelines identify at least five separate types of potential hazards to the eye from intense optical sources that normally have to be independently evaluated in order to assure optical safety (ICNIRP 2013a; ACGIH, 2020):