



光照對生理之影響

Lighting on Physiology

劉旻忠 M. C. Liu¹、李麗玲 L. L. Lee²

工研院綠能所(GEL/ITRI) ¹資深研究員、²副組長

光照對於生命晝夜節律系統來說，具有很大的影響，亦即可以調節生物的生理反應，例如環境光影響著哺乳動物的生理時鐘，以保持生理和心理節律同步，並獲得最佳身體機能；照明對於生理反應與睡眠品質影響非常大，尤其是藍光影響更需要注意，過多的藍光也會影響到眼睛的健康，照明中光的強度和頻譜的影響是重要的討論課題。本文藉由文獻的蒐集與研析，由人類生理反應、視覺、睡眠行為與光照節律，探討光對人類的影響。

All lives in the world are affected by lighting. Lighting is the strongest synchronizing agent for the circadian system. Environmental light synchronizes the primary mammalian biological clock to keep biological and psychological rhythms internally synchronized for optimum function. Lighting has a great influence on physiological reaction and sleep quality, blue light especially. Too much blue light will affect the macula. The influence of intensity and spectral composition of light are discussed. The article is trying to discover how the illumination light effects human being in physiological reaction, vision, sleep behavior and light rhythm respects by gathering and analyzing international documents.

關鍵詞/Key Words

光照(Lighting)、生理反應(Physiological Reaction)、睡眠品質(Sleep Quality)

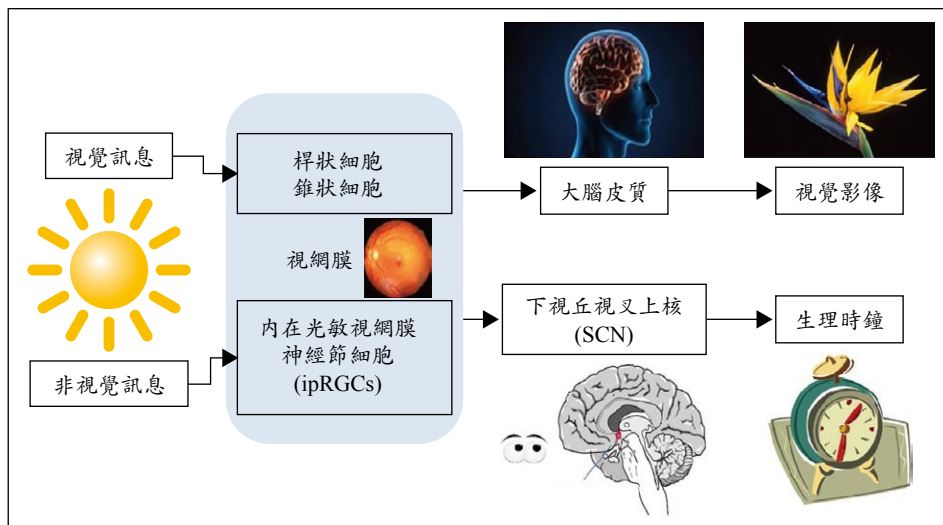
前言

早期人類作息跟隨著太陽光的變化，日出而作，日落而息，隨著火的應用，與後來愛迪生成功點燃燈泡後，由鎢絲燈泡、螢光燈到LED固態照明，人造光源的快速蓬勃發展，成功地改變人類生活的模式，尤其是夜晚的生活，如同白天一般能清楚視物，當照明光源影響生活時間越來越長、範圍越來越大，就必須好好的考量照明對於生理、心理與行為模式產生的相互影響，方能使生活品質因為照明的出現

而獲得有效地提昇。

光照對生物體來說，是一個非常重要的生命關鍵，最直接的影響就是生命晝夜節律系統，亦即可以影響生物的生理時鐘變化。環境光刺激到下視丘視叉上核(Suprachiasmatic Nuclei; SCN)裡的反應，直接影響哺乳類動物的生理時鐘與其協調性，保持內部生理與心理節奏最佳同步，亦影響著松果體的褪黑激素(Melatonin)產生與抑制、心率的變化和核心體溫的變化、皮質醇產生與刺激等。光源也被證實可以作為神經生物學之刺激物，用來改變警覺與認知的

►圖一
視覺與非視覺傳
導路徑示意圖



機能程度，可用於改變如沮喪與睡眠障礙等問題，也間接地牽動著血壓、血糖、學習特性與內分泌變化等。

照明光環境對晝夜節律、睡眠品質、特性與認知機能、身體機能協調與平衡等，都有直接或間接的影響，這些都是生活環境大量使用人造光源作照明時，應該被仔細考慮的。

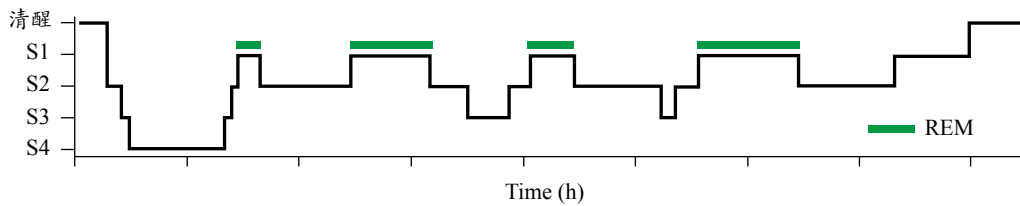
光照對生理反應的影響

光照對人體生理和行為影響很大，這種反應的受器是眼睛，眼睛內視網膜除了負責視覺訊號的桿狀與錐狀細胞外，尚有第三種感測細胞，稱為內在光敏視網膜神經節細胞(Intrinsically Photosensitive Retinal Ganglion Cells; ipRGCs)，會產生非視覺響應(Non-visual Response)⁽¹⁾，圖一為視覺與非視覺傳導路徑示意圖，對於腦內之松果體褪黑激素產生與抑制、心率和核心體溫的改變、皮質醇的產生等，都有直接或間接的影響；此神經節細胞對藍色的光很敏感，直接影響視覺大腦，刺激著下視丘視叉上核(SCN)，當使用藍光照射時，只要2個小時就

會使此神經結細胞達到最高感光度反應⁽²⁾，夜間處於藍光LED的環境時，於不同光量(20 μ W~600 mW)下，照射90分鐘，引起褪黑激素抑制效果等同於4,000K、40 μ W的效果⁽³⁾。在不同照度和色溫的光照下，高照度(2,000 Lux)和高色溫(7,500K或6,500K)可以增加睡眠時的弛豫時間、增加舒張壓和交感神經反應；至於色溫(3,000K與5,000K)與照度(320~1,000 Lux)對血壓沒有明顯影響。然而，從很暗到微亮的照明(3~30 Lux)卻會增加交感神經反應⁽⁴⁻⁶⁾。日本針對社區老人照明進行調查，並研究對健康的影響，結果顯示，在夜間愈晚暴露於光照下，有較高風險容易導致抑鬱症、更高的夜間血管收縮壓、肥胖和血脂異常等症狀。

光照對睡眠的影響

睡眠是定期休息的行為，伴隨著複雜的大腦電生理活動。在人類生活中，睡眠行為是最小的肢體活動，伴隨著閉眼與肌肉的放鬆，並減少對環境刺激的響應。以眼睛活動的方式，可以分為非快速眼動(NREM)和快速眼動(REM)期，圖二為睡眠



▲圖二 睡眠時期示意圖

時期示意圖，在非快速眼動時期，與副交感神經活動有關，主要可以分為四個睡眠期，第一(S1)與第二期(S2)為淺睡期，第三(S3)與第四(S4)為深睡期。快速眼動睡眠，是一個睡眠的階段，眼球在此階段會快速移動或轉動，與交感神經系統作用有關，在這個階段，大腦神經元的活動與清醒的時候相同，多數在醒來後能夠回憶起的夢都是在快速眼動期睡眠發生，它是全部睡眠階段中最淺的。睡眠和清醒的交替保持晝夜節律週期為24小時，晝夜節律的調節為下視丘視叉上核的作用，環境光又直接刺激下視丘視叉上核，影響人體生理時鐘調制，保持生理和心理節律內部最佳同步，以獲得身體機能正常運作⁽⁷⁻¹¹⁾。

根據美國華盛頓郵報報導，人腦中的松果體會睡前幾小時開始釋放褪黑激素，雖然不是睡眠激素，但它確實會使人放鬆、減少人的警覺性與促使人們擁有較好的睡眠品質。但是晚上照明中的光，特別是藍光，會抑制松果體釋放褪黑激素，這不需要直接盯著照明光源、電視或電腦螢幕等3C產品，只要周圍有足夠的藍光刺激到眼睛，就有機會影響到褪黑激素的分泌，故睡前照射高色溫、看平板或電腦會更難擁有好睡眠。而Mariana Figueiro的研究結果顯示，成人接觸藍光約莫兩小時，褪黑激素就會開始降低，而青少年受藍光刺激的量只要達成人的十分之一，就會比成人抑

制更多褪黑激素，所以藍光對青少年影響更大。另外於2003年發表的研究指出，讓一群人在山中露營一週，只有自然光，沒有任何電子設備，無論受試者本來認為自己是晨型人或是夜貓族，受試者的生理時鐘都會跟著日出日落產生規律的一致性。

美國Charles A. Czeisler教授於Nature雜誌⁽¹²⁾表示，若是人們在睡前使用平板電腦、智慧型手機等人造燈光的3C產品，將會影響人類身體的自然節奏，並影響大腦中的化學物質如褪黑激素，進而影響睡眠狀態，造成睡不好或是睡得太少。最先影響的就是健康問題，肥胖、糖尿病、心臟病、抑鬱症和中風等的機率提高，且影響的年齡層包括大人和小孩。

日本九州大學的研究也發現，正常作息狀態下，人類在晚上會分泌較高的褪黑激素，讓人想睡覺，但是若在晚上接觸越多藍光，褪黑激素的分泌量就會相對地減少，使人生理時鐘大亂。相反的，老年人接收的光線量不足，會分泌大量的褪黑激素，經常晚間七、八點就想睡覺，甚至是白天也想睡。由上述原理可知，藉由適時適度的光照，可以改善老年人過早入睡的情形，調節生理作息，也間接降低晨間出外運動發生意外的機率。日本的研究也發現，一般日本社區老年人的環境，在睡眠時間前的照度是相當低的，以平均環境照度25.4~27.3 Lux照射老年人，相較於睡前



4小時以較高照度與延長睡眠時間，高照度與延長睡眠時間下，老年人增加了糖尿病可能性，亦降低尿中褪黑激素的含量⁽¹³⁾。

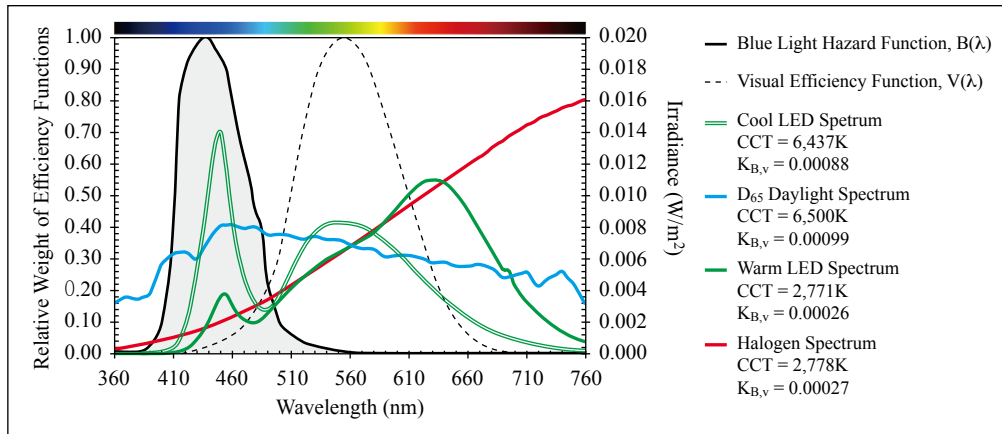
亦有研究指出，人若處於夜間昏暗環境下，照度12~60 Lux間，晝夜節律和褪黑激素抑制會呈現線性變化。在睡覺之前兩小時，使用低照度(40 Lux)和不同色溫(3,000K與6,500K)照射，其中以色溫6,500K照射下，褪黑激素會明顯的被抑制產生，亦會提高主觀的警覺性，增加幸福感和視覺舒適性，但在第一個睡眠週期、非快速眼動慢波睡眠是減少的⁽¹⁴⁾。若於下午使用較低照度(30~150 Lux)且色溫為3,000K與5,000K時，兩種色溫於低照度30 Lux照射時， α 腦波是相似的，但在150 Lux的照度下，色溫3,000K較色溫5,000K產生更多的 α 波⁽¹⁵⁾。若於19:00~20:00進行不同的色溫(3,000K、5,000K、6,700K)及照度1,000 Lux下照射，腦波中頻率較低之慢波睡眠減少⁽¹⁶⁾、心率變異被抑制、增加心率和睡眠期間降低心臟迷走神經活性⁽¹⁷⁾。此外，在睡眠期間以30 Lux照射會影響睡眠⁽¹⁸⁾。若就在寢前2小時內使用藍光LED，沒有照射和有照射睡眠過程中，在早晨量測腦波時發現，腦波 α 波在藍光照射下較低，但腦波之 α 或 δ 波在睡眠期間沒有差異，睡眠時新陳代謝也不受影響，但在使用藍光LED照射下，其在早餐時，能量消耗、耗氧量、二氧化碳的產生和熱效應都顯著降低，代表生理活動力較低⁽¹⁹⁾。此外，藍光比綠光(555 nm)提高警覺性和延遲期更強⁽²⁰⁾。除了環境照明，藍光也存在於電腦螢幕、電視、智慧手機等，LED電腦螢幕中，藍光影響1小時，相當於螢光燈持續5個小時的物理效果，而且注意力、警覺性和學習效果皆獲得提高，但褪黑激素的產生受到抑制，腦

波之 α 波和嗜睡情形是減少的⁽²¹⁾。

光照中藍光的影響

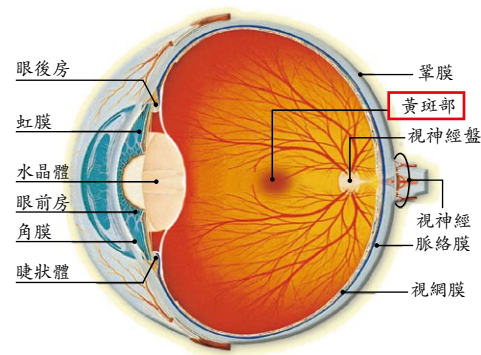
藉由菱鏡的分光，人眼可以很輕易地看到七色光存在，除了提供人類的視覺外，亦提供著植物生存所必須的光能。一般來說，由於光的波長越短光能越強，亦即構成較高的潛在危險，但由於環境中空氣與水的作用，紫外光被消除不少，使得人眼所接觸的光波波長大部分都為近300 nm以上之光源；目前白光LED大部分的作法為，以藍光晶片激發螢光粉達到白光的效果，因此存在著大量460~500 nm的藍光波段，尤其是高色溫光源的藍光成分更高。此外，LED光源在老化後所有波長都會衰減，且紅、綠色螢光粉效能衰減與藍光晶片不同，使得LED使用越久藍光比例越高，造成人眼藍光的接收量增加，因此對於LED藍光影響的問題被特別重視，事實上其他種光源，例如鎢絲燈、螢光燈皆有一定比例的藍光存在。一般來說，人眼的水晶體能過濾三成左右的藍光，適度的藍光對人體來說是必要的，藍光主要可以維持視覺與心裡的正常運作，使物體顏色與視覺變得更舒適明亮，使人舒適愉悅；若過多的藍光影響，易使人變得緊張、焦慮與憂鬱情緒發生，也會如先前研究結果，抑制褪黑激素產生，影響到睡眠品質。

此外，根據美國能源局DOE的報告文獻，藍光累積劑量、光強與曝光時間超過限度，也會對於人眼視網膜有一定程度的影響，**圖三**為藍光危害指數(Blue Light Hazard Function): $B(\lambda)$ 、常見光源頻譜與視覺函數，當波長主要介於400~500 nm的光照射⁽²²⁾，光化學作用導致的視網膜傷害潛在危險性最大，並且主要影響人眼視網膜之



◀圖三
藍光危害
指數 $B(\lambda)$ 、
常見光源
頻譜與視
覺函數⁽²²⁾

黃斑部(Macula)，如圖四所示。黃斑部在眼球最內層，位於視網膜的中央，主要是最清晰敏銳的視覺訊號來源，黃斑部除了直接受紫外光的影響外，其次就是藍光，長時間大量的照射藍光會變為慢性刺激，使其發炎、水腫，甚至出血，以致於中央視力受損，而無法以正眼看清事物。所以長時間、高照度的光照，對人眼健康的影響是個必須正視的議題。



▲圖四 人眼結構示意圖⁽²³⁾

結 論

光照對於生理反應和行為影響很大，而眼睛是光照最直接的受器，當光照射到眼睛，其內在之光敏視網膜神經節細胞受到刺激後，對於腦內松果體之褪黑激素產生與抑制、心率、和核心體溫的改變、皮質醇的產生、交感與副交感神經反應與血壓等都有直接或間接的影響。

褪黑激素會使人放鬆與減少人的警覺性，但當夜晚暴露於過多且不適合的光照下，褪黑激素的產生就會受到明顯抑制，進而影響生理時鐘的節律與協調性，更會破壞睡眠的品質，青少年受藍光刺激的量只要成人的十分之一，就會比成人抑制更

多褪黑激素。光源中又以藍光的影響更為顯著，這不需直接盯著照明光源、電視或電腦螢幕等3C產品，只要周圍有足夠的藍光刺激到眼睛，就有機會影響到褪黑激素的分泌，因此睡前照射高色溫、看平板或電腦將更難擁有好睡眠。

過多的光照也會影響眼睛的健康，適當且適時的選擇照明光源，對於人體生理反應與週期行為是非常重要的，亦是健康照明必須慎重評估、考慮與重視的。🔍

誌 謝

本研究感謝經濟部能源局「LED照明與系統節能技術研發計畫」的支持。



參考文獻

1. Lucas RJ, Peirson SN, Berson DM, et al: Measuring and using light in the melanopsin age. *Trends in neurosciences* 2014; 37:1-9.
2. Munch M, Plomp G, Thunell E, et al: Different colors of light lead to different adaptation and activation as determined by high-density EEG. *NeuroImage* 2014; 101:547-554.
3. West KE, Jablonski MR, Warfield B, et al: Blue light from light-emitting diodes elicits a dose-dependent suppression of melatonin in humans. *J Appl Physiol* (1985) 2011; 110:619-626.
4. Kobayashi H, Sato M: Physiological responses to illuminance and color temperature of lighting. *The Annals of physiological anthropology = Seiri Jinruigaku Kenkyukai kaishi* 1992; 11:45-49.
5. Mukae H, Sato M: The effect of color temperature of lighting sources on the autonomic nervous functions. *The Annals of physiological anthropology = Seiri Jinruigaku Kenkyukai kaishi* 1992; 11:533-538.
6. Noguchi H, Sakaguchi T, Sato M: Physiological effects of sudden change in illuminance during dark-adapted state. *Applied human science : journal of physiological anthropology* 1999; 18:109-114.
7. Carskadon M, Dement W: Normal human sleep: An overview, in *Principles and practice of sleep medicine*. Edited by Kryger M, Roth T, Dement W. Philadelphia, W.B. Saunders, 2000, pp 15-25.
8. Culebras A: The biology of sleep., in *Clinical handbook of sleep disorders*. Edited by Culebras A. Boston, Butterworth-Heinemann, 1996, pp 13-51.
9. Dijk DJ, Duffy JF, Czeisler CA: Contribution of circadian physiology and sleep homeostasis to age-related changes in human sleep. *Chronobiol Int* 2000; 17:285-311.
10. Dijk DJ, Czeisler CA: Contribution of the circadian pacemaker and the sleep homeostat to sleep propensity, sleep structure, electroencephalographic slow waves, and sleep spindle activity in humans. *J Neurosci* 1995; 15:3526-3538.
11. Van Someren EJ: More than a marker: interaction between the circadian regulation of temperature and sleep, age-related changes, and treatment possibilities. *Chronobiol Int* 2000; 17:313-354.
12. Charles A. Czeisler: Perspective: Casting light on sleep deficiency. *Nature* 2013; 497:S10-S12.
13. Obayashi K, Saeki K, Iwamoto J, et al: Effect of exposure to evening light on sleep initiation in the elderly: a longitudinal analysis for repeated measurements in home settings. *Chronobiology international* 2014; 31:461-467.
14. Chellappa SL, Steiner R, Oelhafen P, et al: Acute exposure to evening blue-enriched light impacts on human sleep. *Journal of sleep research* 2013; 22:573-580.
15. Noguchi H, Sakaguchi T: Effect of illuminance and color temperature on lowering of physiological activity. *Applied human science : journal of physiological anthropology* 1999; 18:117-123.
16. Kozaki T, Kitamura S, Higashihara Y, et al: Effect of color temperature of light sources on slow-wave sleep. *Journal of physiological anthropology and applied human science* 2005; 24:183-186.
17. Ishibashi K, Kitamura S, Kozaki T, et al: Inhibition of heart rate variability during sleep in humans by 6700 K pre-sleep light exposure. *Journal of physiological anthropology* 2007; 26:39-43.
18. Noguchi H, Sakaguchi T: Effect of illuminance and color temperature on lowering of physiological activity. *Applied human science : journal of physiological anthropology* 1999; 18:117-123.
19. Kayaba M, Iwayama K, Ogata H, et al: The effect of nocturnal blue light exposure from light-emitting diodes on wakefulness and energy metabolism the following morning. *Environmental health and preventive medicine* 2014; 19:354-361.
20. Munch M, Koblack S, Steiner R, et al: Wavelength-dependent effects of evening light exposure on sleep architecture and sleep EEG power density in men. *American journal of physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology* 2006; 290:R1421-1428.
21. Cajochen C, Frey S, Anders D, et al: Evening exposure to a light-emitting diodes (LED)-backlit computer screen affects circadian physiology and cognitive performance. *J Appl Physiol* (1985) 2011; 110:1432-1438.
22. http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/opticalsafety_fact-sheet.pdf
23. <http://163.32.217.6/heart100/pub2/lihom/eye/index.htm>