

ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA

PHAN NGỌC KHƯƠNG CÁT

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP QUANG HỌC PHÂN CỰC
KẾT HỢP PHỔ PHẢN XẠ KHUẾCH TÁN
TRONG HỖ TRỢ PHÂN TÍCH HÌNH ẢNH CỔ TỬ CUNG

Ngành: Vật lý kỹ thuật
Mã số ngành: 9520401

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

TP. HỒ CHÍ MINH - NĂM 2024

Công trình được hoàn thành tại **Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM**

Người hướng dẫn 1: TS. Lý Anh Tú

Người hướng dẫn 2: PGS. TS. Trần Thị Thu Hạnh

Phản biện độc lập:

Phản biện độc lập:

Phản biện:

Phản biện:

Phản biện:

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án họp tại

.....

.....

vào lúc giờ ngày tháng năm

Có thể tìm hiểu luận án tại thư viện:

- Thư viện Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM
- Thư viện Đại học Quốc gia Tp.HCM
- Thư viện Khoa học Tổng hợp Tp.HCM

GIỚI THIỆU

Soi cổ tử cung (CTC) là một phương pháp quan trọng trong chẩn đoán bệnh lý CTC, cũng như tầm soát ung thư CTC. Tuy nhiên, phương pháp này có một số hạn chế, đòi hỏi phải kết hợp với các kỹ thuật tiên tiến để nâng cao độ chính xác và hiệu quả. Quang phổ phản xạ khuếch tán (DRS) là công cụ hữu ích trong chẩn đoán y học, nhờ phân biệt mô bình thường và bệnh lý qua sự khác biệt về hấp thụ và tán xạ ánh sáng. Hemoglobin trong mô hấp thụ ánh sáng, cung cấp thông tin về vi tuần hoàn và các thay đổi do tăng sinh mạch máu ở các tổn thương. Collagen tán xạ ánh sáng, giúp phát hiện các biến đổi quang học của mô. Kết hợp DRS với soi CTC ánh sáng phân cực (PLC-DR) có tiềm năng cải thiện hiệu quả chẩn đoán bệnh lý CTC. Do đó, luận án đưa ra **mục tiêu chính** là: Nghiên cứu phát triển một số thuật toán phân tích hình ảnh dựa trên PLC-DR nhằm tăng cường khả năng phân biệt các đặc trưng của mô CTC, từ đó có thể hỗ trợ chẩn đoán một số bệnh lý CTC.

Ba nghiên cứu đã được thực hiện. Nghiên cứu đầu tiên khai thác tính lưỡng chiết của collagen để phân tích sự định hướng của các sợi collagen. Kết quả cho thấy sợi collagen ở Vùng 2 sắp xếp theo hướng chu vi quanh kênh CTC với độ phân tán thấp hơn Vùng 1. Phương pháp này đơn giản, chi phí thấp và hiệu quả, mở ra tiềm năng ứng dụng lớn trong lâm sàng. Nghiên cứu thứ hai cải thiện độ tương phản giữa biểu mô lát (SE) và trụ (CE) bằng hình ảnh phân cực chéo. Sự khác biệt về độ dày của các lớp biểu mô và khả năng hấp thụ ánh sáng của máu ở các bước sóng khác nhau được khai thác để phát triển thuật toán xử lý hình ảnh kết hợp các kênh màu. Thuật toán này giúp cải thiện đáng kể độ tương phản giữa biểu mô SE và CE, đồng thời tăng cường độ sắc nét của ranh giới lát-trụ, từ đó góp phần vào việc hỗ trợ chẩn đoán, nâng cao hiệu quả phát hiện sớm các tổn thương CTC. Nghiên cứu thứ ba hướng đến việc định lượng tỷ lệ phân bố tế bào hồng cầu (RBC) tại các vùng khác nhau trên bề mặt CTC bằng cách kết hợp kỹ thuật phân cực ánh sáng và DRS. Mô hình CTC hai lớp dựa trên lý thuyết phản xạ khuếch tán đã được xây dựng để thiết lập mối tương quan tuyến

tính giữa cường độ phản xạ khuếch tán và nồng độ tế bào hồng cầu. Thuật toán xử lý ảnh mới đã được phát triển để tạo ra bản đồ màu trực quan, biểu thị sự phân bố không gian của các giá trị nồng độ RBC trong mô CTC. Hiệu quả của mô hình này được đánh giá thông qua các hình ảnh phân cực ánh sáng từ bệnh nhân có các bệnh lý CTC khác nhau.

Về bố cục, luận án gồm:

Chương 1 là phần tổng quan, trình bày tổng quan bệnh lý CTC và một số các nghiên cứu liên quan đến collagen và máu trên bề mặt CTC sử dụng phương pháp quang phổ và hình ảnh quang học.

Chương 2 mô tả cấu trúc giải phẫu học và mô học của CTC, giải thích chi tiết về tương tác ánh sáng phân cực và mô, bao gồm cả tính lưỡng chiết của collagen. Các mô hình tán xạ, lý thuyết về phản xạ khuếch tán và ứng dụng của chúng trong nghiên cứu mô sinh học cũng được trình bày.

Chương 3 trình bày các phương pháp nghiên cứu của luận án, bao gồm phương pháp thu nhận dữ liệu nghiên cứu và các thuật toán phân tích hình ảnh như: phương pháp đánh giá sự định hướng sợi collagen, phương pháp tăng tương phản biểu mô lát-trụ và phương pháp đánh giá tỷ lệ hồng cầu trên bề mặt CTC.

Chương 4 là kết quả nghiên cứu và thảo luận. Các kết quả thu được từ các phương pháp nghiên cứu sẽ được trình bày, phân tích và so sánh với các nghiên cứu trước đây. Ý nghĩa khoa học và ứng dụng thực tiễn của các kết quả nghiên cứu được thảo luận.

Chương 5 dành cho phần tổng kết các kết quả của luận án và hướng phát triển của nghiên cứu.

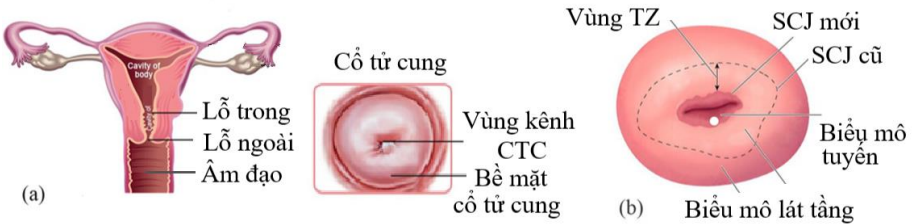
Danh sách công trình đã công bố sẽ liệt kê tất cả các bài báo đăng trên tạp chí SCIE/ Scopus, các bài báo cáo trên Hội nghị Quốc tế, và các đề tài Nghiên cứu Khoa học mà luận án có tham gia.

CHƯƠNG 1 CƠ SỞ LÝ THUYẾT

1.1 Cổ tử cung

1.1.1 Giải phẫu học cổ tử cung

CTC là phần hẹp phía dưới tử cung, dài khoảng 4 cm và đường kính 3 cm, nằm trong khoang âm đạo và kết nối tử cung với âm đạo. CTC gồm hai phần chính: cổ trong và cổ ngoài. Cổ ngoài, tiếp giáp âm đạo, được lót bởi biểu mô lát SE, trong khi cổ trong được lót bởi biểu mô trụ CE. Kênh CTC thông với tử cung qua lỗ trong CTC (Hình 1.1 (a)). Trước dậy thì, đường tiếp giáp lát-trụ (SCJ) nằm ngay tại lỗ ngoài CTC. Khi bước vào giai đoạn sinh dục, CE từ cổ trong di chuyển xuống cổ ngoài, tạo vùng lộ tuyến và đẩy SCJ ra xa lỗ ngoài. CE sau đó chuyển thành SE trong vùng chuyển tiếp (TZ), hình thành SCJ mới. Đến tuổi mãn kinh, do teo niêm mạc, SCJ và TZ di chuyển trở lại bên trong kênh CTC (Hình 1.1 (b)).



Hình 1.1 (a) Mặt cắt giải phẫu cổ tử cung, (b) bề mặt CTC

1.1.2 Mô học cổ tử cung

CTC gồm hai lớp chính: biểu mô và mô đệm. Lớp mô đệm, nằm giữa biểu mô và lớp cơ, chứa ECM (gồm collagen và elastin), cơ trơn, mạch máu, dây thần kinh, và tế bào miễn dịch, giúp duy trì cấu trúc và chức năng của CTC. Cổ ngoài CTC được bao phủ bởi biểu mô SE, có cấu trúc đa tầng và chứa glycogen, trong khi cổ trong được lót bởi biểu mô CE, gồm một lớp tế bào đơn mỏng. Khi kiểm tra bằng mắt, CE có màu hơi đỏ vì lớp tế bào đơn mỏng cho phép nhìn thấy màu sắc của mạch máu bên dưới trong lớp mô đệm dễ dàng hơn. SCJ thường xuất hiện dưới dạng một ranh giới có độ cao khác nhau do sự

khác biệt về cấu trúc giữa SE và CE. TZ là khu vực đã xảy ra quá trình chuyển sản từ CE sang SE, và được coi là khu vực dễ xảy ra các bệnh lý CTC, đặc biệt là ung thư biểu mô tế bào vảy.

1.1.3 Collagen trên bề mặt cổ tử cung

Collagen là protein cấu trúc chính và là thành phần quan trọng của ECM. Phân tử Collagen, có chiều dài khoảng 300 nm và đường kính 15 nm, còn gọi là tropocollagen, cấu tạo từ ba chuỗi polypeptide (chuỗi α) xoắn lại với nhau thành bộ ba xoắn ốc. Mỗi chuỗi polypeptide gồm khoảng 1000 amino acid, và sự phân bố của các chuỗi α_1 , α_2 , α_3 khác nhau tùy theo loại collagen. Collagen tổ hợp thành các vi sợi, sợi, và bó sợi, có đường kính từ 10–500 nm tùy thuộc vào mô. Collagen đóng vai trò quan trọng trong việc tạo hình dạng và tính đàn hồi của CTC nhờ liên kết chéo giữa các sợi collagen.

1.2 Tương tác ánh sáng phân cực với mô sinh học

1.2.1 Ánh sáng phân cực

Ánh sáng phân cực là đặc tính của sóng điện từ, mô tả hướng dao động của vector điện trường khi sóng truyền đi. Phân tích ánh sáng phân cực thường tập trung vào thành phần điện trường vì từ trường có thể xác định thông qua nó theo các phương trình Maxwell. Các dạng phân cực đơn giản và phổ biến bao gồm phân cực tuyến tính (điện trường dao động theo một phương cố định) và phân cực tròn (điện trường quay tròn khi sóng lan truyền). Có 6 trạng thái phân cực thường được sử dụng để đặc trưng cho các loại ánh sáng phân cực trong thực nghiệm, gồm: H (Horizontal): Phân cực tuyến tính ngang, V (Vertical): Phân cực tuyến tính dọc, P+: Phân cực tuyến tính ở góc $+45^\circ$, P-: Phân cực tuyến tính ở góc -45° , R (Right circular): Phân cực tròn phải và L (Left circular): Phân cực tròn trái.

1.2.2 Tính lưỡng chiết của mô sinh học

Lưỡng chiết là hiện tượng khi ánh sáng truyền qua vật liệu bị tách thành hai tia, tia thường và bất thường, có trạng thái phân cực khác nhau. Lưỡng chiết phản ánh sự khác biệt về chiết suất của vật liệu theo các hướng phân cực. Nhiều mô

sinh học có cấu trúc dị hướng, dẫn đến tính lưỡng chiết do sự sắp xếp thẳng hàng của các sợi trong môi trường ngoại bào. Collagen là một vật liệu có tính lưỡng chiết, xuất phát từ sự sắp xếp có tổ chức của các sợi collagen trong mô liên kết. PLT là một công cụ mạnh mẽ để nghiên cứu góc định hướng của các sợi collagen nhờ vào đặc tính lưỡng chiết này. Khi ánh sáng phân cực truyền qua các sợi collagen, sự xoay của mặt phẳng phân cực phụ thuộc vào hướng sắp xếp của các sợi, giúp PLT xác định chính xác góc định hướng của chúng.

1.2.3 Tán xạ ánh sáng trong mô sinh học

Nghiên cứu sự lan truyền ánh sáng trong mô là lĩnh vực quan trọng trong phát triển các kỹ thuật quang học ứng dụng trong chẩn đoán và điều trị. Khi ánh sáng tiếp xúc với mô, nó bị hấp thụ và tán xạ, mang theo thông tin về cấu trúc và tính chất của mô. DRS đo ánh sáng tán xạ sau khi tương tác với mẫu, cung cấp thông tin về thành phần và cấu trúc mô. Tán xạ Mie được dùng để tính toán đặc tính tán xạ của các đối tượng nghiên cứu trong luận án. Mô hình tán xạ ánh sáng phân cực còn giúp trích xuất thông tin về các cấu trúc dưới bề mặt, hỗ trợ chẩn đoán và theo dõi tình trạng mô in vivo.

Mô hình chụp ảnh phân cực tập trung vào hai phép đo đơn giản là HH (song song) và HV (vuông góc) trong chế độ tán xạ, thay vì sử dụng toàn bộ ma trận Mueller. Ánh sáng tới được phân cực tuyến tính bởi bộ lọc phân cực, sau đó hình ảnh được thu bởi máy ảnh với bộ lọc phân cực thứ hai song song (HH) hoặc vuông góc (HV) với hướng phân cực của ánh sáng tới. Hình ảnh HH thu ánh sáng phản xạ bề mặt và tán xạ từ các lớp nông, trong khi hình ảnh HV chủ yếu thu ánh sáng tán xạ từ các lớp sâu bên trong mô. Hình ảnh HV có ưu điểm giảm phản xạ bề mặt, giúp cải thiện chất lượng hình ảnh, hỗ trợ các thuật toán xử lý ảnh hiệu quả hơn. HV có thể được mô tả bằng phương trình (2.1), với I_0 – cường độ ánh sáng tới, T_s – độ truyền qua của lớp trên và R_D – độ phản xạ khuếch tán lớp dưới.

$$I_{PER} = HV = I_0 \cdot T_s \cdot \frac{R_D}{2} \quad (1.1)$$

CHƯƠNG 2 TỔNG QUAN TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU

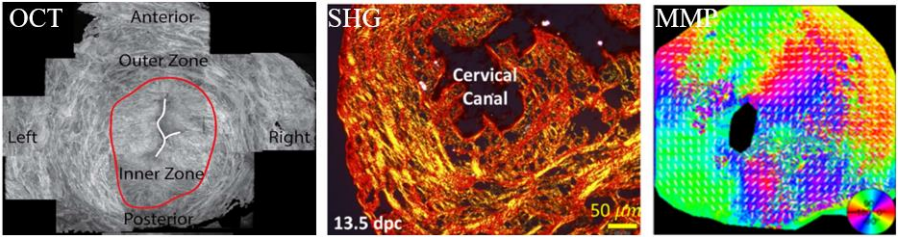
2.1 Tổng quan cổ tử cung và phương pháp soi cổ tử cung

CTC đóng vai trò quan trọng trong hệ sinh sản nữ, dễ bị tổn thương bởi vi khuẩn, virus, thay đổi hormone và kinh nguyệt. Các tổn thương có thể lành tính như viêm, polyp hoặc ác tính như tiền ung thư (UT) và UTCTC. UTCTC là UT phổ biến thứ hai ở nữ giới toàn cầu, với số ca mắc và tử vong cao, đặc biệt ở các nước thu nhập thấp. Phương pháp sàng lọc định kỳ như xét nghiệm Pap smear và HPV giúp phát hiện sớm UTCTC. Soi CTC kết hợp VIA (kết hợp sử dụng acid acetic) và VILI (kết hợp sử dụng dung dịch Lugol) giúp quan sát tổn thương, hỗ trợ chẩn đoán chính xác. Tuy nhiên, độ chính xác của phương pháp này còn phụ thuộc nhiều vào yếu tố chủ quan của người thực hiện. Để khắc phục hạn chế này, nhiều nghiên cứu đề xuất tích hợp công nghệ quang học tiên tiến vào soi CTC để tăng hiệu quả chẩn đoán.

2.2 Tổng quan nghiên cứu collagen trên bề mặt cổ tử cung

Tính chất cơ học và hình dạng của CTC được duy trì bởi ma trận ngoại bào (ECM), chủ yếu là collagen (70% loại I, 30% loại III), cùng với cơ trơn và các phân tử sinh học khác. Cấu trúc và định hướng của collagen đóng vai trò quan trọng trong việc duy trì độ cứng, độ đàn hồi của CTC, và bất kỳ sự thay đổi bất thường nào cũng có thể liên quan đến các tổn thương như UTCTC hoặc sinh non. Sinh non là một vấn đề nghiêm trọng, là nguyên nhân tử vong hàng đầu ở trẻ dưới 5 tuổi. Trong thai kỳ, collagen trong CTC trải qua những biến đổi lớn để chuẩn bị cho quá trình sinh nở, giúp CTC chuyển từ trạng thái cứng và khép kín sang mềm và mở để thai nhi đi qua. Trong trường hợp UTCTC, collagen trở nên cứng hơn, gây cản trở hệ miễn dịch và hỗ trợ quá trình di căn của tế bào ung thư. Các kỹ thuật như X-ray, OCT, SHG và MMP đã được sử dụng để nghiên cứu chi tiết sự định hướng và phân tán của collagen, cung cấp nhiều thông tin quan trọng về cấu trúc và chức năng của CTC. Các nghiên cứu cho thấy, ở CTC không mang thai (NPG), sợi collagen phân bố thành hai khu vực rõ rệt: vùng bên trong có sự định hướng ngẫu nhiên để thích nghi với các hoạt động co giãn của CTC, còn vùng bên ngoài định hướng theo chu vi để duy trì

hình dạng và độ cứng (Hình 2.1). Ở CTC mang thai (PG), sự phân tán collagen tăng lên, các sợi collagen có xu hướng phân bố ngẫu nhiên trên toàn bộ bề mặt do áp lực từ thai nhi.



Hình 2.1 Sự định hướng sợi collagen trên bề mặt CTC NPG

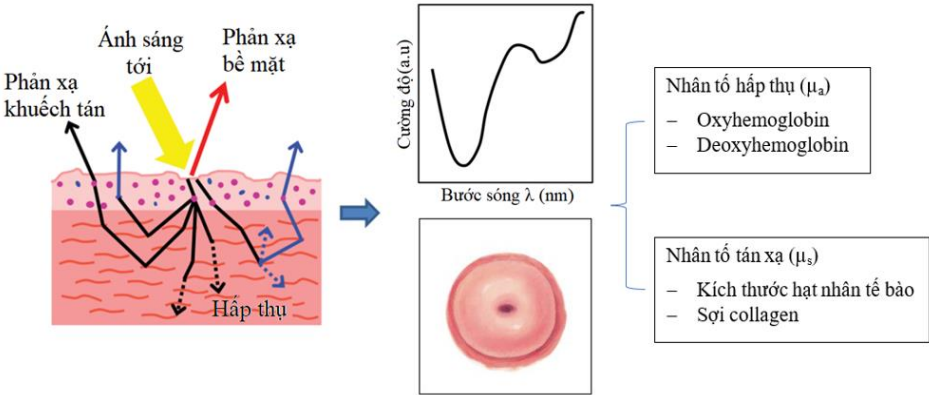
Các kỹ thuật X-ray, OCT, SHG và MMP đều có ưu và nhược điểm. X-ray cung cấp thông tin chi tiết về cấu trúc nhưng xâm lấn và tốn kém. OCT có độ phân giải cao, SHG cho phép hình ảnh hóa sợi collagen, nhưng cả OCT và SHG lại yêu cầu thiết bị đắt đỏ. MMP cung cấp thông tin toàn diện về sợi collagen, nhưng thu thập và xử lý dữ liệu phức tạp. Mỗi phương pháp có giá trị riêng, nhưng chi phí và độ phức tạp cần được cân nhắc khi áp dụng lâm sàng. Do đó, luận án đề xuất một phương pháp xác định sự định hướng sợi collagen mới, đơn giản, nhanh chóng và chi phí thấp, kết hợp kỹ thuật phân cực ánh sáng với soi CTC truyền thống, có tiềm năng ứng dụng trong lâm sàng.

2.3 Tổng quan nghiên cứu máu trên bề mặt cổ tử cung

Hệ thống mạch máu của cổ tử cung (CTC) đóng vai trò quan trọng trong việc cung cấp dưỡng chất và oxy cho mô CTC. Khi CTC bị tổn thương, các bất thường liên quan đến hệ thống mạch máu như thay đổi mật độ, hình dạng mạch máu, và gián đoạn lưu thông máu có thể xảy ra. Hiểu rõ về hệ vi tuần hoàn của CTC giúp hỗ trợ chẩn đoán và điều trị hiệu quả các bệnh lý liên quan. Các kỹ thuật hình ảnh hiện đại như siêu âm Doppler màu và Siêu âm Hình ảnh Vi mạch (SMI) được sử dụng để phân tích động lực dòng máu và cấu trúc vi mạch, giúp phát hiện và theo dõi các tổn thương CTC một cách chính xác.

Gần đây, quang y sinh đã đạt được nhiều tiến bộ trong chẩn đoán bệnh lý, với các kỹ thuật như hình ảnh đa bước sóng, quang phổ Raman, và quang phổ phản

xạ khuếch tán (DRS). DRS là kỹ thuật quang phổ không xâm lấn, phân tích tương tác giữa ánh sáng và mô sinh học. Bằng cách đo sự tán xạ và hấp thụ ánh sáng, DRS cung cấp thông tin chi tiết về cấu trúc và thành phần của mô, đặc biệt là những thay đổi liên quan đến nồng độ hemoglobin trong vi tuần hoàn (Hình 2.2). IDF (Incident Dark Field illumination) là kỹ thuật hình ảnh sử dụng ánh sáng xiên để quan sát các cấu trúc vi mô có độ tương phản thấp, đặc biệt hiệu quả trong việc hiển thị mạch máu nhỏ và các chi tiết mô tinh vi. NBI (Narrow Band Imaging) là kỹ thuật nội soi sử dụng bộ lọc quang học để tăng cường tương phản của mạch máu và các tổn thương vi mô, giúp phát hiện các tổn thương tiền UT và UTCTC với độ chính xác cao hơn so với ánh sáng trắng thông thường. Kỹ thuật TiVi dựa trên sự tương tác giữa ánh sáng và các thành phần mô sinh học, kết hợp phổ phản xạ khuếch tán và hình ảnh phân cực để tạo ra bản đồ nồng độ hemoglobin với độ phân giải cao. Với ưu điểm linh hoạt, chi phí thấp, và độ phân giải cao, TiVi có tiềm năng trở thành công cụ hữu ích trong chẩn đoán sức khỏe CTC.



Hình 2.2 Kỹ thuật DRS trong phân tích đặc điểm của mô.

Trong luận án này, kỹ thuật DRS và phân cực được kết hợp để nghiên cứu tỷ lệ hồng cầu (f_{RBC}) và tăng cường độ tương phản giữa biểu mô lát (SE) và biểu mô trụ (CE). Việc cải thiện độ tương phản giúp phát hiện sớm bất thường, xác định rõ vùng cần sinh thiết, tối ưu hóa điều trị, và cung cấp thông tin về vi tuần hoàn CTC, hỗ trợ chẩn đoán chính xác hơn.

CHƯƠNG 3 PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

3.1 Phương pháp thu nhận dữ liệu nghiên cứu

3.1.1 Đạo đức trong nghiên cứu y sinh học

Là nghiên cứu liên quan đến y khoa, luận án tuân thủ các quy định về đạo đức trong nghiên cứu y sinh học do Đại học Quốc gia TP.HCM ban hành theo quyết định số 314/QĐ-ĐHQG ngày 25/4/2016 trong việc thực hiện thu thập mẫu hình ảnh để đánh giá. Các kết quả của xét duyệt của hội đồng y khoa bao gồm:

- Chấp thuận của hội đồng Đạo đức trong nghiên cứu y sinh học của Khoa Y – ĐHQG-HCM, mã số 1009/ĐHQG – KHCN, tháng 6 năm 2021;
- Chấp thuận của hội đồng Đạo đức trong nghiên cứu y sinh học của Bệnh Viện Từ Dũ mã số 2056/BVTD – HĐĐĐ, tháng 12/2021;
- Quyết định cho phép thực hiện đề tài nghiên cứu khoa học tại Bệnh Viện Từ Dũ số 3591/QĐ – BVTD, tháng 12/2021.

3.1.2 Phương pháp lựa chọn và loại trừ dữ liệu nghiên cứu

Quy trình lựa chọn và thu thập dữ liệu nghiên cứu được thực hiện tại bệnh viện Từ Dũ từ tháng 01 đến tháng 12/2022. Sau khi khám sàng lọc, các bệnh nhân thỏa một trong các tiêu chuẩn nhận (các phụ nữ khám phụ khoa hoặc theo dõi tân sinh trong biểu mô CTC hoặc xét nghiệm Pap's) và không thỏa tiêu chuẩn loại nào (đang có kinh, ra huyết nhiều, thực rửa âm đạo bằng hóa chất) sẽ được tư vấn về quá trình nghiên cứu và ký đồng thuận. Sau đó bác sĩ sẽ tiến hành soi bằng máy soi có tích hợp kỹ thuật phân cực. Các ảnh bề mặt CTC được lưu lại gồm: ảnh Trắng, ảnh Xanh, ảnh Lugol và ảnh Acid acetid. Kết quả sinh thiết được đính kèm trong một số trường hợp được chỉ định làm sinh thiết.

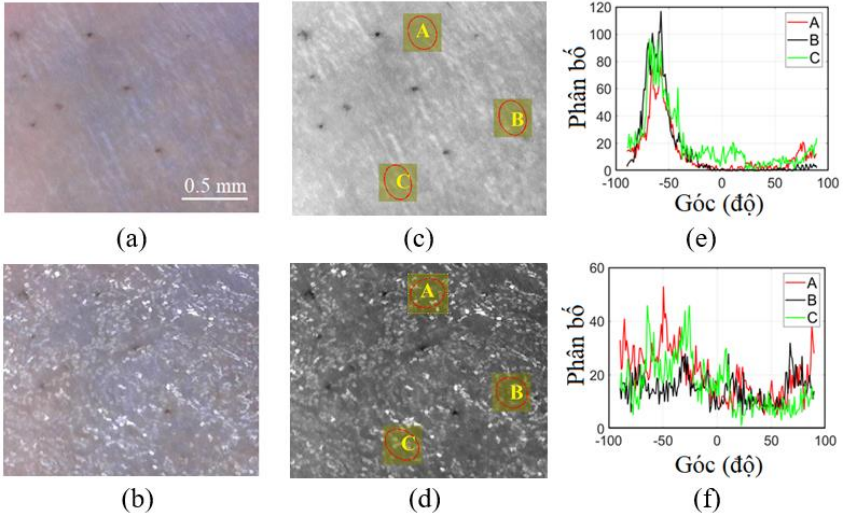
3.2 Phương pháp đánh giá sự định hướng collagen

3.2.1 Phân tích hướng và phân bố góc trong hình ảnh với OrientationJ

Plugin "OrientationJ" trong phần mềm ImageJ là một công cụ mạnh mẽ cho việc phân tích hướng và phân bố góc của các cấu trúc trong hình ảnh. Nó đặc biệt hữu ích khi phân tích kết cấu, sợi và các mẫu dị hướng như mô sinh học. Với một ảnh đầu vào, plugin này cho phép xuất ra: (i) đồ thị phân bố góc định

hướng, hỗ trợ xác định góc định hướng chính của hình ảnh; (ii) bản đồ trường vectơ hoặc bản đồ màu về sự định hướng của hình ảnh, cho ta cái nhìn trực quan về sự định hướng cũng như độ phân tán của cấu trúc hình ảnh; (iii) các giá trị góc định hướng Orientation và hệ số đồng nhất Coherency của các vùng con được lựa chọn, cho ta góc nhìn định lượng về sự phân tán sợi của hình ảnh.

3.2.2 Mô hình thử nghiệm



Hình 3.1 Ảnh mẫu da cá rô phi: (a) Trắng CP, (b) Trắng NP, (c) Xám CP, (d) Xám NP; (e), (f) – Đồ thị phân bố góc định hướng của 3 vùng A, B và C.

Tính lưỡng chiết, một đặc tính cơ bản của sợi collagen, phản ánh sự sắp xếp và định hướng của các sợi trong cấu trúc mô. Khi tiếp xúc với ánh sáng phân cực, các sợi collagen có khả năng làm xoay mặt phẳng phân cực, tạo ra các tín hiệu quang học đặc trưng. Chính đặc tính này đã đặt nền tảng cho PLT, một công cụ hữu hiệu trong việc trực quan hóa và phân tích cấu trúc collagen trong các mô sinh học, đặc biệt là ở CTC. Mẫu da cá rô phi, một vật liệu tiềm năng trong cấy ghép phụ khoa, có collagen là thành phần chính, được lựa chọn làm mẫu để đánh giá hiệu quả của PLT trong việc xác định hướng sợi collagen. Kết quả phân tích định hướng sợi collagen trên ảnh chụp ở chế độ phân cực chéo (CP) tương đồng với các nghiên cứu trước đây, cho thấy các sợi collagen được sắp

xếp và phân bố song song nhau. Trong khi đó, trên ảnh chụp ở chế độ không phân cực (NP), OrientationJ không thể xác định chính xác được sự phân bố góc của sợi collagen (Hình 3.1). Vì vậy, một phương pháp đề xuất để phân tích sự phân bố hướng và mức độ phân tán của sợi collagen trên bề mặt CTC là sử dụng phần mềm OrientationJ trên các ảnh chụp ở chế độ phân cực.

3.2.3 Quy trình đánh giá sự định hướng và độ phân tán collagen

Quá trình xác định sự định hướng và phân tán sợi collagen trên bề mặt CTC gồm các bước sau:

- Thu nhận ảnh bề mặt CTC sử dụng máy soi CTC tích hợp hệ phân cực;
- Tách kênh ảnh RGB và chọn ảnh kênh R;
- Tiền xử lý để lọc nhiễu;
- Sử dụng OrientationJ để trích xuất ra các thông tin cần thiết như: đồ thị phân bố góc định hướng, bản đồ phân bố góc định hướng; giá trị góc định hướng θ và hệ số đồng nhất C.
- Đánh giá kết quả.

3.3 Phương pháp tăng tương phản biểu mô lát-trụ

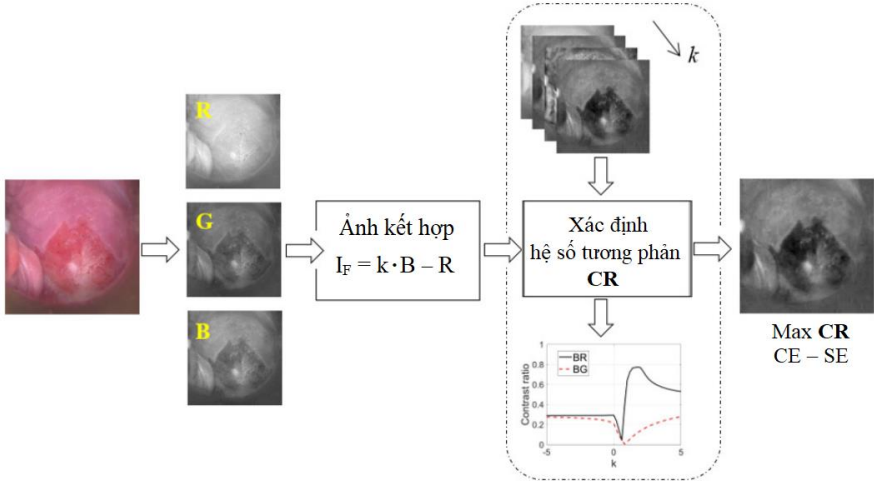
SE có cấu tạo đa lớp tế bào, trong khi CE có cấu tạo đơn lớp. Phía dưới các biểu mô là lớp mô đệm chứa mạch máu. Do đó, việc tăng cường độ tương phản máu sẽ hỗ trợ tăng cường độ tương phản SE-CE. Các bước tăng cường tương phản SE-CE được thể hiện ở Hình 3.2. Theo đó, sau khi tách ảnh Trắng thành 3 kênh: R, G và B, thuật toán kết hợp hai trong ba kênh khác nhau C_1 và C_2 với trọng số k sẽ được thực hiện theo công thức (3.1). Trọng số k được cho thay đổi trong khoảng $[-10, 10]$ với bước nhảy là 0,1.

$$I_F = k \cdot C_1 - C_2 \quad (3.1)$$

Hệ số tương phản CR giữa SE-CE được xác định theo công thức (3.2), với I và I_b lần lượt là cường độ pixel trung bình của vùng CE và SE:

$$CR = \frac{|I_b - I|}{I_b + I} \quad (3.2)$$

Thuật toán sẽ xuất ra giá trị trọng số k ứng với cực đại hệ số tương phản giữa CE và SE. Ngoài CR, các kết quả sẽ được đánh giá thông qua hệ số tương phản trên nhiều CRN cũng như so sánh với phương pháp do Kapsokalyvas và công sự đề xuất và phương pháp CLAHE.



Hình 3.2 Phương pháp tăng tương phản SE-CE.

3.4 Phương pháp đánh giá tỷ lệ hồng cầu

3.4.1 Mô hình tính toán theo lý thuyết phản xạ khuếch tán

Mô CTC được mô hình hóa như một môi trường bao gồm hai lớp: lớp biểu mô mỏng ở phía trên và lớp mô đệm bên dưới. Theo lý thuyết của PLT, độ phản xạ khuếch tán khi chiếu ánh sáng đến mô CTC được xác định theo công thức (3.3):

$$R_{d_total}(\lambda) \approx \frac{I_{per}(\lambda)}{I_0(\lambda)} \approx T_{epi}(\lambda) \cdot R_{d_str}(\lambda) \quad (3.3)$$

Trong đó: I_0 – tổng cường độ ánh sáng chiếu tới; I_{per} – cường độ ánh sáng tán xạ từ các lớp sâu, không tính phần ánh sáng từ bề mặt; T_{epi} – độ truyền qua của lớp biểu mô và R_{d_str} – độ phản xạ khuếch tán của lớp mô đệm. R_{d_str} được tính toán theo lý thuyết khuếch tán xấp xỉ DA, thể hiện ở phương trình (3.4):

$$R_{d_str}(\lambda) = \left\{ 1 + \exp \left[-\frac{4}{3} \cdot A_1 \cdot \mu_{\text{eff}}(\lambda) \cdot z_0(\lambda) \right] \right\} \frac{\exp \left[-\mu_{\text{eff}}(\lambda) \cdot z_0(\lambda) \right]}{2} \quad (3.4)$$

Với: $\mu_{\text{eff}}(\lambda) = \left\{ 3 \cdot \mu_{a,\text{str}}(\lambda) \cdot \left[\mu_{a,\text{str}}(\lambda) + \mu'_{s,\text{str}}(\lambda) \right] \right\}^{1/2}$;

$z_0(\lambda) = \left[\mu_{a,\text{str}}(\lambda) + \mu'_{s,\text{str}}(\lambda) \right]^{-1}$ và $A_1 = 2 \cdot n^2 - 1$.

Độ truyền qua của lớp biểu mô T_{epi} được xác định theo định luật Lambert-Beer thông qua hệ số hấp thụ $\mu_{a,\text{epi}}$ và độ dày d_{epi} của lớp biểu mô ($d_{\text{epi}} = 300 \mu\text{m}$) theo công thức (3.5):

$$T_{\text{epi}}(\lambda) = \exp \left[-\mu_{a,\text{epi}}(\lambda) \cdot d_{\text{epi}}(\lambda) \right] \quad (3.5)$$

3.4.2 Mô hình mô phỏng Monte Carlo

Để đánh giá kết quả của mô hình lý thuyết DA, độ phản xạ khuếch tán được tính bằng mô phỏng Monte Carlo (MC) và so sánh. MC nổi tiếng vì độ chính xác trong mô phỏng sự truyền ánh sáng qua mô phức tạp và không đồng nhất, thường được coi là tiêu chuẩn vàng trong mô hình hóa vận chuyển ánh sáng. Ở đây, các thông số đầu vào trong MC tương tự mô hình lý thuyết. Kết quả từ Monte Carlo sau đó được so sánh với mô hình khuếch tán để đánh giá hiệu suất.

3.4.3 Thống kê

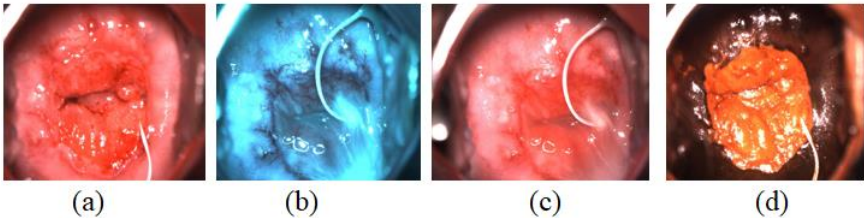
Để so sánh phổ phản xạ khuếch tán từ các mô hình, trước tiên phổ được chuẩn hóa. Sau đó, hệ số tương quan (CCC) hoặc phân tích hồi quy tuyến tính được dùng để đánh giá mức độ phù hợp giữa kết quả lý thuyết và mô phỏng Monte Carlo hoặc các kết quả thực nghiệm. CCC, với giá trị từ 0 đến 1, đánh giá mức độ đồng thuận giữa hai phương pháp đo lường. Giá trị CCC cao cho thấy sự tương đồng lớn, trong khi giá trị thấp chỉ ra sự khác biệt.

Hồi quy tuyến tính được sử dụng để phân tích mối quan hệ giữa tỷ lệ hồng cầu và độ phản xạ khuếch tán, với hệ số R^2 biểu thị khả năng dự đoán của mô hình.

CHƯƠNG 4 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

4.1 Kết quả thu thập dữ liệu nghiên cứu

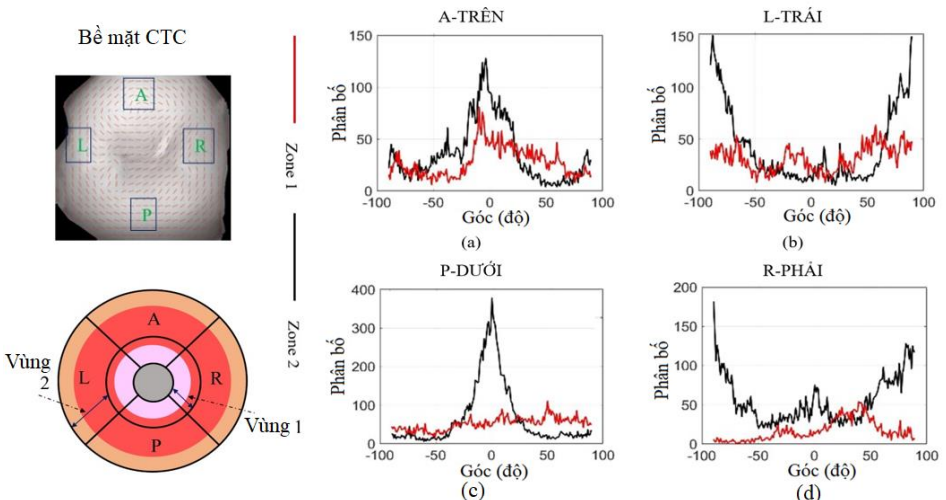
500 trường hợp đã được thu thập để ghi nhận dữ liệu hình ảnh bề mặt CTC, mỗi trường hợp lưu dưới dạng một bộ ảnh, gồm ảnh phân cực hoặc không phân cực: Trắng, Xanh, Acid acetic và Lugol (Hình 4.1). Kết quả khám lâm sàng, soi và giải phẫu bệnh (nếu có) cũng được lưu kèm. Thông tin bệnh nhân được mã hóa để đảm bảo bảo mật.



Hình 4.1 Hình ảnh bề mặt CTC được chụp dưới chế độ không phân cực: (a) Ảnh Trắng; (b) Ảnh Xanh (c) Ảnh Acid Acetic và (d) Ảnh Lugol.

4.2 Kết quả đánh giá sự định hướng collagen và thảo luận

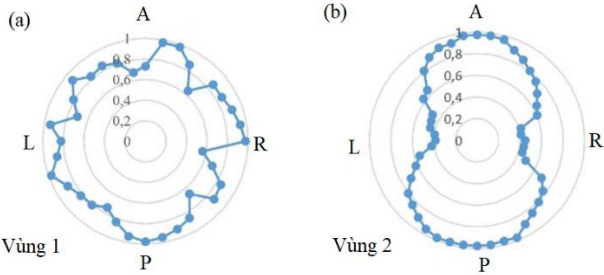
24 bộ ảnh soi CTC ở phụ nữ NPG sử dụng PLT đã được lựa chọn và sử dụng. Trong đó, hình ảnh được chấp nhận ở CTC khỏe mạnh hoặc viêm. Để đánh giá hiệu quả của phương pháp, một trường hợp CTC được sử dụng (Hình 4.2).



Hình 4.2 Sự phân bố góc ở bốn góc phần tư của một mẫu CTC.

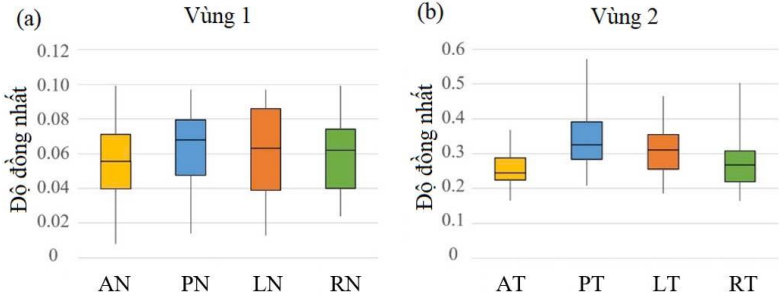
Đồ thị phân bố góc cho thấy, ở Vùng 2, các sợi collagen chủ yếu định hướng quanh 0° (A, P) và 90° hoặc -90° (L, R), thể hiện sự sắp xếp theo hướng nhất định. Ngược lại, ở Vùng 1, đồ thị phân bố không có đỉnh rõ, cho thấy sự định hướng ngẫu nhiên. Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu trước đây về sự định hướng collagen trên bề mặt CTC bằng các kỹ thuật SHG, OCT và MMP.

$$R = 0,375 + 0,625 \cdot \cos(\theta) \tag{4.1}$$



Hình 4.3 Góc định hướng trên biểu đồ cực: (a) Vùng 1 và (b) Vùng 2.

Biểu đồ cực (Hình 4.3) thể hiện sự định hướng sợi collagen ở 4 góc A, P, L, R của Vùng 1 và Vùng 2. Góc định hướng $\theta \in [-90^\circ, 90^\circ]$ được lấy cho 48 vùng con ở Vùng 2 và 36 vùng con ở Vùng 1. Bán kính R được tính theo công thức (4.1). Kết quả cho thấy sợi collagen có hướng ngẫu nhiên trong Vùng 1 (Hình 4.3 (a)) và theo chu vi trong Vùng 2 (Hình 4.3 (b)).



Hình 4.4 Hệ số đồng nhất tại bốn góc trong (a) Vùng 1 và (b) Vùng 2.

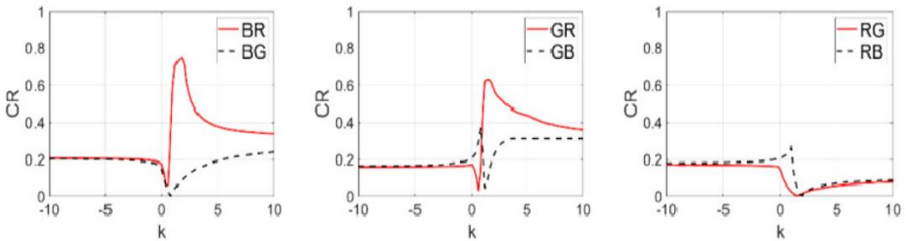
Để định lượng sự phân tán sợi collagen, thông số Độ đồng nhất C (0–1) được sử dụng, với C càng cao, sự phân tán càng thấp. Kết quả từ 24 mẫu CTC cho thấy Vùng 1 có C trung bình thấp (0,06), biểu thị sự phân bố ngẫu nhiên, trong

khi Vùng 2 có C trung bình cao hơn (0,3), cho thấy định hướng rõ hơn (Hình 4.4). Ở Vùng 2, T-test cho thấy góc P ($C = 0,350$) khác biệt có ý nghĩa so với A và R, nhưng không đáng kể so với L (Hình 4.4).

Luận án đã giới thiệu một phương pháp mới dựa trên PLT để định lượng sự định hướng và phân tán collagen trên bề mặt CTC, áp dụng thành công trên 24 mẫu CTC NPG. Phương pháp này tận dụng tính lưỡng chiết của collagen và PLT để giảm nhiễu, với kênh R giảm ảnh hưởng hemoglobin. Phân tích bằng OrientationJ cho thấy collagen ở Vùng 1 có sự phân bố ngẫu nhiên, trong khi Vùng 2 có sự định hướng rõ hơn. Kết quả phù hợp với các nghiên cứu trước đó và cung cấp một phương pháp đơn giản, không xâm lấn để đánh giá sự định hướng collagen trên bề mặt CTC. Tuy nhiên, phương pháp này chưa đánh giá được collagen ở các lớp mô sâu hơn và chỉ tập trung vào các mẫu CTC NPG khỏe mạnh. Nghiên cứu hứa hẹn ứng dụng lâm sàng nhưng cần mở rộng thêm.

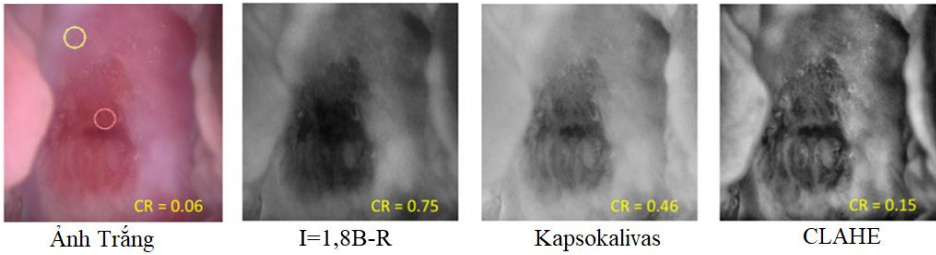
4.3 Kết quả tăng tương phản biểu mô lát-trụ và thảo luận

30 bộ ảnh CTC lộ tuyến được sử dụng để nghiên cứu tăng tương phản CE-SE.



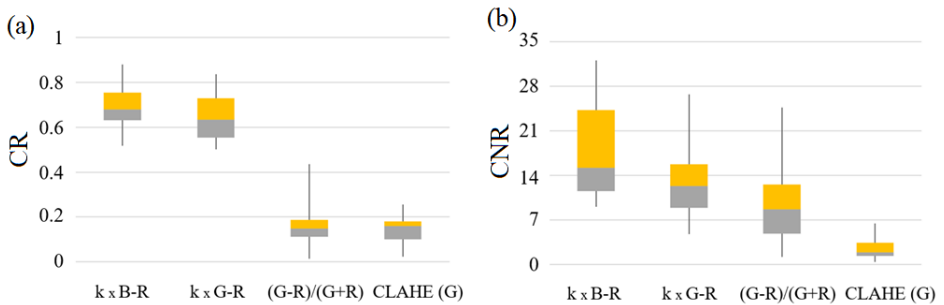
Hình 4.5 Đồ thị liên hệ giữa hệ số tương phản CR giữa CE-SE với trọng số k

Một mẫu CTC có lộ tuyến được sử dụng để minh họa cho kết quả của phương pháp. Hình 4.5 trình bày mối quan hệ giữa CR và trọng số k khi kết hợp các kênh màu. Với mỗi sự kết hợp, CR đạt cực đại tại một giá trị k nhất định, cho thấy trọng số tối ưu để tăng cường sự khác biệt giữa CE và SE. Kết hợp kênh B với R ($CR = 0,75$; $k = 1,8$) và kênh G với R ($CR = 0,64$; $k = 1,4$) cho CR cao hơn so với các cặp khác, do hemoglobin hấp thụ mạnh nhất ở màu xanh dương. Giá trị CR này là cao hơn khi so sánh với phương pháp Kapsokalivas ($CR = 0,46$) và phương pháp CLAHE ($CR = 0,15$) (Hình 4.6).



Hình 4.6 Ảnh kết quả tăng tương phản CE–SE

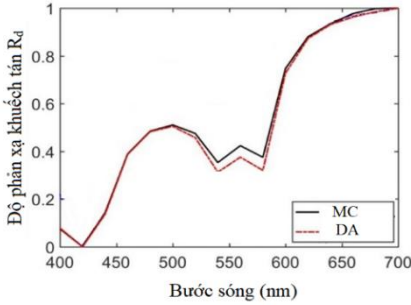
Để đánh giá hiệu quả của thuật toán tăng tương phản CE-SE, các hệ số CR và CNR được tính trên 30 ảnh soi CTC. Kết quả cho thấy phương pháp kết hợp hình ảnh đề xuất đạt CR cao nhất (0,69) so với các phương pháp khác (0,18 và 0,14) (Hình 4.7 (a)), tạo ra sự khác biệt rõ giữa hai loại biểu mô. CNR cũng khẳng định hiệu quả vượt trội, với giá trị $18,0 \pm 7,6$ và $13,3 \pm 6,2$, cao hơn so với các phương pháp Kapsokalivas và CLAHE ($CNR = 9,4 \pm 5,7$ và $2,3 \pm 1,5$) (Hình 4.7 (b)). Điều này cho thấy, phương pháp của luận án cho kết quả hình ảnh có độ tương phản cao và ít nhiễu hơn, giúp phát hiện tổn thương tốt hơn.



Hình 4.7 (a) Hệ số CR và (b) CNR giữa hai vùng SE-CE.

Soi CTC sử dụng ánh sáng phân cực giúp cải thiện hình ảnh và chẩn đoán sớm tổn thương tiền ung thư bằng cách giảm chói sáng và tăng độ chi tiết. Luận án phát triển phương pháp xử lý ảnh mới dựa trên PLC-DR, tối ưu hóa độ tương phản giữa SE và CE bằng cách kết hợp các kênh màu. Kết quả cho thấy phương pháp này tăng đáng kể độ tương phản và giảm nhiễu, giúp phân biệt rõ SE và CE. Kỹ thuật này có tiềm năng ứng dụng lâm sàng nhưng cần thêm nghiên cứu thêm và tự động hóa phân tích để ứng dụng lâm sàng hiệu quả.

4.4 Kết quả đánh giá tỷ lệ hồng cầu trên bề mặt cổ tử cung và thảo luận



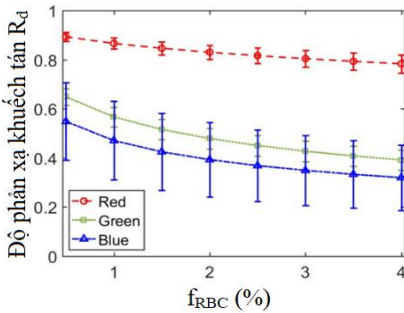
(a)

| Kỹ thuật | CCC |
|-------------------------------------|--------|
| Mô phỏng MC | > 0,95 |
| Đầu dò sợi quang (N. Thekkek) | 0,97 |
| Đầu dò Polartech-nics(J.A.Freeberg) | 0,96 |
| Máy quang phổ DRS (G. Einstein) | 0,84 |

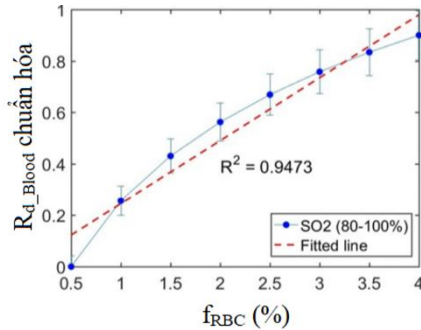
(b)

Hình 4.8 (a) Phổ phản xạ khuếch tán của mô hình CTC hai lớp. (b) CCC giữa phương pháp DA và MC và các kết quả thực nghiệm.

Sự tương đồng giữa mô hình DA và MC được đánh giá thông qua phổ phản xạ khuếch tán. Hình 4.8 (a) minh họa phổ phản xạ của mô hình CTC hai lớp với $f_{RBC} = 3\%$ và $SO_2 = 80\%$ trong khoảng 400-700 nm. Phổ từ hai phương pháp có hình dạng tương đồng với hệ số CCC = 0,998. CCC giữa DA và MC luôn > 0,95 dù thay đổi f_{RBC} và SO_2 . So sánh phổ phản xạ DA với dữ liệu thực nghiệm trong khu vực bước sóng 400-700 nm (Hình 4.8 (b)) cho thấy sự tương đồng cao, khẳng định tính tin cậy của DA cho nghiên cứu sau này.



(a)



(b)

Hình 4.9 (a) Mối tương quan giữa R_d và f_{RBC} ở $SO_2 = 80\%$ ở các vùng bước sóng khác nhau và (b) Phân tích hồi quy tuyến tính của R_{d_Blood} và f_{RBC} .

Hemoglobin hấp thụ mạnh ở bước sóng xanh dương, xanh lá và ít hơn ở đỏ. Hình 4.9 (a) cho thấy R_d tăng ở cả ba vùng bước sóng khi f_{RBC} tăng, và R_d ở vùng đỏ cao hơn đáng kể. Độ lệch chuẩn của R_d ở vùng xanh dương cao, dẫn

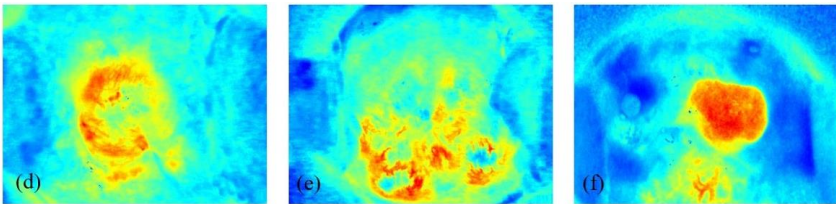
đến dữ liệu kém tin cậy khi định lượng f_{RBC} . Do đó, phép trừ ảnh giữa kênh G và R theo phương trình (4.2) được dùng để đánh giá f_{RBC} khi SO_2 xác định.

$$R_{d_Blood} = \frac{R_d(Red) - R_d(Green)}{R_d(Red) + R_d(Green)} \quad (4.2)$$

Hình 4.9 (b) thể hiện mối quan hệ tuyến tính giữa R_{d_Blood} và f_{RBC} với $R^2 = 0,9473$, cho thấy khả năng ước tính f_{RBC} dựa trên R_{d_Blood} . Mối liên hệ này giúp xác định f_{RBC} và tạo bản đồ phân bố RBC trên ảnh CTC. Bản đồ này được tạo bằng cách tách các kênh màu từ ảnh CTC, ước tính giá trị I_{Blood} và biểu thị f_{RBC} qua phương trình (4.3), điều chỉnh cường độ với hệ số "k" để tối ưu hình ảnh.

$$I_{Blood} = k \cdot \frac{I_{Red} - I_{Green}}{I_{Red} + I_{Green}} \quad (4.3)$$

Hình 4.10 minh họa bản đồ phân bố RBC trong các trường hợp lộ tuyến, nang naboth và polyp. Gam màu càng nóng f_{RBC} càng cao. Có thể thấy f_{RBC} cao hơn ở vùng lộ tuyến so với biểu mô vảy, xung quanh nang naboth và trong polyp, đặc biệt với các mạch máu phân nhánh có thể nhìn thấy rõ trong trường hợp polyp.



Hình 4.10 Bản đồ phân bố không gian của RBC cho các trường hợp lộ tuyến, nang naboth và polyp.

Phương pháp mới định lượng f_{RBC} trên bề mặt CTC bằng kỹ thuật PLC-DR. Phương pháp gồm ba giai đoạn: tính toán R_d trong mô CTC, thu thập hình ảnh bằng PLC, và hiệu chuẩn để tạo bản đồ phân bố RBC. Kết quả cho thấy tương quan mạnh giữa R_{d_Blood} và f_{RBC} , chứng minh khả năng in vivo trong việc ước tính f_{RBC} . Nghiên cứu in vivo trên một số bệnh lý CTC cho thấy PLC-DR cung cấp bản đồ phân bố RBC trực quan, có thể hỗ trợ trong chẩn đoán. Tuy nhiên, hạn chế về kích thước mẫu và cần tính toán thêm về độ nhạy, đặc hiệu. Nghiên cứu mở ra triển vọng trong cải thiện chẩn đoán và theo dõi bệnh lý CTC.

CHƯƠNG 5 KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

5.1 Kết luận

Luận án áp dụng thành công phương pháp PLC-DR trong xây dựng, phát triển các phương pháp mới nhằm cải thiện hình ảnh soi CTC, nâng cao hiệu quả chẩn đoán và điều trị bệnh lý CTC. Các phương pháp mới bao gồm:

- a) Phương pháp đo định hướng và phân tán collagen trong ECM, giúp đánh giá cấu trúc vi mô, chức năng của mô CTC, hỗ trợ chẩn đoán.
- b) Phương pháp cải thiện tương phản SE-CE trong hình ảnh soi CTC, giúp phân biệt rõ ràng hơn các biểu mô, đặc biệt ranh giới lát trụ.
- c) Phương pháp ước tính tỷ lệ hồng cầu (f_{RBC}), tạo bản đồ phân bố hồng cầu, ước lượng tỷ lệ hồng cầu trên hai vùng khác nhau trên CTC.

Luận án đã xây dựng, phát triển một số phương pháp mới trong hỗ trợ chẩn đoán bệnh lý CTC. Tuy nhiên, cần mở rộng quy mô và thử nghiệm lâm sàng để đánh giá hiệu quả và độ chính xác của các phương pháp.

5.2 Hướng phát triển

Luận án đề xuất các hướng phát triển tiếp theo:

- a) Nghiên cứu mối liên hệ giữa hình ảnh PLC-DR và biến đổi mô sinh học trong các bệnh lý CTC như CIN, viêm nhiễm, ... và xây dựng mô hình mô phỏng để dự đoán mối liên hệ này.
- b) Mở rộng nghiên cứu ứng dụng PLC-DR trong các bệnh lý khác.
- c) Hoàn thiện kỹ thuật soi CTC bằng PLC-DR với hệ thống quang học cải tiến, tăng độ phân giải và tương phản hình ảnh, tích hợp nguồn sáng tối ưu.
- d) Thực hiện nghiên cứu lâm sàng để xác định nhóm bệnh nhân phù hợp, đánh giá hiệu quả và so sánh PLC-DR với phương pháp truyền thống.

Luận án "Nghiên cứu ứng dụng phương pháp quang học phân cực kết hợp phổ phản xạ khuếch tán trong hỗ trợ chẩn đoán hình ảnh bệnh lý cổ tử cung" đã đạt được một số kết quả có ý nghĩa khoa học và thực tiễn. Các hướng phát triển sẽ hoàn thiện PLC-DR, mở rộng ứng dụng và nâng cao hiệu quả chẩn đoán, điều trị bệnh lý CTC, góp phần nâng cao chất lượng cuộc sống cho phụ nữ.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

Tạp chí quốc tế

1. **Cat Phan Ngoc Khuong**, Hieu Nguyen Trung, Duc Le Huynh, Quynh Nguyen Ngoc, Hai Pham Thanh, Long Nguyen, Hanh Tran Thi Thu, Tu Ly Anh, and Tien Tran Van, “Application of cross-polarization imaging in distinguishing between squamous and columnar epithelium of the cervix,” *Journal of Innovative Optical Health Sciences, Special Issue on Emerging Technologies in Polarization-Based Biomedical Imaging*, 2343002, 2024, <https://doi.org/10.1142/S1793545823430022>.
2. Vu Quoc Anh, Tran Van Tien, Ly Anh Tu, and **Phan Ngoc Khuong Cat***, “Enhancing Cervical Vascular Pattern Segmentation Based on Mathematical Morphology,” *IFMBE Proceedings 95 (Springer)*, pp. 451-461, 2024, https://doi.org/10.1007/978-3-031-44630-6_37.
3. **Cat Phan Ngoc Khuong**, Dung Nguyen Huu Quang, Hai Pham Thanh, Long Nguyen, Quynh Nguyen Ngoc, Duc Le Huynh, Tien Tran Van, and Tu Ly Anh, “Rapid and efficient characterization of cervical collagen orientation using linearly polarized colposcopic images,” *Journal of Innovative Optical Health Sciences*, 2022, 11, 2022, <https://doi.org/10.1142/S1793545822410012>.

Kỷ yếu hội nghị quốc tế

1. Tien Van Tien Tran, **Khuong Cat Phan Ngoc**, and Anh Tu Ly, “Assessment of Tissue Viability in the ectocervix using linearly polarized colposcopic images,” in *International Symposium on Applied Science 2023 (ISAS 2023)*, Hồ Chí Minh (Vietnam), 2023.
2. Vu Quoc Anh, **Phan Ngoc Khuong Cat**, Tran Van Tien, Tu Tuyet Dung, and Ly Anh Tu, “Segmentation of Vascular Pattern on the Cervical Surface Using Colposcopic Image,” in *The 7-th Academic Conference on Natural Science for Young Scientists, Master and PhD Students from Asean Countries (CASEAN-7)*, Vinh (Việt Nam), 2021.
3. Quoc Anh Vu, **Ngoc Khuong Cat Phan**, Van Tien Tran, and Anh Tu Ly, “Using threshold-Based Method for Cervical Blood Vessels Extraction on Colposcopic Image,” in *International Symposium on Applied Science 2021 (ISAS 2021)*, Hồ Chí Minh (Vietnam), 2021.
4. Nguyễn Hữu Quang Dũng, **Phan Ngọc Khuông Cát**, Nguyễn Thị My Nương, Trần Văn Tiên, Lý Anh Tú, “Nghiên cứu sự định hướng của sợi collagen ở bề mặt cổ tử cung sử dụng phép biến đổi radon,” in *Advances in Applied and Engineering Physics VII*, pp. 86-92, Hanoi (Vietnam), 2021.

Đề tài nghiên cứu khoa học

1. Đề tài Cấp ĐHQG-HCM thuộc Chương trình phát triển Vật lý theo QĐ số 1187/QĐ-TTg: Nghiên cứu ứng dụng quang học mô, hình thái học và trí tuệ nhân tạo trong hỗ trợ chẩn đoán bệnh lý cổ tử cung, mã số: VL2024-20-02 (tham gia).
2. Đề tài Cấp ĐHQG-C: Nghiên cứu các thuật toán phân tích hình ảnh hỗ trợ chẩn đoán bệnh lý cổ tử cung sử dụng ảnh soi kỹ thuật số, mã số: C2023-20-01 (chủ nhiệm, đã nghiệm thu).
3. Đề tài cấp Tỉnh/Thành phố: Hoàn thiện thiết kế chế tạo và ứng dụng thiết bị soi cổ tử cung kỹ thuật số, mã số: 116/2020/HĐ-QPTKHCN (tham gia, đã nghiệm thu).