

皮膚損傷予防のための近赤外線遮断

Yohei Tanaka, Lisa Gale

クリニカタナカ形成外科アンチエイジングセンター 長野県松本市

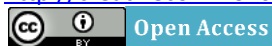
Email: info@clincatanaka.jp

Received 24 February 2015; accepted 28 March 2015; published 31 March 2015

Copyright © 2015 by author(s) and Scientific Research Publishing Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



要旨

太陽光の熱エネルギーの半分以上を近赤外線が占め、さらに電気製品などからの人工の近赤外線にまで曝露されるようになり、われわれは大量の近赤外線に曝露されている。そして、紫外線遮断のための様々な素材が普及しているにもかかわらず、近赤外線遮断の必要性が十分に認識されていない。近赤外線遮断の必要性を明確にするために、水フィルターを透過した広域スペクトルの近赤外線照射（1100～1800nmであるが、その内 1400nm～1500nm を除外する水フィルターを使用）を 2 種類の透明なポリカーボネート製プレート透過させて行い、ヒト線維芽細胞の細胞生存率を評価した。細胞生存率は、近赤外線 20 J/cm²、10 回照射処理により、ポリカーボネート板による保護なしの近赤外線照射群と、紫外線のみを遮断するポリカーボネート板を用いて処理した細胞において、有意に減少した。非照射コントロールの細胞生存率を 100 とすると、ポリカーボネート板による保護なしの近赤外線照射群の細胞生存率は 0.2 であった。紫外線のみを遮断するポリカーボネート板を用いて処理した細胞の生存率は 0.3 であるのに対し、紫外線と近赤外線を遮断するポリカーボネート板を用いて処理した細胞の生存率は 85.1 であった。今回の結果は、皮膚損傷を予防するためには紫外線だけでなく、近赤外線も遮断することが必要であることを示唆している。

キーワード

近赤外線、遮断、皮膚損傷、紫外線

1. はじめに

紫外線から皮膚を守るために、日焼け止め、サングラス、フィルム、日傘、線維など、紫外線遮断素材が普及しているにもかかわらず、近赤外線は遮断できていないし、近赤外線遮断の必要性が十分に認識されていない。近赤外線は、透過性が高いため皮膚、角膜を透過し、筋肉、水晶体、網膜など深部組織に影響を与え、さまざまな生物学的作用をもつ[1-19]。近赤外線遮断がなされていないと、長期的な曝露で、老化促進、光老化[17, 18]、長期に及ぶ血管拡張[8]、長期に及ぶ筋肉の菲薄化[4]、皮膚皮下組織の下垂[17, 18]、潜在的な癌化など、さまざまな組織損傷、疾病をもたらす。

太陽光の近赤外線だけでなく、医療機器や電気製品などからの人工の近赤外線も大量に曝露しているにもかかわらず、普及している紫外線遮断素材は近赤線を遮断できないので、光線遮断素材は紫外線だけでなく、近赤外線も遮断できるようにすべきである[10, 17, 18]。

今回、近赤外線遮断の必要性を明確にするために、2種類の透明なポリカーボネート製プレート（紫外線のみを遮断するポリカーボネート板と紫外線と近赤線を遮断するポリカーボネート板）を用いて、近赤外線照射をヒト線維芽細胞に行い、細胞生存率を評価した。

2. 方法

2.1. 近赤外線照射装置

近赤外線照射には広域スペクトルの近赤外線治療器（タイタン、キュテラ社製、カリフォルニア州ブリスベン）を用いた。この近赤外線治療器は、1100~1800nmの（この波長の内1400nm~1500nmを水フィルターにより除去して、地表のわれわれの皮膚に実際に届いている太陽光の近赤線を模倣している）近赤線を照射する。さらに、近赤線の温熱作用を除去するため、表面を20°Cに温度制御できるサファイア製の接触性冷却装置を備えている。この特別な波長域と接触性冷却装置により、96ウェルの培地の底面にある細胞に近赤線を届けることが可能になった。

2.2. 近赤外線照射

われわれが以前に発表したin vitroの報告で、20 J/cm²、10回照射処理で、細胞生存率が急減したことから、この出力設定で照射した。近赤外線処理中は培地の温度測定を行い、さらなる照射は、多数回照射による蓄熱が結果に影響を与えないよう培地の温度が37°Cに戻るのを待って行った。培地の温度測定は、培地底面（4mmの深さ）でMC3000-000のデジタル温度計とIHKN053の直径0.3mmのセンサー（株式会社チノー、東京）を用いて行った。

2.3. ポリカーボネート板

紫外線のみを遮断するポリカーボネート板 (Panlite L-1225Z 100、帝人株式会社、東京) と紫外線と近赤線を遮断するポリカーボネート板 (Panlite AM-1107ZV、帝人株式会社、東京) を使用した(図1参照)。厚みはそれぞれ2ミリで、光学特性は図2に示した。

2.4. 細胞培養

96ウェルにそれぞれに 1.0×10^4 個のヒト線維芽細胞を100 μ Lの培養液に用意し、37°Cで5% CO₂ 加湿されたインキュベーター内で培養した。

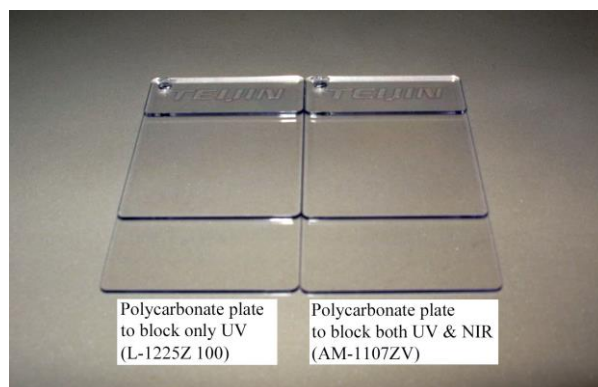


図 1. 紫外線のみを遮断するポリカーボネート板（左）と紫外線と近赤外線を遮断するポリカーボネート板（右）の外観

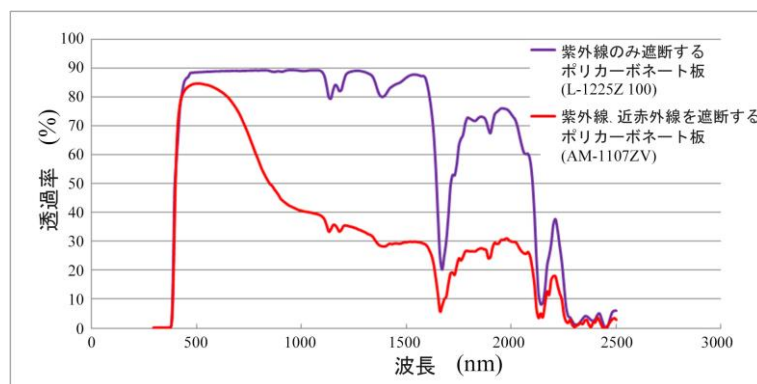


図2. 295nmから2500nmにおけるポリカーボネート板の光学特性

2.5. 細胞増殖解析

近赤外線処理後の培養細胞の生存率の評価を、MTT assay [3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyl tetrazolium bromide]で行った。照射後24時間培養した後、培養液を洗浄し、0.05% MTT solutionを100 μ l 添加、4時間追加培養後、100 μ l の lysis buffer [20% sodium dodecyl sulfate (SDS) and 50% N,N-dimethyl formamide (DMF), pH 4.7] により洗浄し、解析した。

2.6. 統計学的解析

統計学的解析はSPSSを用いて行った。P < 0.05を統計学的に有意差ありとした。

3. 結果

細胞生存率は、近赤外線 20 J/cm²、10回照射処理で、ポリカーボネート板による保護なしの近赤外線照射群と、紫外線のみを遮断するポリカーボネート板を用いて処理した細胞において、有意に減少した。非照射コントロールの細胞生存率を100とすると、ポリカーボネート板による保護なしの近赤外線照射群の細胞生存率は0.2であった。また、図3のように、紫外線のみを遮断するポリカーボネート板を用いて処理した細胞の生存率は0.3であるのに対

し、紫外線と近赤外線を遮断するポリカーボネート板を用いて処理した細胞の生存率は85.1であった。

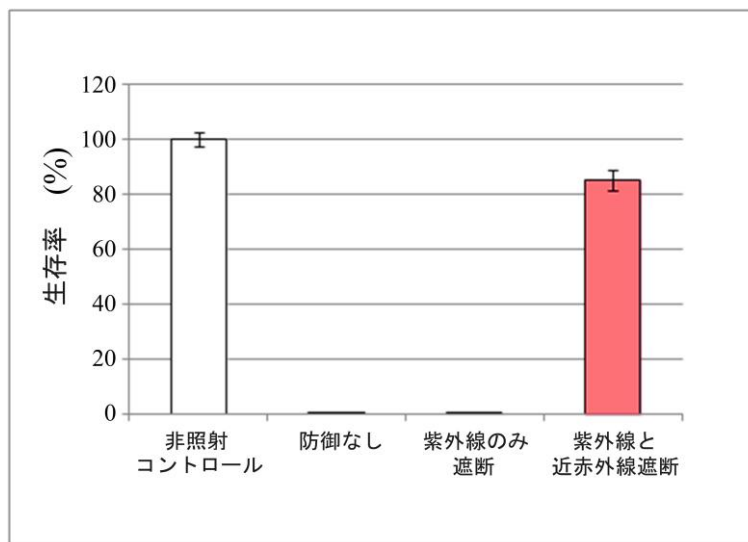


図3. MTT assayによる近赤外線照射後のヒト線維芽細胞の細胞障害性の評価。

4. 考察

太陽光や紫外線の生物学的作用は精力的に研究されているが、太陽光の熱エネルギーの半分以上を近赤外線が占め、さらに電気製品などからの人工の近赤外線にまで曝露されているにもかかわらず、近赤外線の生物学的作用については十分に研究されていない。太陽光の近赤外線は大気の水蒸気でフィルターされているので[22, 23]、地表のわれわれの皮膚に実際に届いている太陽光の近赤外線を実験的に模倣するためには水フィルターは必須で[12, 17]、近赤外線は表面温度を上昇させ温熱作用をもたらすため、接触性冷却装置も必要である[12, 17]。

近赤外線は水やヘモグロビンのような水素結合を多く含む分子に吸収されるので、水フィルターや接触冷却がなければ、近赤外線は培養液や皮膚の表面温度を上昇させてしまう。さらに、近赤外線は深部に到達するにつれ、エネルギーが減衰するので、対象細胞や深部組織に十分には届かない。太陽光の近赤外線の生物学的作用を正確に評価するためには、1400nm～1500nmを除外できる水フィルターと接触性冷却装置は必須である[12, 17]。

近赤外線は波と量子の両方の特性を持ち、O-H, C-H, N-H基の化合、共振の結果生じ[24]、水素結合や α ヘリックスを共振させ、深部組織にまで影響を及ぼし、さまざまな生物学的作用をもたらす[10, 17]。人類は、水素結合や α ヘリックスを豊富に含む物質を誘導して、それに近赤外線を吸収させ、脂肪酸を誘導して近赤外線を散乱させて、皮下組織を守る生物学的防御機構を備えている[17]。具体的には、水素結合や α ヘリックスを豊富に含む綿や羊毛、汗や水疱の水分子、血管拡張により増加するヘモグロビンと水、毛髪や角質のケラチン、真皮の保水タンパクと水によって吸収し、脂肪組織によって散乱して、防御している。

近赤外線は、生物学的な防御ができていない場合、光老化の原因となり、solar elastosisに類似した光老化を促進し、UV誘導性皮膚損傷を悪化させる[25]。炎やストーブなどの種々の熱源からの長期的な近赤外線曝露は、光老化した皮膚で認めるような組織病理学的変化をもたらす[27]。毛細血管拡張の発症率は、高齢、日常的な日光浴、低いメラニン産生能で増加する[28]。

近赤外線は光老化、長期に及ぶ血管拡張、筋肉の菲薄化、皮膚の下垂、たるみ、白内障、発がんなどにさまざまな組織損傷、疾病を引き起こす。さらに皮膚腫瘍は、紫外線単独照射より、紫外線、可視光線、近赤外線を含む白熱球を照射されたほうが、より早く成長することも報告されている[29]。

生物学的な近赤外線遮断物質のほかにも、金属酸化物、インジウム化合物、有機化合物などの多様な近赤外線遮断物質が工学的に開発されている。近赤外線はモニターやスクリーンなどの電気製品から放射されるので、近赤外線遮断物質には透明性が要求されることも多い[17]。

非照射コントロールと紫外線・近赤外線を遮断するポリカーボネート板を用いて処理した細胞群の生存率に比べて、ポリカーボネート板による保護なしの近赤外線照射群と紫外線のみを遮断するポリカーボネート板を用いて処理した細胞の生存率は有意に減少した。これは、皮膚損傷の予防のためには、紫外線遮断だけでは不十分で、近赤外線遮断が必須であることを示唆している。

今回の報告は、1種のヒト線維芽細胞を用いた予備的研究であるため、近赤外線照射条件との相関関係を評価するために、より多くの種類のヒト細胞で、より長い観察期間での更なる研究が望まれる。

5. 結論

水フィルターを透過した広域スペクトルの近赤外線（1100～1800nmであるが、その内1400nm～1500nmを水フィルターにより除去している）は、地表のわれわれの皮膚に実際に届いている太陽光の近赤外線を模倣しているが、この近赤外線は線維芽細胞の生存率を低下させた。一般の紫外線遮断素材は近赤外線を十分に遮断できないので、光老化と発癌を防ぐため、近赤外線遮断を普及させるべきである。

謝辞

帝人株式会社より図2のデータをご提供いただきましたことを深謝いたします。

参考文献

- [1] Tanaka, Y., Matsuo, K., Yuzuriha, S. and Shinohara, H. (2009) Differential long-term stimulation of type I versus type III collagen after infrared irradiation. *Dermatol Surg*, **35**, 1099-1104. doi: 10.1111/j.1524-4725.2009.01194.x
- [2] Tanaka, Y., Matsuo, K. and Yuzuriha, S. (2009) Long-term evaluation of collagen and elastin following infrared (1100 to 1800 nm) irradiation. *J Drugs in Dermatol*, **8**, 708-712.
- [3] Tanaka, Y., Matsuo, K., Yuzuriha, S., Yan, H. and Nakayama, J. (2010) Non-thermal cytotoxic effect of infrared irradiation on cultured cancer cells using specialized device. *Cancer Sci*, **101**, 1396-1402. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1349-7006.2010.01548.x/epdf>
- [4] Tanaka, Y., Matsuo, K. and Yuzuriha, S. (2010) Long-lasting muscle thinning induced by infrared irradiation specialized with wavelength and contact cooling: A preliminary report. *ePlasty*, **10**, e40. http://www.eplasty.com/index.php?option=com_content&view=article&id=453&catid=171:volume-10-eplasty-2010
- [5] Tanaka, Y., Matsuo, K. and Yuzuriha, S. (2010) Long-Term Histological Comparison between Near-Infrared Irradiated Skin and Scar Tissues. *Clin Cosmet Investig Dermatol*, **3**, 143-149. http://www.dovepress.com/articles.php?article_id=5752
- [6] Tanaka, Y., Matsuo, K. and Yuzuriha, S. (2011) Long-lasting relaxation of corrugator supercilii muscle contraction induced by near infrared irradiation. *ePlasty*, **11**, e6. http://www.eplasty.com/index.php?option=com_content&view=article&id=519&catid=172:volume-11-eplasty-2011
- [7] Tanaka, Y., Matsuo, K. and Yuzuriha, S. (2011) Near-infrared irradiation non-thermally affects subcutaneous adipocytes and bones. *ePlasty*, **11**, e12. http://www.eplasty.com/index.php?option=com_content&view=article&id=528&catid=172:volume-11-eplasty-2011

- [8] Tanaka, Y., Matsuo, K. and Yuzuriha, S. (2011) Near-infrared irradiation non-thermally induces long-lasting vasodilation by causing apoptosis of vascular smooth muscle cells. *ePlasty*, **11**, e22. http://www.eplasty.com/index.php?option=com_content&view=article&id=541&catid=172:volume-11-eplasty-2011
- [9] Tanaka, Y., Matsuo, K. and Yuzuriha, S. (2011) Objective assessment of skin rejuvenation using near-infrared 1064-nm Neodymium:YAG laser in Asians. *Clin Cosmet Investig Dermatol*, **4**, 123-130. <http://dx.doi.org/10.2147/CCID.S22841>
- [10] Tanaka, Y. and Matsuo, K. (2011) Non-thermal Effects of Near-Infrared Irradiation on Melanoma. Breakthroughs in Melanoma Research, In: Tanaka, Y. Ed., InTech, Croatia, 597-628. <http://www.intechopen.com/books/breakthroughs-in-melanoma-research/non-thermal-effects-of-near-infrared-irradiation-on-melanoma>
- [11] Tanaka, Y., Tatewaki, N., Nishida, H., Eitsuka, T., Ikekawa, N. and Nakayama, J. (2012) Non-thermal DNA damage of cancer cells using near-infrared irradiation. *Cancer Sci*, **103**, 1467-1473. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1349-7006.2012.02310.x/epdf>
- [12] Tanaka, Y. (2012) Impact of near-infrared in Dermatology. Review. *World J Dermatol*, **1**(3), 30-37. <http://dx.doi.org/10.5314/wjd.v1.i3.30>
- [13] Tanaka, Y. and Kawashima, M. (2012) The biological effects of near-infrared. *Aesthet Dermatol*, **22**, 100-109. In Japanese.
- [14] Tanaka, Y., Tunemi, Y., Kawashima, M. and Nishida, H. (2013) The impact of near-infrared in plastic surgery. *Plastic Surgery: An International Journal*, Article ID 973073. <http://www.ibimapublishing.com/journals/PSIJ/2013/973073/973073.pdf>
- [15] Tanaka, Y. and Gale, L. (2013) The Effect of Near-infrared between 1100-1800 nm together with a Water-filter and a Contact Cooling. *Anaplastology*, **2**,3. <http://dx.doi.org/10.4172/2161-1173.1000111>
- [16] Tanaka, Y., Tunemi, Y., Kawashima, M., Tatewaki, N. and Nishida, H. (2013) Objective Assessment of Skin Tightening Using Water-filtered Near-infrared (1000-1800 nm) Device with a Contact Cooling and Freezer Stored Gel. *Clin Cosmet Investig Dermatol*, **6**, 167-176. <http://dx.doi.org/10.2147/CCID.S47299>
- [17] Tanaka, Y. and Gale, L. (2013) Beneficial Applications and Deleterious Effects of Near-infrared From Biological and Medical Perspectives. *Optics and Photonics Journal*, **3**(4A), 31-39. <http://dx.doi.org/10.4236/opj.2013.34A006>
- [18] Tanaka, Y. and Gale, L. (2013) The Necessity of Near-infrared Protection. *Surgery: Current Research*, **3**(5). <http://dx.doi.org/10.4172/2161-1076.1000150>
- [19] Tanaka, Y., Tatewaki, N., Fujimoto, T. and Nishida, H. (2014) Non-thermal anticancer effects of water-filtered broad-spectrum near-infrared irradiation. *International Journal of Cancer Research*, **48**(2), 1258-1265.
- [20] Schieke, S. M., Schroeder, P. and Krutmann, J. (2003) Review article. Cutaneous effects of infrared radiation: from clinical observations to molecular response mechanisms. *Photodermatol Photoimmunol Photomed*, **19**, 228-234. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1034/j.1600-0781.2003.00054.x/epdf>
- [21] Schroeder, P., Lademann, J., Darvin, M. E., Stege, H., Marks, C., Bruhnke, S., and Krutmann, J. (2008) Infrared radiation-induced matrix metalloproteinase in human skin: Implications for protection. *J Invest Dermatol*, **128**, 2491-2497. <http://www.nature.com/jid/journal/v128/n10/pdf/jid2008116a.pdf>
- [22] Anderson, R. R. and Parrish, J. A. (1981) The optics of human skin. *J Invest Dermatol*, **77**, 13-19. [doi:10.1111/1523-1747.ep12479191](https://doi.org/10.1111/1523-1747.ep12479191)
- [23] Gates, D. M. (1966) Spectral distribution of solar radiation at the earth's surface. *Science*, **151**, 523-529. <http://www.sciencemag.org/content/151/3710/523.extract>
- [24] Weyer, L. G. (1985) Near-infrared spectroscopy of organic substances. *Appl Spectrosc Rev*, **21**, 1-43. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/05704928508060427#.VQO8dpSCh0I>
- [25] Kligman, L. H. (1982) Intensification of ultraviolet-induced dermal damage by infrared radiation. *Arch Dermatol Res*, **272**, 229-238. <http://link.springer.com/article/10.1007/BF00509050#>
- [26] Findlayson, G. R., Sams, W. M. Jr. and Smith, J. G. (1966) Erythema ab igne. A histopathological study. *J Invest Dermatol*, **46**, 104-107. [doi:10.1038/jid.1966.15](https://doi.org/10.1038/jid.1966.15)
- [27] Page, E. H. and Shear, N. H. (1988) Temperature-dependent skin disorders. *J Am Acad Dermatol*, **18**, 1003-1019. [http://dx.doi.org/10.1016/S0190-9622\(88\)70098-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0190-9622(88)70098-5)
- [28] Berg, M. (1989) Epidemiological studies of influence of sunlight on the skin. *Photodermatol*, **6**, 80-84.
- [29] Bain, J. A., Rusch, H. P. and Kline, B. E. (1943) The effect of temperature upon ultraviolet carcinogenesis with wavelength 2,800-3,400A ° *Cancer Res*, **3**, 610-612.