

平成 26 年 6 月 3 日現在

機関番号：33303

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23510068

研究課題名(和文) 赤外線曝露による眼内の三次限熱動態解析

研究課題名(英文) 3D ocular heat transfer analysis by infrared exposure

研究代表者

小島 正美 (KOJIMA, Masami)

金沢医科大学・看護学部・教授

研究者番号：40183339

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,300,000円、(間接経費) 1,290,000円

研究成果の概要(和文)：赤外白内障の発症機序について、家兎眼に赤外線A波(808 nm)、赤外線B波(1550 nm)、赤外線C波(10600 nm)を曝露すると、赤外線A波は眼球の周辺および内部の色素のある部位の周辺で眼障害が発生した。一方、赤外線B波、C波は角膜障害が主体であり、赤外線の波長により、眼障害の発生機序が異なった。

赤外線曝露中の熱輸送を可視化すると、赤外線A波は虹彩・毛様体、網膜などで発熱し、この熱が2次的に水晶体伝達されて白内障が生じた。一方、赤外線B波、C波は角膜で吸収されて発熱した熱が、房水の対流により水晶体に伝達されて、白内障が生じた。

研究成果の概要(英文)：The pathogenic mechanism of infrared cataract differed by infrared wavelengths. The ocular lesions by infrared (IR) A (808 nm) exposure occurred around the pigmented part in the ocular tissue. In contrast, those by the IR-B and C exposure were mainly corneal damages.

The intraocular thermal transportation analysis elucidates that IR-A energy is absorbed by the iris, generating heat-induced disorders, and its heat reaches the crystalline lens and causes cataract. In contrast, the thermal transport route in the IR-B exposed eye was observed to rise from the right under the cornea and the convection descended to the iris or the crystalline lens side.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・放射線・化学物質影響科学

キーワード：熱白内障 赤外線 眼内熱伝達 赤外線A波 赤外線B波 赤外線C波 房水対流 感温カプセル

1. 研究開始当初の背景

電子機器の制御や短距離通信で使用される電磁波や赤外線の利用が日常生活の近辺で高まっている。

電磁波、赤外線による生体への影響として、生体組織が電磁波を吸収することによる熱作用が知られている。その中でガラスや鉄などの溶鉱炉の炉前作業者の赤外線白内障は古くより知られており、水晶体混濁の機序として水晶体自身が赤外線を吸収することより水晶体が熱変性するとの説と角膜または虹彩が赤外線を吸収して発熱した熱が眼内での熱輸送の結果、二次的に水晶体が混濁するとの二つの説があるが、未だに明確ではない。この熱白内障の機序解明は、現在、国際照明委員会の要研究課題(TC6-49)にもなっている。

電磁波曝露による眼内温度の検討は、従来まで熱電対プローブを使用した測定であるので、プローブ自身が電磁波を吸収して発熱するために、電磁波曝露中の温度上昇が電磁波を吸収した測定組織自身が発熱したのか、プローブ自身が発熱したものが不明であるため、電磁波曝露直後の眼内温度を測定した報告しかない。曝露中の眼組織内温度変化をリアルタイムに測定した研究は申請者らの報告(M. Kojima, et al. BEMS, 2004、蛍光式温度計使用)以外にはない。

虹彩は脳の6倍以上の血液循環量を持ち、眼内の熱動態測定上で非常に重要な組織であるが、一方で虹彩は非常に炎症を起こしやすい組織であるので、虹彩自身に直接温度プローブを挿入して温度を測定することは出来ない。

Suzuki ら(IEEE T DIELECT EL IN, 2006)は温度により発色する粒子を用いた温度測定および三次元熱解析を報告している。本研究は前述のSuzuki らの手法をin vivoの実験に導入し、従来測定が出来なかった房水対流や虹彩組織周辺温度を測定する。この水晶体周辺環境の温度分布、動態のデータを代入した従来にない詳細な眼内温度シミュレーションの実施を着想した。

電磁波曝露中の眼内温度シミュレーションは申請者らの報告(T. Okuno & M. Kojima, Health Physics, 2005)を含め幾つかあるが、これらは房水循環や虹彩の血流循環等を無視または一定の値を代入した不完全なもので、改良するべき点があった。

2. 研究の目的

赤外線白内障発症機序は混濁する水晶体自体が光を吸収して発熱することによるとの説と角膜または虹彩が光を吸収して生じた熱が、熱輸送により二次的に水晶体に伝わり、水晶体が熱変性することによるとの二つの説があるが、詳細は未だ不明である。眼内での光の吸収特性が劇的に変化する1400 nmを境にして赤外線A波と赤外線B波を生体眼に曝露することにより、1)赤外

白内障発症機序解明(国際照明委員会の課題TC6-49)、2)炉前作業等の労働安全基準の根拠となるデータの取得、3)近年、需要が高まっているミリ波、テラヘルツ波等の赤外と電波の境界領域での安全基準の整合性の検討を行う。

3. 研究の方法

(1)全身麻酔下の有色家兔の片眼に赤外線A波またはB波を虹彩と瞳孔の境界部に6分間曝露した。眼障害の発生の有無、障害発生場所、障害発生の時間経過等を細隙灯顕微鏡下に詳細に検討した。

(2)温度で色調が変化する感温液晶カプセルを家兔眼内に注入後に上記赤外光を曝露することにより、周波数の相違による眼内での熱輸送動態を可視化し、記録した画像を解析することにより、波長による熱伝達の相違の有無を明らかにした。

(3)有色家兔に特化した眼球モデルをMRI画像から作成し、シミュレーションにより赤外領域から電波の熱輸送の相違の有無を検討した。

4. 研究成果

(1)赤外線A波、B波曝露による眼障害発生部位の相違

赤外線A波曝露による眼障害

図1に赤外線(808 nm, 0.6 W)曝露1日後の所見を示す。虹彩直下の水晶体に混濁(矢印)を認めた。また、眼底には網膜の障害部位(矢頭)を認めた。



図1：赤外線A波による眼障害

上記実験は有色家兔を使用した実験での所見であるが、通常の実験で多用される白色家兔(アルビノ種で眼部の色素が先天的に少ない種類)を使用した同様の実験では、眼障害は全く認めなかったことより、本白内障発症機序には眼内の色素が大きく関連していることが明らかとなった。

赤外線B波曝露による眼障害実験

赤外線B波(1550 nm, 0.6 W)曝露による赤外線曝露直後の眼障害は細隙灯顕微鏡下の検討では角膜に限局し、虹彩、水晶体、網膜等の明らかな障害は認めなかった(図2、矢印)。

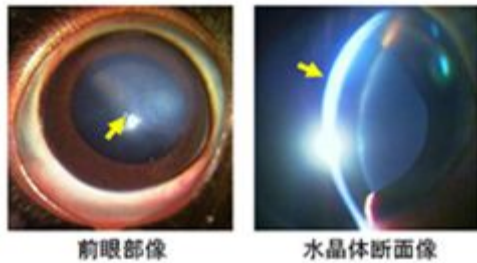


図 2：赤外線 B 波曝露による眼障害

赤外線 B 波曝露 1 日後に眼球摘出を行い、水晶体上皮細胞を顕微鏡下に観察したところ、曝露直後に角膜障害を認めた部位に一致した水晶体の部位には限局した水晶体上皮細胞の障害所見を認めた (図 3)。

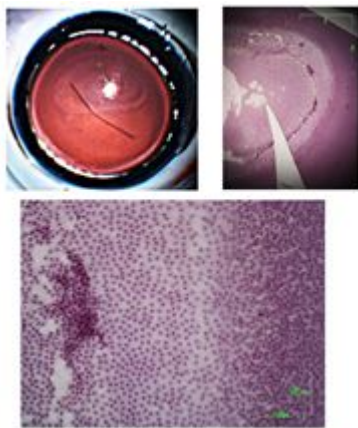


図 3：赤外線 B 波曝露後の水晶体所見

以上の実験結果より赤外線 B 波による眼障害の主体は角膜障害で、この障害が水晶体の一部にも影響することが明らかとなった。

(2) 感温液晶カプセルによる眼内の温度分布および熱輸送動態の可視化

温度により色調が変化する微粒子 (感温液晶カプセル) を眼内 (前房内) に注入し、赤外線 A, B, C 波 (0.4W) を曝露し、ばく露 10 秒後の所見を波長で比較すると、赤外線 A 波の温度分布は虹彩周辺からの発熱が伺え、色調は緑から赤が主体であることより、ばく露開始 10 秒で 39 前後の温度が虹彩直下の水晶体に伝達されていることが示唆された。一方、赤外線 B, C 波曝露では感温液晶カプセルの色調変化は角膜直下で、その色調より赤外線 B 波は C 波より、より高い熱が眼内に輸送されていることが示唆された (図 4)。

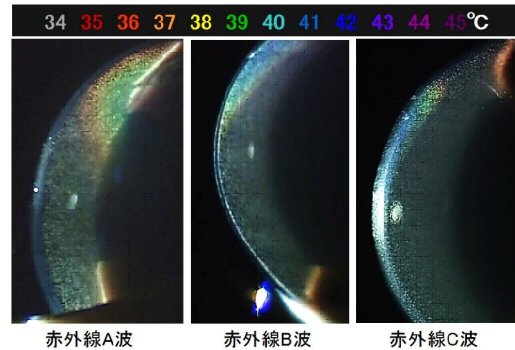


図 4：赤外線波長による眼内の熱輸送の相違

以上の研究結果より、赤外線曝露による熱白内障の機序は赤外線 A 波については Goldmann が提唱したように、虹彩が赤外線を吸収して、発熱し、その熱が水晶体に熱伝導による白内障が発症すること。赤外線 B, C 波は角膜で吸収され、角膜で発生した熱が房水の対流により、水晶体に二次的に熱輸送されることが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

佐々木真央、Jerdvisanop Chakarothai、Alfred Kik、鈴木敬久、小島正美、奥野勉：眼組織への赤外線照射に関する曝露評価手法の検討、信学技報、査読あり、9 巻、2013 年、45 - 50

〔学会発表〕(計 8 件)

小島正美、他：赤外線 A または B 波曝露による熱白内障発症機序の相違。日本眼科学会、2014/4/2-6、東京国際フォーラム、東京

小島正美、他：赤外線 B 波 (1550 nm) による赤外線白内障発症機序。水晶体研究会、2014/1/11-12、ホテルコスモスクエア国際交流センター、大阪

T. Okuno, M. Kojima, et al.: Injury thresholds for IR-A laser exposure in the rabbit lens. 14th APALMS, 2012/11/23-25, Taipei, Taiwan

奥野勉、小島正美、他：IR-A 波長域の赤外放射が水晶体混濁を引き起こす場合の照度の閾値とその照射時間に対する依存性。日本光医学・光生物学会、2012/7/27-28、神戸商工会議場、神戸国際会議場、兵庫県

小島正美、他：赤外白内障における赤外線 A 波の関与について。水晶体研究会、2012/1/7-8、慶応義塾大学 (芝共立キャンパス) 東京

M. Kojima, et al.: Differences in the mechanism of heat cataractogenesis induced by infrared rays and electric wave exposure. ISOT, 2011/9/29-10/2, Portland, Oregon & Stevenson, Washington, USA

小島正美、他：赤外線（A波）誘発白内障の発生機序、日本眼科学会、2011/5/11-15、東京国際フォーラム、東京

M. Kojima et al.: Investigation of the mechanism of near-infrared induced cataract. ARVO, 2011/5/1-5, Fort Lauderdale, USA

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小島 正美 (KOJIMA, Masami)
金沢医科大学・看護学部・教授
研究者番号：4018339

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

奥野 勉 (OKUNO, Tsutomu)
独立行政法人 労働安全衛生総合研究所・リスク管理研究グループ・上席研究員
研究者番号：90332395

鈴木 敬久 (SUZUKI, Yukihiisa)
首都大学東京・都市教養学部・准教授
研究者番号：90332395