

Khảo sát sự tương tác của ánh sáng Vis-NIR đến da người

Interaction of Vis-NIR Light on Human Skin

Nguyễn Kiên Cường

Khoa Vật lý Kỹ thuật & Công nghệ Nano

Giới thiệu ánh sáng và da

Da là bộ phận lớn nhất của con người. Nó bao phủ khoảng 1.5-2 m² bao gồm 1/6 khối lượng cơ thể. Da thực hiện vai trò tổ hợp các chức năng sinh lý. Nó như là rào cản (barrier) đối với môi trường và hoạt động như một kênh thông tin nối với thế giới bên ngoài. Ví dụ, da bảo vệ cơ thể chúng ta không bị mất nước (water loss), chống lại tia cực tím (UV) của mặt trời, ma sát và and vết thương do va chạm. Da cũng giúp điều chỉnh nhiệt độ và hỗ trợ quá trình trao đổi chất trong cơ thể người. Các phản ứng quang sinh hóa chịu ảnh hưởng rõ rệt bởi tính chất quang của da. Chính vì vậy, để phát triển thành công “Quang Y-Sinh” (Photomedicine), chúng ta cần phải có kiến thức & hiểu biết sâu về tương tác giữa ánh sáng và da, đặc biệt hiểu biết tính chất quang học của da.

1. Interactions of Light with Skin

Việc truyền bức xạ quang vào da người phụ thuộc vào tính chất hấp thụ và tán xạ của ba lớp có chức năng khác nhau của da: biểu bì (*epidermis*), lớp hạ bì (*dermis*), và lớp dưới hạ bì (*hypodermis*). Cấu trúc và các nhóm nhạy quang (*chromophores*) thành phần của các lớp trên xác định sự tắt dần hay suy giảm của phát xạ dưới lớp da.

Bằng việc nghiên cứu và phân tích độ dài bước sóng-phụ thuộc tương tác ánh sáng với da, chúng ta có thể tăng mức xuyên sâu của bức xạ quang học và lựa chọn điều trị các bệnh lý. Ví dụ, như ta biết, melanin thể hiện khả năng hấp thụ cực đại trong dải phổ UV và ánh sáng xanh (*blue spectral*), trong khi đó máu (*blood*) ưu tiên hấp thụ ánh sáng xanh và ánh sáng vàng, phác đồ điều trị (*treatment protocol*) áp dụng phù hợp tương ứng với sắc tố (của tế bào) và thương tổn mạch máu [1]. Các nhóm chromophores, như là melanin, máu, nước, và chất béo (lipid) sẽ xác định khả năng hấp thụ của da.

Thông qua tán xạ, ánh sáng đâm xuyên qua bề mặt da đến một độ sâu nhất định và nó chi phối sự hấp thụ trong vùng phổ hấp thụ và hồng ngoại gần (NIR) bởi ít nhất một cấp khuếch đại. Do vậy tán xạ ánh sáng khi đâm xuyên qua da cần được nghiên cứu một cách chi tiết [2].

Trong bài khảo sát này, tính chất của ánh sáng, tác động của nó với da con người, chuẩn đoán và sử dụng các thiết bị laser/light nằm trong giải phổ Vis to NIR trong việc chuẩn đoán/điều trị bệnh về da sẽ được mô tả trong phần tiếp theo.

Khi ánh sáng được chiếu qua da, là môi trường không trong suốt (*turbid medium*), nó sẽ tương tác với da thông qua tương tác quang (*optical interactions*) như: phản xạ hay khúc xạ tại bề mặt da. Sau đó ánh sáng tiếp tục bị tán xạ đàn hồi và không đàn hồi và được hấp thụ khi truyền qua da.

Hình 1. cho thấy tia sáng tới lớp bề mặt da sẽ chia làm 2 thành phần: tia phản xạ quay lại môi trường mà nó truyền đến nhưng đã đổi hướng, tia khúc xạ xuyên sâu vào lớp biểu bì với tốc độ khác nhau và hướng khác nhau. Định luật Snell biểu diễn quan hệ giữa tia tới và tia khúc xạ:

$$(\sin \theta_1 / \sin \theta_2) = v_1/v_2 = n_2/n_1, \quad [1]$$

trong đó:

θ_1 & θ_2 , v_1 & v_2 , n_1 & n_2 là góc, vận tốc ánh sáng, chỉ số khúc xạ của tia tới và tia khúc xạ.

Hơn 99% của ánh sáng là tán xạ đàn hồi, hay là không có sự thay đổi bước sóng (hay tần số). Thời gian sống τ_e của quá trình tán xạ đàn hồi rất ngắn xấp xỉ (*on the order of*) 10^{-15} s. Một tỉ lệ nhỏ của ánh sáng thì tán xạ không đàn hồi, nghĩa là có sự thay đổi bước sóng ánh sáng. Tán xạ không đàn hồi bao gồm huỳnh quang, lân quang và Raman. Quá trình phát huỳnh quang và lân quang được biểu diễn theo biểu đồ Jablonksi (Fig. 2.).

2. Cấu trúc và tính chất quang của da

Tính chất quang của ánh sáng truyền dưới lớp da được đánh giá bằng hệ số hấp thụ μ_a và hệ số tán xạ μ_s . Da bao gồm 3 lớp: lớp biểu bì, lớp hạ bì và lớp dưới hạ bì. Lớp biểu bì tạo thành lớp bảo phủ chống lại ảnh hưởng của môi trường. Chiều dày trung bình của lớp biểu bì xấp xỉ 0.1mm. Tuy nhiên, lớp biểu bì da mặt khá mỏng khoảng 0.02 m, trong khi biểu bì lớp da gan bàn chân dày 1-5mm. Lớp biểu bì (*Epidermis*) bao gồm 90% lớp sừng (*Keratinocytes*) có chức năng như rào chắn giữ cho các chất nguy hiểm xâm nhập cơ thể và ngăn cản nước và các chất chủ yếu thoát ra khỏi cơ thể qua da. Phần còn lại 10% tế bào lớp biểu bì là tế bào biểu bì tạo hắc tố (*Melanocytes*), lớp này đóng vai trò sản xuất & phân phối melanin, là loại protein mà thêm tế bào sắc tố cho da và bảo vệ cơ thể khỏi tác động của tia UV. Sắc tố (*Melanin*) là một trong phân tử

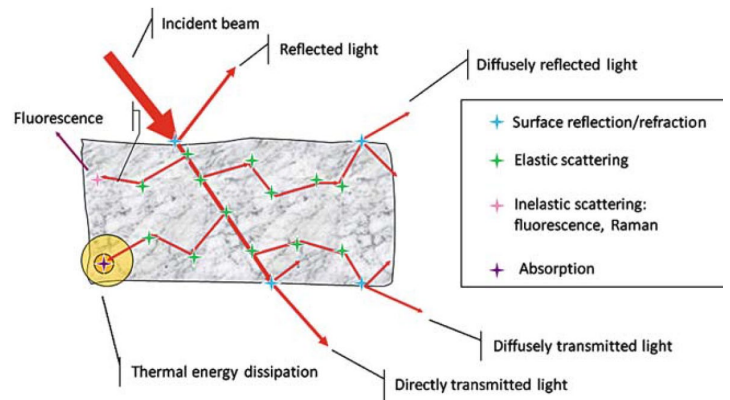


Fig 1. Ánh sáng truyền trong môi trường da

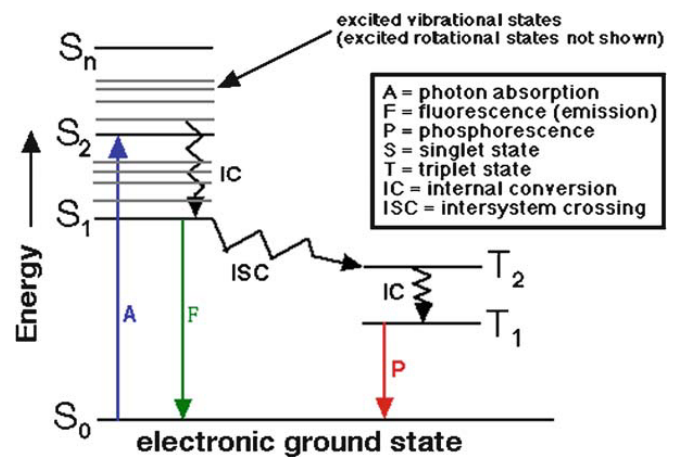


Fig. 2. Jablonski diagram

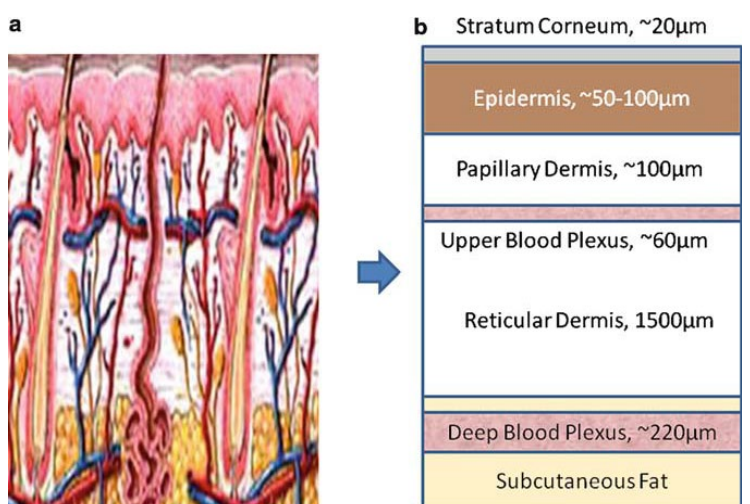
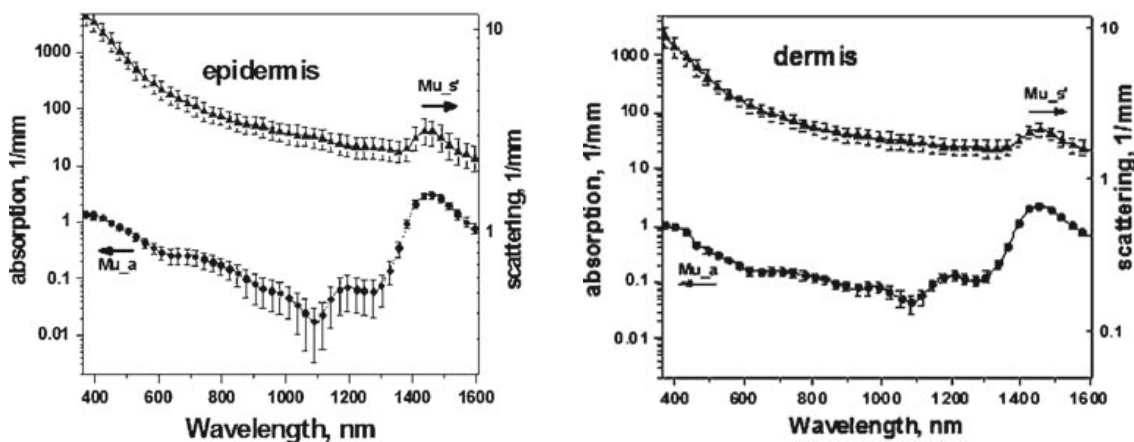


Fig. 3. (a) da người (b) mô hình cấu trúc của da người

bạch huyết (lymph channels), mạch máu, các sợi dây thần kinh và các tế bào cơ, nhưng nằm ở lớp hạ bì chỉ có nang long (*hair follicles*), tuyến bã nhờn (*sebaceous glands*), and tuyến mồ hôi (*sweat glands*). Máu và lymph dịch thể xác định tính chất hấp thụ của lớp hạ bì ở trong vùng phổ ánh sáng nhìn thấy và cận hồng ngoại, tương ứng.

Lớp dưới hạ bì (*hypodermis*) bao gồm lớp mô liên kết (dạng xốp) xen kẽ với các tế bào mỡ (*fat cells*) chứa năng lượng. Các tế bào mỡ được kết thành từng nhóm dưới được giữ bởi các sợi collagen. Lớp dưới hạ bì xếp xen kẽ với các mạch máu, đảm bảo cung cấp nhanh chóng dinh dưỡng dự trữ cần thiết cho cơ thể.

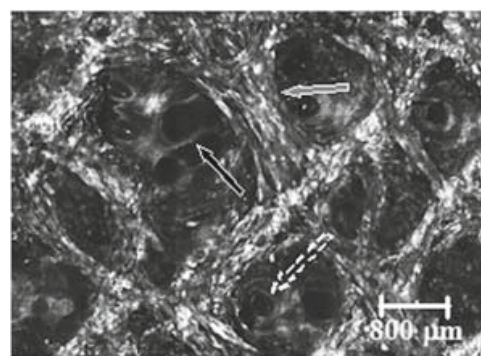
Hệ số hấp thụ và tán xạ của các lớp da (hình 4) được biểu diễn dưới dạng các đồ thị. Kết quả cho thấy sự tán xạ của lớp da giảm đi với việc tăng độ dài sóng. Độ tán xạ của lớp biểu bì thì cao hơn độ tán xạ của lớp hạ bì và lớp mỡ dưới da tương ứng với toàn bộ độ dài sóng. Trên thực tế tính chất quang của lớp biểu bì epidermis nằm trong dải bước sóng 370-1200 nm và được xác định bởi sự hấp thụ của lượng chất melanin (hình 4, trái), mà chỉ số khúc xạ tương đối cao, khoảng 1.3 đối với môi trường xung quanh. Chính vì vậy, sự tán xạ ánh sáng trong lớp biểu bì sẽ mạnh hơn đáng kể so với các lớp khác ở dưới da.



Hình 4. Hấp thụ và tán xạ ánh sáng của lớp biểu bì & lớp hạ bì

Trong lớp hạ bì, sợi collagen và các cấu trúc nhỏ của sợi chủ yếu gây ra tán xạ ánh sáng [3]. Các bó collagen & sợi protein đàn hồi trong mô liên kết có thể nhìn thấy được khi quan sát hình ảnh của lớp hạ bì trên kính hiển vi đồng tiêu (*confocal microscope*) (hình 5, theo hướng chỉ của các mũi tên).

Kiến thức về tính chất quang học của da cho phép đánh giá hiệu suất thâm sâu của ánh sáng μ_{eff} . Hiệu suất này phụ thuộc vào độ dài sóng, sự hấp thụ hệ số tán xạ depends on the wavelength, the hấp thụ và hệ số tán xạ dịch chuyển của ánh sáng.



Hình 5. Cấu trúc sợi collagen trong lớp hạ bì

3. Tế bào sắc tố da

Trong dải sóng nhìn thấy, melanin xác định sự hấp thụ của lớp biểu bì. Hấp thụ của melanin Hấp thụ của hắc tố (melanin) đơn điệu giảm khi tăng độ dài bước sóng. Do vậy, hiệu suất của hắc tố đối với tính chất hấp thụ của lớp biểu bì được quyết định ở bước sóng ngắn hơn. Huyết sắc tố (hemoglobin) chi phối tính chất hấp thụ của lớp hạ bì và lớp mỡ trong dải phổ ánh sáng

nhìn thấy. Đỉnh hấp thụ của huyết sắc tố xuất hiện xung quanh bước sóng 410nm & 540nm. Hấp thụ của lớp biểu bì, lớp hạ bì và lớp mỡ trong dải phổ hồng ngoại gần (NIR) được xác định bởi nước & lượng lipid. Tại bước sóng xấp xỉ 1200 nm, dải hấp thụ của nước và chất béo (lipid) bị xếp chồng lên nhau. Do vậy, đỉnh hấp thụ này là của lớp mỡ dưới da khi so sánh với lớp biểu bì và lớp hạ bì của da. Cùng khoảng thời gian đó, lớp biểu bì và hạ bì hấp thụ mạnh hơn trong khoảng phổ từ 1350 nm to 1600 nm. Dải phổ hấp thụ của các tế bào sắc tố được tổng hợp trong hình 6 dưới đây [4]

Sắc tố da (melanin) & huyết sắc tố (hemoglobin) là các tế bào sắc tố trong da hấp thụ mạnh nhất dải phổ ánh nhìn thấy, trong khi trong dải phổ hồng ngoại nước & lipids là các chất hấp thụ chủ yếu (hình 6). Các huyết sắc tố hấp thụ tại các dải phổ nhất định. Sắc tố (*melanin*) ở lớp biểu bì có độ dày 50-100 μm nằm ở lớp trên cùng của da.

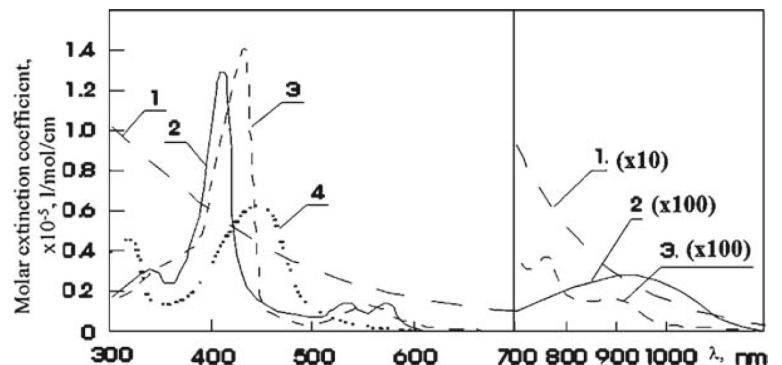
Huyết sắc tố chứa (*oxyhemoglobins*) và huyết sắc tố đã giải phóng oxy (*deoxy- hemoglobins*) có trong hệ thống mạch máu nhỏ (*microvascular*) của lớp biểu bì, thông thường nằm dưới lớp bề mặt khoảng 50-500 μm . Các nhóm huyết sắc tố khác có thể có trong da trong điều kiện bệnh lý như là chromophores may be present in the skin in pathological conditions such as Bilirubin, là một sắc tố màu vàng, được sinh ra trong quá trình thoái giáng các tế bào hồng cầu, bài tiết trong dịch mật, một phần nhỏ từ cytochrome, myoglobin và nitric oxide synthase (hình 6). Khi đó sắc tố vàng tạo sự vàng da và hấp thụ tại bước sóng 460 nm [5].

Sắc tố Melanin được tổng hợp ở melanosomes, là các bào quan được tìm thấy ở trong tế bào hắc tố (*melanocytes*). Da người được đặc trưng bởi nồng độ biến đổi của sắc tố, từ nhỏ đến người da trắng (*fair-skinned*) (da loại I) đến da rất đen của người Châu Phi (da loại VI).

Cho dù sự hấp thụ của sắc tố melanin lớp biểu bì đối với tia UV là cao nhất, nhưng hệ số hấp thụ của sắc tố melanin đối với tia nhìn thấy và tia cận hồng ngoại [6].

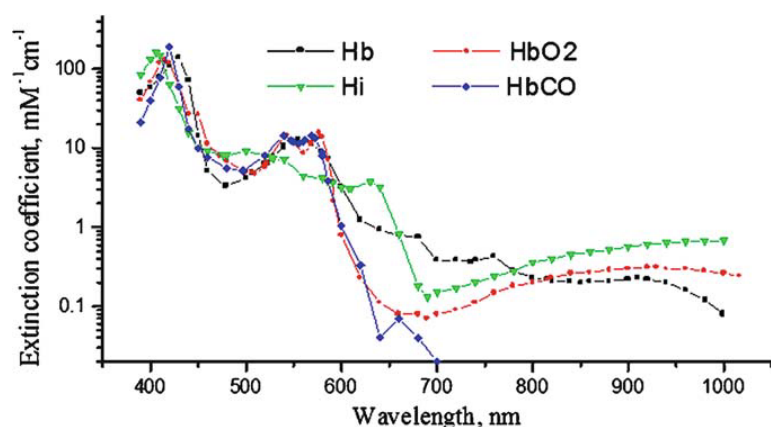
Tại dải bước sóng 600–1100 nm, cùng với giảm tán xạ trong lớp hạ bì và giảm sự hấp thụ bởi cả hemoglobin & melanin, nhưng đâm xuyên qua da lại tăng đáng kể. Các nhóm sắc tố *chromophore* chủ yếu dưới da thịt (*cutaneous*) ở độ đâm xuyên khoảng 600–1100 nm chính là các sắc tố melanin. Do vậy, thực tế điều trị lâm sàng, các bước sóng 532 nm (xanh lá cây), 694 nm (đỏ), and 1064 nm (cận hồng ngoại) được sử dụng cho điều trị tổn thương sắc tố (*pigmented lesions*).

Máu, cụ thể hơn là *oxy-*, *deoxy-*, *carboxy-*, và sắc tố (*methemoglobins*), hấp thụ ánh sáng trong dải sóng xanh da trời, xanh lá cây và màu vàng. Methemoglobin (*met-Hb*) hấp thụ



Hình 6. Phổ hấp thụ của các tế bào sắc tố da chủ yếu:

1. DOPA – melanin (in H₂O),
2. Oxyhemoglobin (in H₂O),
3. Deoxyhemoglobin (in H₂O),
4. Iirubin (in CHCl₃).



Hình 7. Hấp thụ của hemoglobin

thêm bước sóng cực đại ở khoảng 630 nm. Oxy- và met-Hbs thì cũng hấp thụ yếu lân cận 940 nm trong dải vận hồng ngoại. Tại bước sóng dài hơn 600 nm, độ dốc của phổ hấp thụ giảm bởi hemoglobins, loại trừ met-Hb, chiếm 0.5% của tổng hàm lượng hemoglobins. Khi nhiệt độ của máu nâng đến 50–54°C sẽ gây ra oxy hóa từng phần của huyết sắc tố mang oxy (*oxyhemoglobin*), điều này dẫn đến sự hình thành *met-Hb* (sắc tố không mang oxy).

4. Kết luận: sự hấp thụ của phổ ánh sáng nhìn thấy và cận hồng ngoại (*Vis-NIR*) phụ thuộc vào cấu trúc tế bào sắc tố (chromophore cells) nằm ở lớp biểu bì, lớp hạ bì và lớp mỡ dưới da. Hấp thụ ánh sáng làm thay đổi lượng sắc tố melanin hình thành ở các lớp dưới da, do đó ảnh hưởng đến màu sắc của da người.

Tài liệu tham khảo:

1. Mueller GJ , Sliney DH , eds. Dosimetry of Laser Radiation in Medicine and Biology, SPIE Inst. Advanced Opt. Techn. IS5 , Bellingham, WA : SPIE Press, (1989)
2. Elma D. Baron (Editor): Light-Based Therapies for Skin of Color, Springer (2009), 1-15p
3. Salomatina E , Jiang B , Novak J , Yaroslavsky AN . Optical properties of normal and cancerous human skin in the visible and near-infrared spectral range . J Biomed Opt . (2006) Vol.11, 064026 .
4. Tuchin VV . Tissue Optics: Light Scattering Methods and Instruments for Medical Diagnosis . Vol. TT38 , Tutorial texts in optical engineering . Bellingham, WA : SPIE Press, 2000 : 352 p.
5. Hannemann RE , Dewitt DP , Hanley EJ , Schreiner RL , Bonderman P . Determination of serum bilirubin by skin reflectance: effect of pigmentation . Pediatr Res. (1979) Vol. 13, 1326 – 1329 .
6. Vitkin IA , Woolsey J , Wilson BC , Anderson RR . Optical and thermal characterization of natural (*Sepia officinalis*) melanin . Photochem Photobiol (1994), Vol. 59 : 455 – 462p.