

**BUILDING AN AUTOMATED MODEL FOR SPERM RECOGNITION AND QUALITY ASSESSMENT BASED ON HALO IMAGES****Pham Thu Huong***Institute of Information Technology, AMST*

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<b>Received:</b> 20/11/2023	The fundamental challenge in the diagnosis and treatment of infertility is the need to perform a quick and accurate analysis, assessment, and classification of sperm quality. There are various methods for assessing the level of sperm DNA fragmentation. The most common method currently is the evaluation of sperm chromatin dispersion (SCD) developed by Fernandez and colleagues. This method is simple, cost-effective, and can be easily carried out using a conventional microscope, making it readily applicable in clinical settings. However, the classification of sperm in halo images remains challenging due to the diversity in sperm shapes and sizes. Therefore, there is a need for new methods to standardize, automate, and expedite the sperm classification process. This paper presents the use of the RetinaNet model for detecting and classifying sperm in halo images. Experimental results show that the RetinaNet model achieves good accuracy in detecting and classifying sperm in halo images. The paper also discusses the challenges and future directions in this field.
<b>Revised:</b> 27/12/2023	
<b>Published:</b> 27/12/2023	
<b>KEYWORDS</b>	
Deep learning	
Computer vision	
Sperm quality	
DNA fragmentation	
RetinaNet	

**XÂY DỰNG MÔ HÌNH TỰ ĐỘNG NHẬN DẠNG, ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG TINH TRÙNG DỰA TRÊN ẢNH HALO****Phạm Thu Hương***Viện Công nghệ thông tin - Viện Khoa học và Công nghệ quân sự*

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
<b>Ngày nhận bài:</b> 20/11/2023	Thách thức cơ bản trong chẩn đoán và điều trị vô sinh đó là việc thực hiện phân tích, đánh giá, phân loại nhanh chóng và chính xác chất lượng tinh trùng. Có nhiều phương pháp đánh giá mức độ đứt gãy ADN tinh trùng. Phương pháp phổ biến nhất hiện nay là khảo sát mức độ phân tán chất nhiễm sắc của tinh trùng (SCD) do Fernandez và cộng sự xây dựng. Đây là phương pháp đơn giản, dễ thực hiện với chi phí phù hợp, có thể đánh giá trên kính hiển vi thông thường nên dễ dàng phổ biến tại các cơ sở lâm sàng. Tuy nhiên, việc phân loại tinh trùng trên ảnh halo vẫn gặp khó khăn do sự đa dạng của hình dạng và kích thước của tinh trùng. Do đó, cần có các phương pháp mới để chuẩn hóa, tự động hóa và đẩy nhanh quá trình phân loại tinh trùng. Bài báo này trình bày việc sử dụng mô hình RetinaNet để phân loại tinh trùng trên ảnh halo. Kết quả thực nghiệm cho thấy mô hình RetinaNet đạt được độ chính xác tốt trong việc phân loại tinh trùng trên ảnh halo. Bài báo cũng đề cập đến những thách thức và hướng phát triển tiếp theo của lĩnh vực này.
<b>Ngày hoàn thiện:</b> 27/12/2023	
<b>Ngày đăng:</b> 27/12/2023	
<b>TỪ KHÓA</b>	
Học sâu	
Thị giác máy tính	
Chất lượng tinh trùng	
Đứt gãy ADN	
RetinaNet	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.9263>Email: [phamhuongit@gmail.com](mailto:phamhuongit@gmail.com)

## 1. Giới thiệu

Vô sinh vẫn luôn là vấn đề sức khỏe sinh sản được sự quan tâm của toàn xã hội. Mặc dù tỷ lệ vô sinh gần như không thay đổi nhưng cùng với sự gia tăng dân số thế giới, số lượng cặp đôi vô sinh đã có sự gia tăng tương ứng từ 42 triệu năm 1991 lên 48,5 triệu vào năm 2010. Tại Việt Nam, theo nghiên cứu của Bệnh viện Phụ sản Trung ương và Đại học Y Hà Nội, tỉ lệ vô sinh ở mức khoảng 7,7% trong đó tỉ lệ vô sinh nam và nữ gần tương đương [1].

Mặc dù vậy, hiện nay, công cụ dùng để chẩn đoán nguyên nhân vô sinh nam phổ biến ở Việt Nam thường chỉ sử dụng tinh dịch đồ. Tuy nhiên, xét nghiệm này chỉ cho phép đánh giá một cách sơ bộ các đặc tính vật lý của tinh dịch và hình thái, mức độ di động của tinh trùng. Điều này vốn dĩ là không đủ vì có đến 10% bệnh nhân nam mắc vô sinh có tinh dịch đồ hoàn toàn bình thường [2]. Do đó, xét nghiệm xác định mức độ đứt gãy ADN tinh trùng [3] được Tổ chức Y tế Thế giới khuyến cáo nên đưa vào xét nghiệm thường quy để đánh giá một cách đầy đủ và toàn diện hơn nguyên nhân dẫn đến tình trạng vô sinh ở nam giới.

Có nhiều phương pháp đánh giá mức độ đứt gãy ADN tinh trùng như phương pháp khảo sát cấu trúc chromatin tinh trùng (Sperm chromatin Structure Assay (SCSA)) [4]; phương pháp đánh dấu đứt gãy ADN bằng các dUTP được xúc tác bởi enzyme terminal deoxynucleotidyl transferase (Terminal deoxynucleotidyl transferase mediated dUTP nick end labeling assay - TUNEL) [5]; phương pháp điện di tế bào đơn (single-cell gel electrophoresis) hay còn gọi là phương pháp COMET [6]; phương pháp khảo sát sự phân tán nhiễm sắc chất của tinh trùng (Sperm chromatin dispersion test - SCD) [7]. Nhưng, dù là SCSA, TUNEL hay COMET, thì đều cần sử dụng máy đếm dòng chảy tế bào (flow cytometry) hoặc kính hiển vi huỳnh quang. Đây là những thiết bị khó có thể xuất hiện trong các phòng xét nghiệm nam học thông thường mà chủ yếu phục vụ cho các nghiên cứu chuyên sâu. Hơn nữa, thời gian để phân tích kết quả cho một mẫu quá dài, khó áp dụng trong thực tiễn lâm sàng.

Phương pháp phổ biến nhất hiện nay là khảo sát mức độ phân tán chất nhiễm sắc của tinh trùng (SCD) do Fernandez và cộng sự xây dựng [8]. Đây là phương pháp đơn giản, dễ thực hiện với chi phí phù hợp, có thể đánh giá trên kính hiển vi thông thường nên dễ dàng phổ biến tại các cơ sở lâm sàng [9]. Phương pháp này dựa trên nguyên lý là cố định mẫu tinh dịch trên gel agarose và xử lý bằng dung dịch acid và muối để loại bỏ các protein nhân. Khi đó ADN của tinh trùng không bị đứt gãy sẽ tạo quang xung quanh lõi nhân tinh trùng khi quan sát dưới kính hiển vi huỳnh quang. Ngược lại, các tế bào có ADN đứt gãy sẽ không tạo quang sáng.

Năm 2006, Fernandez và cộng sự đã cho ra đời bộ xét nghiệm thương mại Halosperm [10]. Halosperm<sup>®</sup> là một bộ chẩn đoán in vitro cho phép đánh giá sự đứt gãy ADN một cách nhanh chóng, dễ dàng và có thể thực hiện mà không cần thiết bị thí nghiệm phức tạp. Halosperm<sup>®</sup> dựa trên kỹ thuật SCD, dựa trên quy trình biến tính ADN có kiểm soát để tạo điều kiện cho việc loại bỏ các protein có trong mỗi tinh trùng. Bộ dụng cụ này chứa dung dịch làm biến tính ADN, dung dịch ly giải để tách protein màng nhân, được đặc trưng ở chỗ dung dịch ly giải không chứa chất tẩy làm biến tính protein và về cơ bản không phá hủy đuôi của tinh trùng, do đó có thể phân biệt chúng với các loại tế bào khác có thể có trong khi xuất tinh, chẳng hạn như bạch cầu. Hình ảnh của quang halo được tạo ra bằng Halosperm<sup>®</sup> có độ tương phản cao và có thể được đánh giá chính xác bằng kính hiển vi thông thường hoặc huỳnh quang. Ngoài ra, Halosperm<sup>®</sup> cho phép hình dung các tinh trùng có chứa ADN bị thoái hóa cao so với các loại tổn thương ít tích cực khác.

Tuy nhiên, quy trình đọc kết quả phụ thuộc nhiều vào người đọc. Kết quả của bộ xét nghiệm hiển thị dưới dạng tinh trùng có quang Halo tương đối bé và khó quan sát. Phân biệt được độ rộng quang Halo cũng là khó khăn lớn đòi hỏi người đọc kết quả phải là người có kĩ năng và nhiều kinh nghiệm trong việc đọc, đánh giá kích thước và hình dạng của halo và phân tích kết quả. Hơn thế nữa, việc đọc kết quả dưới kính hiển vi cũng dễ gây ra sai sót lặp lại trong quá trình quan sát. Quy trình đọc kết quả trên rất nhiều vì trường của kính hiển vi đòi hỏi sự chính xác và cẩn thận, vì kết quả của bước này quyết định đến chẩn đoán về tình trạng tinh trùng của bệnh nhân.

Trong thời đại số hóa và công nghiệp hóa hiện nay, sự cần thiết của việc áp dụng trí tuệ nhân tạo trong y tế đang trở thành một xu hướng phát triển vượt bậc. Đặc biệt, việc ứng dụng trí tuệ nhân tạo trong phân loại và đánh giá chất lượng tinh trùng là một vấn đề mới, rất cần thiết trong chẩn đoán và điều trị vô sinh ở nam giới. Mục tiêu của nghiên cứu này là xây dựng một mô hình tự động nhận dạng, phân loại và đánh giá chất lượng tinh trùng dựa trên ảnh halo với độ chính xác cao.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã thu thập và gán nhãn bộ dữ liệu ảnh halo tại Đại học Y Hà Nội và đề xuất ứng dụng mô hình RetinaNet [11] để tự động nhận dạng, phân loại tinh trùng trên ảnh halo của tinh trùng. Sau đó tự động tính toán tỷ lệ phần trăm tinh trùng có DNA bị phân mảnh, hỗ trợ trong chẩn đoán nguyên nhân vô sinh nam, nguyên nhân sảy thai và thai lưu liên tiếp. Phương pháp này có thể được sử dụng để đánh giá hiệu quả của các liệu pháp vô sinh và để giám sát sự phục hồi của tinh trùng sau khi điều trị. Ngoài ra, bài báo cũng sẽ trình bày kết quả thực nghiệm và thảo luận về hiệu quả của phương pháp đề xuất, từ đó đề xuất hướng phát triển tiếp theo cho lĩnh vực này.

## 2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Xây dựng bộ dữ liệu

Dữ liệu ảnh halo được thu thập từ 157 mẫu tinh dịch của nam giới đến khám và xét nghiệm đứt gãy ADN tinh trùng tại Trung tâm Tư vấn Di truyền, Đại học Y Hà Nội. Đối với mỗi mẫu tinh dịch, sau khi nhuộm tiêu bản, đưa tiêu bản lên kính hiển vi, chụp ảnh từng vi trường trên tiêu bản (ước chừng chụp khoảng 500 tinh trùng có đuôi). Đặt độ phóng đại của vật kính hiển vi là x40. Tất cả các ảnh halo của một bệnh nhân được lưu vào cùng một thư mục. Kết quả thu được bộ dữ liệu gồm 4.005 ảnh chụp halo từ 157 mẫu tinh dịch.

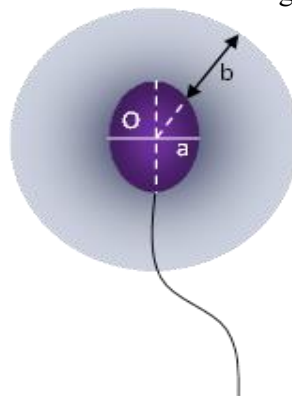
Các bác sĩ đánh giá tinh trùng có bị phân mảnh DNA hay không dựa trên hình ảnh halo của bệnh nhân theo quy tắc sau (minh họa trong Hình 1):

Quầng halo của tinh trùng được xác định như sau (Quy ước: chỉ xác định ở những tế bào có đuôi):

a là đường kính ngang lớn nhất của đầu tinh trùng mà tại đó vuông góc với trục đuôi của tinh trùng.

O là tâm của đầu tinh trùng được xác định là giao điểm của đường kính ngang lớn nhất và đường thẳng trục đuôi tinh trùng.

b là kích thước quầng halo của tinh trùng là khoảng cách lớn nhất được tính từ viền màng nhân đầu tinh trùng đến viền ngoài vùng bắt màu thuốc nhuộm xung quanh nhân. Đường thẳng chứa kích thước này phải đi qua tâm O của đầu tinh trùng.



**Hình 1.** Cách xác định kích thước quầng halo của tinh trùng

Các tinh trùng được xác định sẽ được chia vào 5 nhóm theo tiêu chuẩn sau (minh họa trong Hình 2):

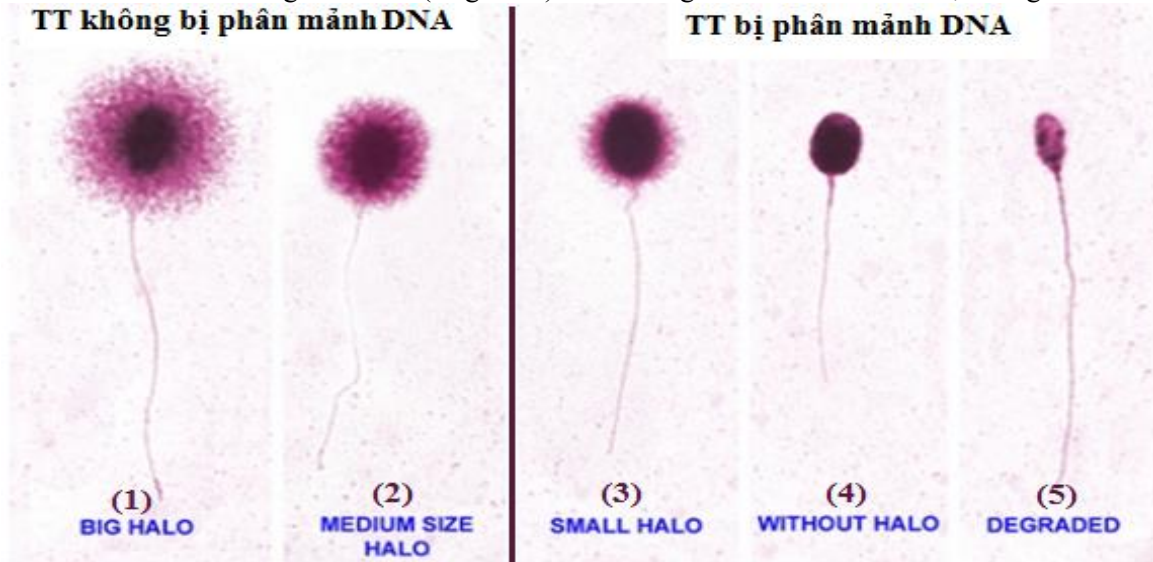
Nhóm 1 - Tinh trùng có quầng halo lớn (Big halo):  $b \geq a$ .

Nhóm 2 - Tinh trùng có quầng halo vừa (Medium halo):  $1/3 a < b < a$ .

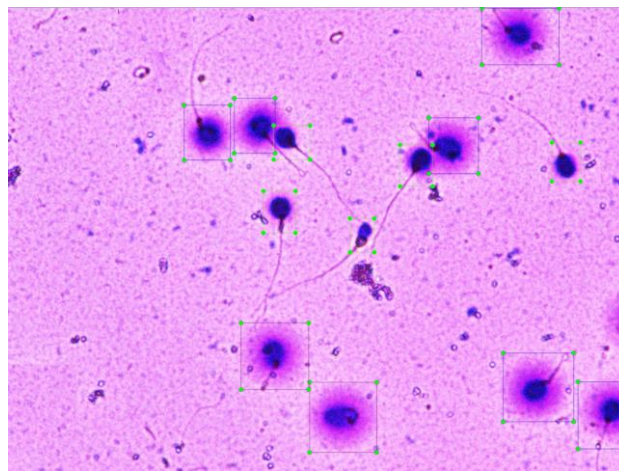
Nhóm 3 - Tinh trùng có quầng halo nhỏ (Small halo):  $0 < b \leq 1/3 a$ .

Nhóm 4 - Tinh trùng không có quầng halo (Without halo)  $b = 0$

Nhóm 5 - Tinh trùng thoái hóa (Degraded): Tinh trùng có nhân bắt màu kém, không đều.



**Hình 2.** Hình ảnh tinh trùng có quầng halo và không có quầng halo: (1) Tinh trùng có quầng halo lớn; (2) Tinh trùng có quầng halo vừa; (3) Tinh trùng có quầng halo nhỏ; (4) Tinh trùng không có quầng halo; (5) Tinh trùng thoái hóa



**Hình 3.** Ảnh halo đã được gán nhãn

Các tinh trùng thuộc nhóm 1 và nhóm 2 được tính là tinh trùng không bị phân mảnh DNA. Các tinh trùng thuộc nhóm 3, 4, 5 được tính là tinh trùng bị phân mảnh DNA; Fragment-bad: là những tinh trùng có quầng halo nhỏ (kích thước halo nhỏ hơn hoặc bằng  $1/3$  kích thước nhân), tinh trùng không có quầng halo và tinh trùng thoái hóa.

Ảnh halo sau khi thu thập đã được các chuyên gia gán nhãn bằng công cụ LabelImg. Hình 3 minh họa về hình ảnh halo đã được gán nhãn. Các tinh trùng có quầng halo lớn và tinh trùng có quầng halo vừa (những tinh trùng có kích thước quầng halo lớn hơn  $1/3$  kích thước nhân) được gán nhãn nhóm good (các bounding box màu tím). Các tinh trùng có quầng halo nhỏ (kích thước quầng halo nhỏ hơn hoặc bằng  $1/3$  kích thước nhân), tinh trùng không có quầng halo và tinh trùng thoái hóa được gán nhãn nhóm bad (các bounding box màu xanh). Các tế bào lạ, nhiễu được gán nhãn nhóm other (các bounding box màu tím nhạt). Lý do gán nhãn thêm nhóm other bên cạnh nhóm good và bad là do các tế bào lạ, nhiễu có hình dáng gần giống với tinh trùng nên rất dễ bị

nhận dạng nhằm vào nhóm tinh trùng (nhóm good và nhóm bad). Việc gán nhãn thêm nhóm other giúp giảm tỉ lệ nhầm lẫn cho mô hình.

## 2.2. Phương pháp đề xuất

Trong nghiên cứu này, tôi sử dụng mạng RetinaNet [11] để xác định và phân loại tinh trùng trên ảnh. Mạng RetinaNet là một trong những mạng nơ-ron sâu phổ biến được sử dụng trong các nhiệm vụ phát hiện đối tượng. RetinaNet được xây dựng dựa trên Feature Pyramid Network (FPN) và ResNet sử dụng Focal loss.

Để thực hiện nhiệm vụ xác định và phân loại tinh trùng trên ảnh, chúng tôi tiến hành các bước như sau:

### • Bước 1: Chuẩn bị dữ liệu

Tiền xử lý ảnh: Ảnh halo cần phải được tiền xử lý để có kích thước phù hợp để đưa vào mô hình. Tùy thuộc vào mạng trích chọn đặc trưng, ảnh được co giãn hoặc căn chỉnh kích thước để đảm bảo rằng nó có kích thước phù hợp. Ví dụ, nếu sử dụng mạng trích chọn đặc trưng ResNet-50 thì cần đưa ảnh về kích thước 244×244 trước khi đưa vào mô hình. Định dạng ảnh được chuyển đổi sang định dạng chuẩn JPEG.

Chia dữ liệu thành tập huấn luyện và tập kiểm tra: Tập huấn luyện được sử dụng để huấn luyện mô hình, tập kiểm tra được sử dụng để đánh giá hiệu suất của mô hình trên dữ liệu mới (các dữ liệu không có trong tập huấn luyện).

Để cải thiện khả năng học của mô hình, trong nghiên cứu có sử dụng một số kỹ thuật tăng cường dữ liệu ảnh, cụ thể: thay đổi độ sáng và độ tương phản (tăng và giảm độ sáng và độ tương phản của ảnh trong khoảng từ -0,2 đến +0,2 để tạo ra các phiên bản mới của ảnh); lật ảnh, xoay ảnh trong giới hạn 10 độ so với ảnh gốc.

### • Bước 2: Xây dựng và huấn luyện mô hình RetinaNet

RetinaNet là một mô hình phát hiện đối tượng theo cách tiếp cận một giai đoạn (one-stage), được nghiên cứu bởi Facebook AI Research (FAIR). Các mô hình phát hiện đối tượng được chia thành hai nhóm là các phương pháp một giai đoạn và các phương pháp hai giai đoạn. Trong đó các phương pháp một giai đoạn thường chạy nhanh hơn và các mô hình hai giai đoạn có độ chính xác cao hơn. Do đối với bài toán phân tích ảnh halo, yếu tố chính xác được ưu tiên hơn yếu tố tốc độ nên nghiên cứu này khảo sát việc ứng dụng mô hình một giai đoạn cho bài toán. Mô hình RetinaNet sử dụng Focal loss để giải quyết vấn đề mất cân bằng giữa đối tượng và phông nền (số điểm ảnh trên phông nền thường lớn hơn rất nhiều so với số điểm ảnh của các đối tượng). Trong mô hình này, ResNet được sử dụng để trích xuất đặc trưng sâu và cấu trúc mạng Feature Pyramid Network cho phép học đặc trưng ở nhiều tỷ lệ ảnh khác nhau.

Mô hình RetinaNet được huấn luyện trên tập dữ liệu train, với mục đích học các đặc trưng và cách xác định, phân loại các loại tinh trùng. Quá trình huấn luyện này bao gồm cập nhật các trọng số (weights) của mô hình để tối ưu hóa độ chính xác trên tập dữ liệu huấn luyện, thông qua thuật toán lan truyền ngược (backpropagation).

### • Bước 3: Đánh giá mô hình

Mô hình RetinaNet được huấn luyện trên tập dữ liệu ảnh halo để học các đặc trưng và cách xác định, phân loại các loại tinh trùng. Quá trình huấn luyện này sẽ tạo ra một mô hình đã được tinh chỉnh để xác định, phân loại tinh trùng trên ảnh halo. Để đánh giá mô hình, ta sử dụng độ đo mAP để xác định hiệu suất của mô hình.

Độ đo mAP (mean average precision) [12] là một trong những độ đo thông dụng được sử dụng để đánh giá hiệu quả của mô hình trong các bài toán phát hiện đối tượng. Đối với mô hình RetinaNet, mAP được tính toán bằng cách tính trung bình các giá trị AP (average precision) của các lớp đối tượng trong tập dữ liệu kiểm tra.

AP là một độ đo khác được tính toán bằng cách tính diện tích dưới đường cong Precision-Recall (P-R) của một lớp đối tượng. P-R là một đường cong thể hiện mức độ đúng (precision) và độ bao phủ (recall) của một mô hình trong việc phân loại đối tượng. Precision là tỷ lệ giữa số

lượng đối tượng được phân loại đúng và tổng số đối tượng được phân loại. Recall là tỷ lệ giữa số lượng đối tượng được phân loại đúng và tổng số đối tượng trong tập dữ liệu.

Sau đó, giá trị AP được tính bằng cách tính diện tích dưới đường cong P-R và được sử dụng để tính toán mAP bằng cách lấy trung bình của các giá trị AP của các lớp đối tượng. Công thức tính mAP như sau:

$$mAP = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N AP_i \quad (1)$$

Trong đó,  $AP_i$  là giá trị AP của lớp đối tượng thứ  $i$  và  $N$  là tổng số lớp đối tượng.

Do đó, mAP là một độ đo quan trọng để đánh giá hiệu quả của mô hình RetinaNet trong bài toán xác định, phân loại đối tượng. Khi giá trị mAP cao, điều đó cho thấy mô hình có khả năng phân loại các đối tượng với độ chính xác cao và đáng tin cậy hơn. Các tiêu chí AP và mAP có giá trị trong khoảng từ 0 đến 1, trong đó đạt giá trị 1 khi tất cả các dự đoán của mô hình đều đúng, 0 khi tất cả các dự đoán của mô hình đều sai. Do đó, giá trị mAP càng gần 1 thì mô hình càng chính xác hơn.

### 3. Thử nghiệm, đánh giá

Trong thử nghiệm này chúng tôi sử dụng mô hình RetinaNet với mạng trích chọn đặc trưng ResNet-50. Bộ dữ liệu gồm 4.005 ảnh được chia ngẫu nhiên thành 2 tập độc lập theo tỷ lệ 80:20, cụ thể như sau: tập huấn luyện gồm 3.205 ảnh và tập kiểm tra gồm 800 ảnh. Mô hình RetinaNet sau khi được huấn luyện đã phân loại tinh trùng trên ảnh halo của tập kiểm tra cho kết quả khá tốt được thể hiện rõ ở Bảng 1. Điểm nổi bật nhất là độ chính xác AP của lớp “good” (tinh trùng không bị phân mảnh DNA) là 0,9493, cho thấy rằng mô hình có thể phân loại chính xác hầu hết các tinh trùng không bị phân mảnh DNA. Tuy nhiên, một số tinh trùng vẫn bị phân loại nhầm vào lớp “bad”, với độ chính xác AP là 0,8908. Điều này cho thấy rằng mô hình vẫn cần được cải thiện để đạt được độ chính xác tốt hơn trong việc phân loại tinh trùng. Mức độ chính xác AP của lớp “other” cũng khá cao (0,7958), cho thấy rằng mô hình có khả năng phân loại các đối tượng khác ngoài tinh trùng. Kết quả mAP sử dụng trọng số trung bình của độ chính xác trong các lớp là 0,9070, cho thấy rằng mô hình đã phân loại các lớp tốt và đáng tin cậy. Tóm lại, mô hình RetinaNet với mạng trích chọn đặc trưng ResNet-50 đã cho kết quả phân loại tinh trùng trên ảnh halo khá ấn tượng, nhưng vẫn cần được cải thiện để đạt được độ chính xác cao hơn.

**Bảng 1.** Kết quả nhận dạng tinh trùng trên tập dữ liệu thử nghiệm

Lớp	AP
good	0,9493
bad	0,8908
other	0,7958
<b>mAP</b>	<b>0,9070</b>

### 4. Kết luận

Trong bài báo này, tôi đã thu thập và xây dựng một bộ dữ liệu ảnh halo có gán nhãn đáng tin cậy để phát triển các mô hình học máy nhằm nhận dạng, phân loại, đánh giá tinh trùng tự động và chính xác. Đồng thời, tiến hành thử nghiệm sử dụng mạng RetinaNet để phân loại tinh trùng trên ảnh halo, nhằm giúp cho quá trình chẩn đoán vô sinh nam được đơn giản hóa và chính xác hơn. Mạng RetinaNet đã đạt được độ chính xác cao trong việc phân loại tinh trùng, cho thấy tiềm năng của việc áp dụng các kỹ thuật học sâu vào lĩnh vực sinh sản và y tế.

Tuy nhiên, bài báo mới chỉ khảo sát một mô hình học sâu, áp dụng trên bộ dữ liệu tại Đại học Y Hà Nội. Ngoài ra, trong thực tế, xuất hiện vấn đề sự khác biệt về hình ảnh halo ở các cơ sở y tế khác nhau. Khi khảo sát hình ảnh tại cơ sở y tế khác như Học viện Quân y, hình ảnh thu nhận được có sự khác biệt so với hình ảnh của Đại học Y Hà Nội. Sự khác biệt này là do các cơ sở y tế sử dụng thuốc nhuộm khác nhau, kính hiển vi, thiết bị thu nhận hình ảnh khác nhau. Việc nghiên

cứu tiếp theo cần tập trung vào việc thử nghiệm, đánh giá các mô hình học sâu khác và xây dựng một mô hình mạnh mẽ hơn, có khả năng nhận dạng cho hình ảnh halo ở các cơ sở y tế khác nhau.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] V. T. Nguyen, V. T. Ngo, and T. N. P. Ngo, *Infertility epidemiology and treatment methods*, Medical Publishing House, 2012.
- [2] P. Q. M. Ma, T. T. A. Nguyen, and T. T. H. Nguyen, "Investigation of the correlation between semen parameters and sperm DNA fragmentation index using the Neutral Comet assay," *The 3<sup>rd</sup> Conference on Male Infertility and Andrology*, Hanoi, 9/2014.
- [3] Z. Caliskan, C. Kucukgergin, G. Aktan, A. Kadioglu, and G. Ozdemirler, "Evaluation of sperm DNA fragmentation in male infertility," *Andrologia*, vol. 54, no. 11, 2022, Art. no. e14587.
- [4] D. P. Evenson, "Sperm chromatin structure assay (SCSA®)," in *Spermatogenesis: methods and protocols*, Springer, 2013, pp. 147-164.
- [5] R. Sharma, G. Ahmad, S. C. Esteves, and A. Agarwal, "Terminal deoxynucleotidyl transferase dUTP nick end labeling (TUNEL) assay using bench top flow cytometer for evaluation of sperm DNA fragmentation in fertility laboratories: protocol, reference values, and quality control," *Journal of assisted reproduction and genetics*, vol. 33, pp. 291-300, 2016.
- [6] I. D. Morris, S. Ilott, L. Dixon, and D. R. Brison, "The spectrum of DNA damage in human sperm assessed by single cell gel electrophoresis (Comet assay) and its relationship to fertilization and embryo development," *Human reproduction*, vol. 17, no. 4, pp. 990-998, 2002.
- [7] J. L. Fernández, L. Muriel, M. T. Rivero, V. Goyanes, R. Vazquez, and J. G. Alvarez, "The sperm chromatin dispersion test: a simple method for the determination of sperm DNA fragmentation," *Journal of Andrology*, vol. 24, no. 1, pp.59-66, 2003.
- [8] J. L. Fernandez, L. Muriel, M. T. Rivero *et al.*, "The sperm chromatin dispersion test: a simple method for the determination of sperm ADN fragmentation," *J. Androl.*, vol. 24, no. 1, pp. 59-66, 2003.
- [9] A. S. Rex and J. Fedder, "ADN fragmentation in spermatozoa: a historical review," *Andrology*, vol. 5, no. 4, pp. 622-630, 2017.
- [10] J. L. Fernandez, L. Muriel, V. Goyanes *et al.*, "Simple determination of human sperm ADN fragmentation with an improved sperm chromatin dispersion test," *Fertil Steril*, vol. 84, no. 4, pp. 833-842, 2005.
- [11] T. Y. Lin, P. Goyal, R. Girshick, K. He, and P. Dollár, "Focal Loss for Dense Object Detection," *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 2017, pp. 2980-2988.
- [12] R. Padilla, S. L. Netto, and E. A. B. Da Silva, "A survey on performance metrics for object-detection algorithms," *In 2020 International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP)*, IEEE, July, 2020, pp. 237-242.