

原 著

電磁波の生体におよぼす影響

——角膜上皮——

樋口 裕彦 市邊 義章 宮田 幹夫 石川 哲

北里大学医学部眼科学教室

Effect of Electromagnetic Wave on Corneal Epithelium

Hirohiko Higuchi, Yoshiaki Ichibe, Mikio Miyata, Satoshi Ishikawa

Department of Ophthalmology, School of Medicine, Kitasato University

要約 VDT (Visual Display Terminals) 作業による、角膜上皮障害とその原因について検討した。ヒトにおいては、4時間程度のVDT作業で、対象とした8名16眼すべての角膜に上皮障害が発生した。CRT (Cathode Ray Tube) 画面曝露マウスの走査型電子顕微鏡による検討では、2時間程度のCRT画面曝露で角膜上皮の脱落面積が増加しはじめ、5時間で有意の増加となり、12時

間でその脱落面積は最大となり、その後の増加は認められなかった。透過型電子顕微鏡による検討では、これらの角膜障害は、上皮の最表層にとどまっていたが、基底細胞層にも反応性と思われる配列の乱れが認められた。これらのVDT作業にともなう角膜上皮障害の原因の一つとして、VDTから発生する電磁波を考えた。

(臨床環境1:89~94, 1992)

Abstract We discussed about relationship between epithelial injury of the cornea caused by VDT (Visual Display Terminals) works and its origin. In human, only 4 hours VDT work made epithelial injury on his cornea. In a biological test, epithelial injury to the cornea was confirmed by fluorescein positive staining after 24 hours of a CRT (Cathode Ray Tube) exposure in BALB/C mice. The epithelial injury of cornea was proved to be mainly limited to the most superficial layer by a transmission electron microscope, with slight deterioration of basal cell

layer. The corneal epithelial defect was further measured with scanning electron microscope in relation to exposure period with the CRT. Impaired area increased in dose-dependent manner to the some extent. The epithelial defect increased in two hours of CRT exposure and attained its maximum by 12 hours of exposure keeping equilibrium even after more exposure. We speculated that one of origin of corneal epithelial injury caused by VDT works is electromagnetic wave.

(Jpn J Clin Ecol 1:89~94, 1992)

Key Word : Cathode Ray Tube, Visual Display Terminals, Corneal Injury, Electromagnetic Wave, VDT

受付:平成4年6月25日 採用:平成4年8月26日/別冊請求宛先:樋口 裕彦 〒228 神奈川県相模原市北里1-15-1 北里大学医学部眼科学教室
Received: June 25, 1992 Accepted August 26, 1992 / Reprint Requests to Hirohiko Higuchi, Department of Ophthalmology, School of Medicine, Kitasato University, 1-15-1 Kitasato, Sagami-hara, 228, Japan

I. 緒 言

近年、VDT (Visual Display Terminals) 作業従事者に、調節の異常¹⁻⁵⁾・瞳孔反応の異常^{1,6,7)}・涙液分泌の低下^{3,5,7,8)}・瞬目の減少⁸⁾など種々の眼科的障害が発生することが知られてきている。角膜上皮障害の発生^{5,9)}についてもいくつかの報告があり、その原因として、静電気・瞬目の減少・涙液分泌の減少などが挙げられているが、定説はない。今回われわれは、VDT 作業にともなう角膜障害の存在を確認し、その原因を検討する目的でいくつかの実験を行ったので報告する。

II. 方 法

1. VDT 作業によるヒト角膜上皮障害発生の有無

19歳から54歳までの被験者8名(男性3名、女性5名、平均年齢30.1歳)に連続4時間のVDT作業を負荷し、前後で細隙燈顕微鏡により角膜上皮の状態を観察した。角膜所見は、フルオレスセインを点眼しフォトリットにて写真に記録した。

2. CRT 画面曝露マウスの角膜フルオレスセイン染色所見

実験動物として6週齢のBALB/C雄性マウス5匹10眼を用い、CRT画面として汎用市販テレビ(19インチ)の画面(画面前方30cmの電場50~100V/m、磁場は700~1000nT)を使用した。マウスを飼育ケースにて飼育し、ケースから3cmの距離をおいて2方向からCRT画面曝露を24時間行い、その後pentobarbital sodium (25mg/kg)腹腔内注射による全身麻酔下にフルオレスセインを点眼し、Kowa fx-50R型眼底カメラで蛍光眼底撮影用フィルターを用いて撮影し、対照群と比較した。

3. CRT 画面曝露マウス角膜上皮の透過型電子顕微鏡所見

実験2と同様に両側からCRT画面を24時間曝露したBALB/Cマウス6匹12眼を用いた。pentobarbital sodium (50mg/kg)腹腔内注射による深麻酔下に両眼球を摘出し、glutaraldehydeにて固定し、脱水後、Luft法により包埋を行った。試料を薄切後、2重電子染色(Reynolds法)を施行し、日本電子JEM-100SX透過型電子顕微鏡にて観察し、対照群と比較した。

4. CRT 画面曝露マウス角膜上皮の走査型電子顕微鏡所見

実験2と同様に両側からCRT画面を曝露したBALB/Cマウスを用いた。曝露時間は2時間・5時間・8時間・12時間・24時間・48時間・1週間の各群を作成した。さ

らに、光による角膜障害の可能性を検討する目的で、CRT画面と同照度の白熱電球を24時間曝露した群を作成した。曝露後pentobarbital sodium (50mg/kg)腹腔内注射による深麻酔下に両眼球を摘出し、glutar-aldehydeにて固定した。脱水・置換後、臨界点乾燥を行い、日本電子JSM-820走査型電子顕微鏡で観察し、対照群と比較した。

5. 角膜上皮脱落率の測定

前項で150倍にて撮影した角膜上皮写真を5倍に拡大し、1定面積における角膜上皮の脱落率を計測した。眼瞼による影響と角膜曲面による測定上の誤差を最小限にするため、角膜中央部5mm squareを測定対象とし、武藤社MGC-1000画像解析システムを用いて、測定対象面積および角膜上皮脱落面積を測定し、両者の比より角膜上皮脱落率を求めた。求められた各脱落率に対し、t検定を用いて対照群との有意差を検定した。

III. 結 果

1. CRT 曝露後のヒト角膜フルオレスセイン染色所見

図1に典型例のフォトリット所見を示す。写真下方で黄緑色に蛍光を発している部分が、フルオレスセインに染色された角膜上皮脱落部位である。程度の差はあれ、8例16眼全例に、このような角膜上皮障害の発生をみた。

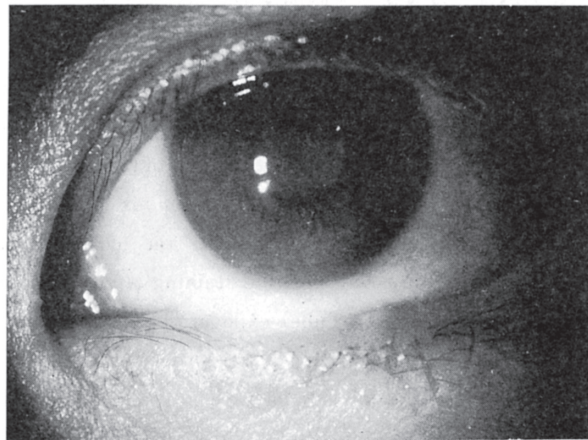


図1 CRT 曝露後のヒト角膜フルオレスセイン染色所見
27歳、女性のVDT作業4時間後の角膜フォトリット所見。下方輪部付近の角膜の黄緑色に染色されている部分が、角膜上皮障害部位。

2. マウス角膜のフルオレスセイン染色所見

図2にCRT曝露マウス(a)、対照マウス(b)の角膜所見を示す。蛍光眼底撮影用フィルターを用いて撮影してあるため、角膜障害部位は、白く発色する。図のように、

対照マウスでは角膜はほとんど染色されていないが、24時間 CRT 画面曝露マウスの角膜はフルオレスセインに著明に染色されており、角膜上皮障害の存在を示している。曝露群、対照群とも5匹10眼ずつ検討したが、すべて同様の結果であった。

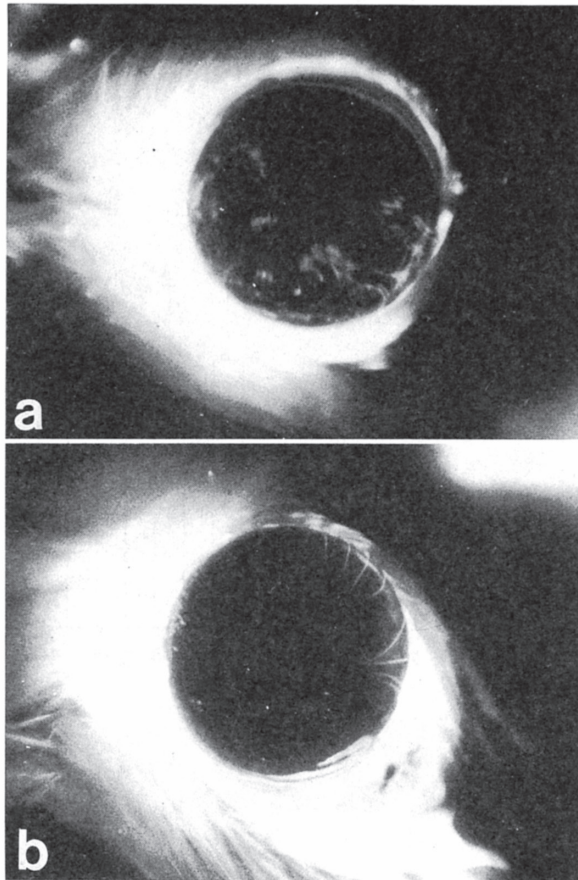


図2 マウス角膜のフルオレスセイン染色所見
CRT 画面曝露マウス(a)ではフルオレスセインに著明に染色され、白く発色しているが対照マウス(b)ではほとんど染色されていない。

3. マウス角膜上皮の透過型電子顕微鏡所見

図3 a、bにCRT 画面曝露マウス(a)および対照マウス(b)の透過型電子顕微鏡所見を示す。倍率は×1000倍である。対照マウスの角膜上皮表層細胞は細胞膜が正常に保たれており、基底細胞層も整然と配列しているのに対し、CRT 画面曝露マウスでは、角膜上皮表層細胞の細胞膜の破壊像(↓)が認められ、基底細胞層の配列も著明に乱れている。このような所見は全例に認められた。

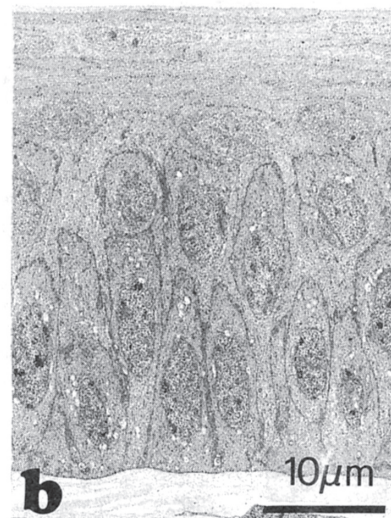
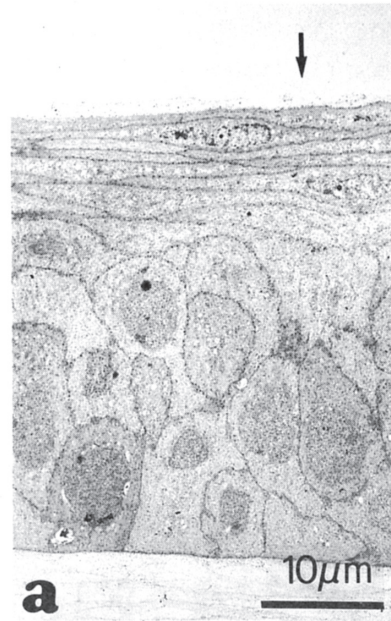


図3 a、b マウス角膜上皮の透過型電子顕微鏡像
倍率は×1,000倍：a；CRT 画面曝露マウス(24時間)の角膜上皮、b；対照マウスの角膜上皮、(a)では角膜上皮最表層細胞の細胞膜の破壊像(↓)、基底細胞層の配列の乱れが認められる。(b)では角膜上皮表層細胞の細胞膜は正常に保たれており、基底細胞層は整然と配列している。

4. マウス角膜上皮の走査型電子顕微鏡所見

図3に24時間CRT画面曝露マウス(c)および対照マウス(d)の走査型電子顕微鏡所見を示す。倍率は×30倍である。角膜の黒い部分は上皮脱落部位を示す。対照マウスでは、正常のturn overと思われる程度の軽度の脱落しか認められないが、CRT画面曝露マウスでは、著明な角膜上皮の脱落が認められる。

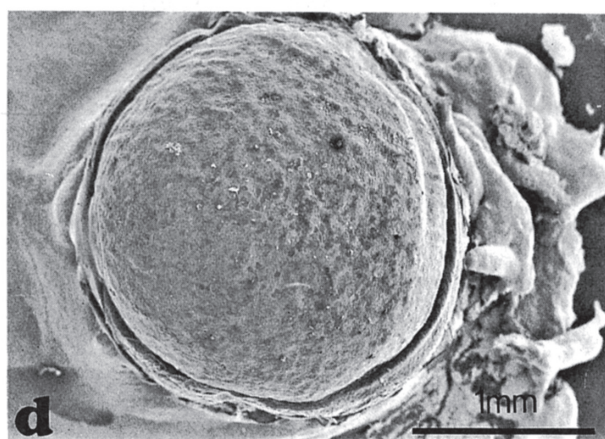
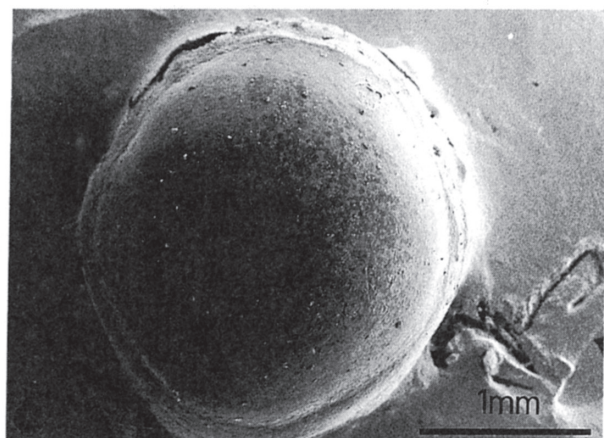


図3 走査型電子顕微鏡像

倍率は×30倍：c；CRT画面曝露マウス（24時間）の角膜上皮、d：対照マウスの角膜上皮、(c)では角膜上皮の著明な脱落を認めるが、(d)では正常のturn overと思われる程度のわずかな脱落のみである。

5. 角膜上皮脱落率

CRT曝露マウス各群、白熱電球曝露群および対照群（非曝露群）の角膜上皮脱落率をグラフに示した（図4）。対照マウスの角膜上皮脱落率は $8.4 \pm 2.7\%$ であった。CRT曝露群マウスでは、2時間曝露で脱落率は上昇しはじめ、5時間の曝露でt検定において有意（危険

率5%）な脱落率の上昇となり、12時間で $46.7 \pm 21.3\%$ と最大となるまでdose-dependentの関係を示し、その後の脱落率の上昇には有意差はなく、ほぼ一定の傾向を示した。また、白熱電球の24時間曝露群では脱落率は $9.5 \pm 3.6\%$ と対照群に対し有意な増加を示さなかった。

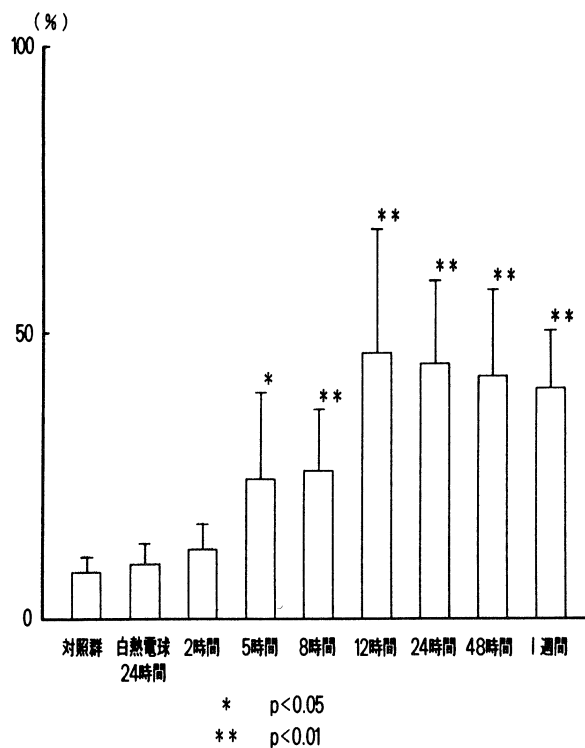


図4 角膜上皮脱落率 (%)

横軸：曝露時間、縦軸：角膜上皮脱落率 (%)。左から、対照群・白熱電球24時間曝露・2時間より1週間迄の曝露時間での角膜上皮の脱落面積率。CRT曝露2時間で脱落率は増加しはじめ、12時間後に46.7%となり、その後の増加はほとんど認められなかった。脱落率は曝露後は5時間で $p < 0.05$ 、8時間以降では $p < 0.01$ で対照群との有意差を認めた。白熱電球曝露では、角膜上皮脱落率の増加は認められない。

IV. 考 按

今回の実験の結果から、まず4時間程度のVDT作業により、程度の差はあれヒト角膜に年齢・性別を問わず、容易に上皮障害が発生することが明らかとなった。これらの角膜上皮障害はいずれも「ショボショボする」などの軽度の自覚症状を惹起する程度のものであり、通常24

時間程度で回復するが、感染などが合併すれば、角膜潰瘍等の重篤な合併症を引き起こす可能性も存在する。4時間程度のVDT作業は、現在の社会状況を考えれば通常の勤務程度と思われ、VDTがOA機器として広く一般社会に浸透している現状を考えると、この角膜上皮障害に対する対策は、今後必要欠くべからざるものになっていくと思われる。

次に、マウスによる実験で、CRT画面の曝露により、マウス角膜に上皮障害が惹き起こされることが明らかとなった。24時間CRT画面曝露マウスの角膜は上皮脱落部に染色性を示すフルオレスセインにより著明に染色された。また、透過型電子顕微鏡による観察では、CRT画面曝露群で角膜上皮表層細胞の細胞膜破壊像と基底細胞層の配列の乱れが観察された。対照マウスでは、このような所見は認められず、CRT画面曝露マウスでは、何らかの細胞または細胞膜に対する障害が加わったものと考えられる。角膜上皮は、ヒト、マウスとも約6~7日¹⁰⁾でturn overが繰り返される再生能力の旺盛な組織であり、角膜上皮基底細胞層の配列の乱れは、角膜上皮細胞障害に伴って、角膜上皮再生のturn overが亢進した結果生じたものと推定した。走査型電子顕微鏡による角膜上皮の観察では、対照群においては軽度の上皮細胞の脱落しか認められなかった。また、白熱電球曝露でも、対照群とほぼ同様の脱落しか認められず、CRTから発生する光の影響はないものと考えられた。一方、CRT画面曝露マウスで、著明な角膜上皮最表層の脱落が認められた。この脱落はCRT画面曝露後12時間までdose-dependentに増加し、その後の増加は認められなかった。曝露時間12時間以降に、角膜上皮の脱落が増加しなかった原因としては、前述したごとく、角膜上皮は再生が旺盛な組織であることから、CRT画面曝露による角膜上皮の脱落と、角膜上皮のturn overが、平衡に達した状態を考えた。

この角膜上皮障害の発生原因について検討を行ってみた。現在まで、VDT作業による角膜障害の原因として挙げられているものには、瞬目の減少⁸⁾、涙液分泌の減少^{3,5,7,8)}、静電気による空気中の粉塵の衝突^{11,12)}などがあげられている。しかし、ほとんど瞬目しないマウスにも角膜上皮障害が発生することを考えると、瞬目の減少でその原因を説明するのは困難である。また、涙液分泌減少の報告もあるが、角膜上皮障害を引き起こすほどの減少の報告は、今のところ見られない。また、眼鏡を装着している人にも、角膜上皮障害が発生することを考えると、静電気による空気中の粉塵の衝突で角膜上皮障害

のすべてを説明するには無理がある。近年、CRTから、X線などの電離放射線、紫外線や赤外線、高周波、マイクロ波を含む種々の電磁波が放射されていることが報告^{13~15)}されており、われわれの測定でも、とくに超長波~短波領域に強い電磁波が検出されている。ここ数年、電磁波が角膜細胞に影響を及ぼす¹⁶⁾といった報告や、いわゆる電波領域の電磁波が、ラット水晶体細胞の細胞膜を障害すると^{17,18)}いう報告も見られることを考え合わせると、これらの電磁波が角膜に障害を及ぼしている可能性が強く示唆される。今後はこれらの電波領域を中心とした電磁波の曝露実験や遮断実験を行い、検討をかさねていく必要があると思われる。

(この論文の要旨は第1回日本臨床環境医学会総会で発表した。)

文 献

- 1) 石川 哲、青木 繁：VDT とくに作業者の調節および瞳孔所見について、日本の眼科 58：840-844, 1987
- 2) 岩崎 常人、栗本 晋二、他：Visual Display Terminal 使用者の調節機能に関する研究、眼紀 33：90-95, 1982
- 3) 山野 智敬、小松 郁夫、他：VDT 作業と眼機能調節、涙液分泌能、眼圧について、日本の眼科 59：837-840, 1988
- 4) 所 敬、西山 文子：ワープロ作業前後の調節機能、日本の眼科 60：741-742, 1989
- 5) 山田 宏、石龍 鉄樹、他：VDT による眼精疲労の実態、眼紀 37：97-104, 1986
- 6) 小嶋 良宏、石川 哲、他：VDT 作業における近見反応、日本の眼科 59：859-862, 1988
- 7) 岩崎和佳子：VDT 作業の視機能に及ぼす影響、眼科 29：209-216, 1987
- 8) 八木沼康之：VDT 作業に伴う涙液量と瞬目数の経時的変化について、第3回VDT研究会、福岡, 1987
- 9) 伊比 健児、中村 孝一、他：VDT 眼科健診 その3 —VDT 就業前後の眼機能の比較—、第4回VDT研究会、東京, 1988
- 10) Calvin H, James EO, : Cell production and migration in the epithelial layer of the cornea. Arch Ophthalmol 64：88-91, 1960
- 11) 渥美 一成、鈴木 昭弘：Computer display 像と眼精疲労、日本眼光学学会誌 3：74-78, 1986
- 12) 渥美 一成、樺山 力、他：VDT 作業における

- 静電気の影響、臨眼 42 : 554-555, 1988
- 13) 畑田 豊彦 : ディスプレイ端末を人間工学の立場で見直す。日経エレクトロニクス 333 : 158-177, 1984
 - 14) O' Hagen JB : Electrostatic fields from VDUs. J Radiol Prot 9 : 3-8, 1989
 - 15) Jukka J, Keiji S: Measurement of extremely low-frequency magnetic fields around video display terminals. Scand J Work Environ Health 12 : 609-613, 1986
 - 16) Basu PK: Effect of electric and magnetic fields on cornea. Ind J Ophthalmol 35 : 119-121, 1987
 - 17) Cyril WS, Simon B: Electromagnetic man—Health and hazard in the electrical environment—London, J M Dent & Sons Ltd, 176, 1988
 - 18) Stewart-Dehaan PJ, Creighton MO, et al: In vitro studies of microwave-induced cataract: Reciprocity between exposure duration and dose rate for pulsed microwaves. Exp Eye Res 40 : 1-13, 1985