

Trí tuệ nhân tạo trong dự đoán và chẩn đoán các biến chứng của bệnh đái tháo đường

Artificial Intelligence in Predicting and Diagnosing Diabetic Complications

Phạm Văn Huệ^{a*}, Nguyễn Tất Dũng^a, Nguyễn Thị Hằng^b, Đặng Quốc Kha^a, Huỳnh Văn Quý^a,
Luu Minh Đức^a

Pham Van Hue^a, Nguyen Tat Dung^a, Nguyen Thi Hang^b, Quoc Dang Kha^a, Huynh Van Quy^a,
Luu Minh Duc^a

^aBệnh viện Trung ương Huế, thành phố Huế, Việt Nam

^aHue Central Hospital, Hue city, Vietnam

^bTrường Đại học Y Dược Huế, thành phố Huế, Việt Nam

^bHue University Of Medicine and Pharmacy, Hue city, Vietnam

(Ngày nhận bài: 16/09/2025, ngày phản biện xong: 13/10/2025, ngày chấp nhận đăng: 08/11/2025)

Tóm tắt

Mục tiêu của điều trị bệnh đái tháo đường hiện nay là kiểm soát tốt đường huyết, ngăn ngừa và làm chậm sự phát triển của các biến chứng, đồng thời cải thiện chất lượng sống cho người bệnh. Trong những năm gần đây, việc ứng dụng các thiết bị thông minh trong quản lý bệnh tiểu đường đã gia tăng đáng kể. Những công nghệ này được thiết kế nhằm hỗ trợ bệnh nhân tiểu đường kiểm soát hiệu quả hơn mức đường huyết, đảm bảo sự ổn định và dự đoán kịp thời các biến chứng nguy hiểm góp phần cải thiện chất lượng cuộc sống. Trí tuệ nhân tạo có thể sử dụng dữ liệu thực tế để xây dựng các mô hình dự đoán và chẩn đoán liên quan đến bệnh đái tháo đường và các biến chứng của nó. Bài viết này cung cấp một cách nhìn tổng thể về ứng dụng trí tuệ nhân tạo trong dự đoán và chẩn đoán một số các biến chứng của bệnh lý đái tháo đường.

Từ khóa: Kiểm soát đường huyết, biến chứng đái tháo đường, thiết bị thông minh, dự đoán và chẩn đoán, trí tuệ nhân tạo

Abstract

The primary objective in managing diabetes is to achieve optimal blood glucose control, prevent and delay the progression of complications, and enhance patients' quality of life. In recent years, the adoption of smart devices for diabetes management has increased significantly. These technologies are designed to support diabetes patients by improving blood glucose stability and predicting dangerous complications in a timely manner, thereby improving their quality of life. Artificial intelligence (AI) utilizes real-world data to create predictive and diagnostic models associated with diabetes and its complications. This article provides an overview of how AI can be applied to predict and diagnose various complications related to diabetes.

Keywords: Blood glucose control, diabetic complications, smart devices, prediction and diagnosis, artificial intelligence

*Tác giả liên hệ: Phạm Văn Huệ
Email: huephamiris@gmail.com

1. Giới thiệu

Mục tiêu điều trị của bệnh đái tháo đường là kiểm soát đường huyết và các biến chứng của bệnh đái tháo đường. Giám sát và điều trị các biến chứng liên quan đến bệnh tiểu đường là một phần quan trọng của việc chăm sóc thường xuyên cho bệnh nhân đái tháo đường. Trí tuệ nhân tạo là một lĩnh vực đang phát triển nhanh chóng, các ứng dụng của nó đối với bệnh đái tháo đường có thể cải cách cách tiếp cận chẩn đoán và quản lý tình trạng bệnh lý mãn tính này [1].

Các nguyên tắc của học máy được sử dụng để xây dựng các thuật toán nhằm hỗ trợ các mô hình dự đoán nguy cơ phát triển bệnh đái tháo đường hoặc các biến chứng do hậu quả của nó. Việc quan tâm trong chăm sóc sức khỏe của người bệnh đái tháo đường bằng các dụng cụ thiết bị hỗ trợ của công nghệ hiện đại đã tạo ra một lượng lớn dữ liệu. Khi các công cụ như thiết bị đeo, ứng dụng di động, các cuộc thăm khám và nghiên cứu khoa học ngày càng phát triển, ngày càng có nhiều bệnh nhân và nhà cung cấp dịch vụ y tế có quyền truy cập vào các nguồn dữ liệu này. Mỗi quan tâm về việc áp dụng các phương pháp phân tích và khoa học dữ liệu tiên tiến vào nguồn dữ liệu đó theo thời gian càng gia tăng. Trí tuệ nhân tạo với các thuật toán như học máy, học sâu, xử lý ngôn ngữ tự nhiên, và cách tiếp cận như hồi quy logistic, rừng ngẫu nhiên đang giúp cải thiện và nâng cao chất lượng chăm sóc cho người bệnh đái tháo đường trên toàn cầu [2].

Các nhà nghiên cứu trên khắp thế giới đang xác định các ứng dụng mới của AI trong bệnh đái tháo đường từ sàng lọc, dự đoán, chẩn đoán đến điều trị và quản lý bệnh đi kèm. Trong lĩnh vực nội tiết, bệnh đái tháo đường và các biến chứng liên quan đến bệnh đái tháo đường có số lượng bằng chứng lớn nhất đó là điều kiện để ứng dụng công nghệ AI trong việc phát hiện, dự đoán và đánh giá rủi ro bệnh [3].

Gần đây, AI đã được ứng dụng để dự đoán và chẩn đoán các biến chứng quan trọng của bệnh

đái tháo đường thường gặp bao gồm (1) đái tháo đường thai kỳ, (2) hạ đường huyết nội viện, (3) bệnh võng mạc đái tháo đường, (4) loét bàn chân do đái tháo đường, và (5) bệnh thận do đái tháo đường. Đối với mỗi biến chứng bài viết này trình bày một cách nhìn tổng quan của các nhà nghiên cứu ứng dụng AI tập trung vào tầm quan trọng của việc dự đoán một biến chứng trước khi nó xảy ra hoặc chẩn đoán sớm một tình trạng hiện có dựa trên việc phân tích một bộ dữ liệu phức tạp, cũng như những rào cản tiềm ẩn đối với các ứng dụng AI.

2. AI trong dự đoán đái tháo đường thai kỳ

Đái tháo đường thai kỳ (Gestational Diabetes Mellitus - GDM) là tình trạng bệnh lý đặc trưng bởi rối loạn dung nạp glucose lần đầu được phát hiện trong thai kỳ. Đây là một trong những biến chứng phổ biến nhất khi mang thai, ảnh hưởng đến khoảng 15% thai phụ trên toàn cầu, gây hậu quả nghiêm trọng cho cả mẹ và thai nhi. GDM có thể dẫn đến các biến chứng chu sinh như thai chết lưu, sinh non, thai to, tăng insulin máu ở thai nhi, và hạ đường huyết lâm sàng ở trẻ sơ sinh [4]. Những thai nhi phát triển trong môi trường tăng đường huyết có nguy cơ cao mắc các bệnh lý mạn tính như béo phì, đái tháo đường, và bệnh tim mạch trong tương lai [5], [6]. GDM thường được chẩn đoán trong giai đoạn từ tuần thứ 24 – 28 của thai kỳ, việc sử dụng AI để dự đoán sớm những bệnh nhân có nguy cơ mắc GDM mang lại cơ hội can thiệp sớm hơn để ngăn ngừa những biến chứng này và các biện pháp can thiệp sớm đã chứng minh hiệu quả trong việc giảm thiểu ảnh hưởng tiêu cực của bệnh đến cả mẹ và con.

Trí tuệ nhân tạo đã chứng minh khả năng nâng cao độ chính xác trong việc dự đoán đái tháo đường thai kỳ so với các phương pháp truyền thống dựa trên yếu tố nguy cơ lâm sàng, với AUROC (Area Under the Receiver Operating Characteristic curve) đạt 0.85 [7]. Mặc dù chưa xác định được thuật toán AI tối ưu hay tập hợp yếu tố cụ thể nên đưa vào mô hình,

các mô hình phi hồi quy logistic cho thấy hiệu quả cao hơn so với chỉ sử dụng các yếu tố lâm sàng. Các yếu tố thường bao gồm trong mô hình này là tuổi mẹ, tiền sử gia đình mắc bệnh, chỉ số khối cơ thể, và mức đường huyết lúc đói [8].

Các nghiên cứu trước đã chỉ ra rằng việc chọn loại và số lượng yếu tố, cũng như đặc điểm dân số, có thể tạo ra sự đánh đổi giữa độ chính xác và tính khả dụng lâm sàng. Việc sử dụng dữ liệu phòng thí nghiệm chi tiết và di truyền học có thể tăng độ chính xác của AI, nhưng giảm tính khả dụng trong thực hành. Ngược lại, dữ liệu từ chăm sóc tiền sản thông thường có thể dễ ứng dụng hơn nhưng ảnh hưởng đến độ chính xác. Đối với các nhóm dân số khác nhau, sử dụng dữ liệu từ nhóm nguy cơ cao có thể tăng độ chính xác nhưng giảm tính tổng quát, trong khi dữ liệu từ dân số không chọn lọc tăng tính tổng quát nhưng làm giảm độ chính xác [9], [10].

Ngoài ra, việc tích hợp dữ liệu từ thiết bị đo đường huyết liên tục (Continuous Glucose Monitoring - CGM), ngày càng phổ biến, có thể cải thiện khả năng dự đoán của AI mà vẫn đảm bảo khả năng ứng dụng lâm sàng [11]. Tuy nhiên, cần thêm các nghiên cứu lớn đa quốc gia với dân số đa dạng để cải thiện khả năng dự đoán và đảm bảo không có thiên lệch nào liên quan đến chủng tộc hoặc các yếu tố khác.

3. AI trong dự đoán hạ đường huyết nội viện

Hạ đường huyết nội viện là tác dụng phụ thường gặp nhất trong điều trị bệnh đái tháo đường. Nó liên quan đến việc tăng tỷ lệ mắc bệnh và tử vong, thời gian nằm viện, tái nhập viện và chi phí chăm sóc sức khỏe. Hạ đường huyết thường có thể phòng ngừa được. Phần lớn bệnh nhân đái tháo đường phải nhập viện vì những lý do khác nhau ngoài việc kiểm soát đường máu.

Trong môi trường bệnh viện, việc phát hiện và phòng ngừa hạ đường huyết do insulin hoặc các liệu pháp hạ đường huyết khác gặp nhiều

thách thức. Bệnh nhân nội trú thường có một hoặc nhiều yếu tố nguy cơ dẫn đến hạ đường huyết, bao gồm tuổi cao, suy giảm chức năng thận, bệnh lý gan, giảm khẩu phần ăn, hoặc trạng thái nhịn ăn hoàn toàn, và những yếu tố này có thể thay đổi trong quá trình điều trị [12].

Các yếu tố ảnh hưởng đến nguy cơ hạ đường huyết do can thiệp y khoa rất đa dạng, bao gồm sự điều chỉnh dịch truyền có chứa dextrose, giảm dần liều corticosteroid, gián đoạn nuôi dưỡng qua đường tĩnh mạch hoặc qua ống, bất đồng thời điểm đo đường huyết mao mạch với thời gian dùng insulin và bữa ăn, lạm dụng thang điều chỉnh insulin, và tích lũy tác dụng của insulin [13]. Những yếu tố này đòi hỏi sự theo dõi sát sao và điều chỉnh phù hợp để giảm thiểu nguy cơ hạ đường huyết trong thực hành lâm sàng.

Trong suốt thập kỷ qua, ngày càng có nhiều sự quan tâm đến việc tận dụng dữ liệu hồ sơ sức khỏe điện tử (Electronic Health Records - EHR) quy mô lớn để phát triển mô hình dự đoán hạ đường huyết bằng thuật toán học máy. Bằng cách tích hợp số lượng lớn biến số dự báo có tác động đến cân bằng đường huyết, từ các quần thể bệnh nhân rất lớn, công nghệ trí tuệ nhân tạo có thể lấp đầy khoảng trống bằng chứng trong thực hành lâm sàng, giúp xác định và cân nhắc các yếu tố lâm sàng ảnh hưởng đến đường huyết mà các bác sĩ khó nhận biết chỉ dựa vào kinh nghiệm lâm sàng [14].

Nhiều kỹ thuật học máy đã được ứng dụng để phát triển mô hình dự đoán hạ đường huyết trên cả hai nhóm bệnh nhân trong và ngoài đơn vị chăm sóc tích cực (Intensive Care Unit - ICU) bao gồm Gradient Boosting [15], Random Forest Classification, Recurrent Neural Network, và Logistic Regression [16]. Độ phân biệt của mô hình trong dự đoán hạ đường huyết đạt AUROC ở nhiều mức khác nhau: từ 0.60–0.69, 0.70–0.79, 0.80–0.89, và ≥ 0.90 trong một số nghiên cứu [17], [18], [19].

Các mô hình cây quyết định như Gradient Boosting và Random Forest cho thấy hiệu quả cao hơn trong dự đoán kết cục hiểm gặp này. Các nghiên cứu cũng có sự khác biệt về khoảng thời gian dự báo, từ 2–7 giờ [20], 24 giờ tiếp theo, vài ngày đầu tiên của quá trình nhập viện, hoặc bất kỳ thời điểm nào trong suốt thời gian nằm viện [21].

4. AI trong chẩn đoán bệnh võng mạc đái tháo đường

Việc triển khai AI vào quy trình sàng lọc bệnh võng mạc đái tháo đường (Diabetic Retinopathy - DR) giúp cải thiện tính chính xác chẩn đoán, giảm tỷ lệ bỏ sót tổn thương giai đoạn sớm, và tối ưu hóa hiệu quả sàng lọc trên quy mô lớn, đặc biệt trong bối cảnh số lượng bệnh nhân đái tháo đường tăng nhanh trên toàn cầu.

Các hệ thống trí tuệ nhân tạo sử dụng công nghệ chụp ảnh đáy mắt kỹ thuật số có độ phân giải cao đã được ứng dụng trong sàng lọc bệnh lý võng mạc đái tháo đường. Những hệ thống này dựa trên thuật toán học sâu để phân tích hình ảnh võng mạc, nhận diện các dấu hiệu bệnh lý vi mạch như vi phình mạch, xuất huyết võng mạc, tân mạch, và phù hoàng điểm những tổn thương đặc trưng trong tiến triển của DR [22].

Hai hệ thống trí tuệ nhân tạo tự động hoàn toàn trong sàng lọc bệnh lý võng mạc đái tháo đường mà không cần sự giám sát của con người đã được Cục Quản lý Thực phẩm và Dược phẩm Hoa Kỳ (FDA) phê duyệt.

Hệ thống IDx-DR (AI-based autonomous diabetic retinopathy screening system – hệ thống sàng lọc bệnh võng mạc đái tháo đường tự động dựa trên AI) là một hệ thống sàng lọc điểm chăm sóc dựa trên AI, được FDA cấp phép với độ nhạy 87%, độ đặc hiệu 90%, và khả năng phân tích hình ảnh đạt 96% trong việc phát hiện DR mức độ trung bình trở lên [23]. Hệ thống EyeArt (AI-based autonomous diabetic retinopathy screening system – hệ thống sàng lọc bệnh võng mạc đái tháo đường tự động dựa trên AI) cũng là

một hệ thống AI đã được FDA phê duyệt, cho phép sàng lọc điểm chăm sóc với độ nhạy 96%, độ đặc hiệu 88%, và khả năng phân tích hình ảnh đạt 97% trong việc phát hiện bệnh lý võng mạc mức độ trung bình trở lên [24].

Không giống như IDx-DR, EyeArt có thể phát hiện võng mạc đái tháo đường có nguy cơ đe dọa thị lực với độ nhạy 97% và độ đặc hiệu 90%, đồng thời cung cấp kết quả sàng lọc theo từng mắt thay vì tổng thể bệnh nhân.

Các nhà nghiên cứu cũng bày tỏ một số lo ngại liên quan đến: (1) sự thiếu chi tiết trong phân loại tổn thương [25], (2) khả năng đánh giá các bệnh lý võng mạc không do đái tháo đường và bệnh glaucoma, và (3) cơ chế xác định mức độ tổn thương võng mạc của thuật toán, vốn dựa trên nhiều đặc điểm khác nhau từ hình ảnh đáy mắt. Công nghệ xử lý hình ảnh này tạo ra một hình ảnh hai chiều, mô phỏng cấu trúc ba chiều của võng mạc, từ đó cho phép AI trích xuất nhiều đặc điểm hình thái học hỗ trợ chẩn đoán DR [26]. Một trong những yếu tố quan trọng có thể được nhận diện bởi hệ thống chẩn đoán AI là mô hình hóa hệ thống vi mạch võng mạc, giúp xác định mức độ bệnh lý.

5. AI chẩn đoán loét bàn chân đái tháo đường

Các thuật toán học máy hiện tại có thể thực hiện ba nhiệm vụ chính trong phân tích hình ảnh loét bàn chân đái tháo đường (Diabetic Foot Ulcers - DFU): (1) nhận diện tổn thương, xác định xem hình ảnh có chứa vết loét bàn chân đái tháo đường hay không; (2) xác định vị trí tổn thương, khoanh vùng khu vực chứa vết loét trên ảnh để hỗ trợ bác sĩ lâm sàng theo dõi tiến triển bệnh; (3) phân đoạn đường viền tổn thương, xác định chính xác biên giới của vết loét, giúp cải thiện đánh giá kích thước, mức độ tổn thương và lập kế hoạch điều trị tối ưu.

Trong thập kỷ qua, các thuật toán học máy đã được ứng dụng trong quản lý loét bàn chân đái tháo đường [27]. Hiện tại, các thuật toán học

máy tiên tiến có khả năng phát hiện, xác định vị trí, và phân đoạn tổn thương loét bàn chân trên hình ảnh y khoa.

Yap et al. [28] đã phát triển một ứng dụng giúp xác định liệu một hình ảnh có chứa vết loét bàn chân đái tháo đường hay không, hỗ trợ đáng kể cho các bác sĩ lâm sàng ở những khu vực thiếu đào tạo về quản lý DFU, cũng như phục vụ cho bệnh nhân bị suy giảm thị lực.

Stefanopoulos et al.[29] đã sử dụng học máy để phân tích hồi cứu dữ liệu từ Nationwide Inpatient Sample, một cơ sở dữ liệu bao gồm khoảng 20% tổng số ca nhập viện tại Hoa Kỳ. Nghiên cứu của họ nhận diện những bệnh nhân mắc DFU có nhiều yếu tố nguy cơ khác nhau, bao gồm viêm mô tế bào, khớp Charcot, bệnh động mạch ngoại biên, đái tháo đường không kiểm soát, bệnh mạch máu ngoại biên, và giới tính nam.

Bằng cách kết hợp sáu yếu tố nguy cơ này, họ đã phát triển một thuật toán dự đoán khả năng mắc DFU với độ chính xác đạt 79.8%, mở ra tiềm năng cải thiện sàng lọc và quản lý loét bàn chân do bệnh đái tháo đường. Tuy nhiên, để có thể đạt được dự đoán chính xác dựa trên hình ảnh phổ ánh sáng khả kiến, cần có một tập dữ liệu lớn được chú thích lâm sàng nhằm huấn luyện thuật toán mới, đảm bảo khả năng nhận diện sớm tổn thương và hỗ trợ can thiệp điều trị kịp thời, từ đó giảm nguy cơ tiến triển loét bàn chân và cải thiện tiên lượng bệnh nhân.

6. AI chẩn đoán bệnh thận đái tháo đường

Bệnh thận đái tháo đường (Diabetic Nephropathy - DN) là một hội chứng lâm sàng đặc trưng bởi tình trạng albumin niệu và suy giảm chức năng thận tiến triển. Biến chứng thận của bệnh đái tháo đường là nguyên nhân hàng đầu gây bệnh thận giai đoạn cuối [30], chiếm khoảng 50% số ca bệnh thận giai đoạn cuối tại các quốc gia phát triển.

Khi DN tiến triển đến bệnh thận giai đoạn cuối, bệnh nhân có thể phải chạy thận nhân tạo, ghép

thận, hoặc đối mặt với nguy cơ tử vong. Khoảng 50% bệnh nhân đái tháo đường có thể mắc DN, và bệnh lý này có liên quan mật thiết đến tăng nguy cơ mắc bệnh tim mạch, cũng như gia tăng tỷ lệ tử vong do biến chứng tim mạch [31].

Phát hiện sớm DN có ý nghĩa quan trọng trong việc triển khai các biện pháp bảo vệ thận, nhằm ngăn chặn tiến triển bệnh và cải thiện tiên lượng cho bệnh nhân. Hiện nay, các thang điểm đánh giá nguy cơ DN đã được thiết lập dựa trên thông tin nhân khẩu học, bệnh lý nền, và các dữ liệu lâm sàng để hỗ trợ dự báo nguy cơ và điều trị hiệu quả.

Trí tuệ nhân tạo đã được ứng dụng trong phân tích dự đoán bệnh thận đái tháo đường trên 10 nhóm bệnh nhân mắc đái tháo đường type 2 [32], [33]. Các mô hình AI sử dụng nhiều biến số đầu vào, bao gồm nhân khẩu học, dấu hiệu sinh tồn, và xét nghiệm lâm sàng, để đánh giá nguy cơ phát triển DN. Kết quả dự đoán đã được so sánh với các cơ sở dữ liệu đã được điều chỉnh trong phân tích độ nhạy của hai nghiên cứu, cho thấy AI có hiệu suất vượt trội so với các thuật toán chỉ dựa trên dữ liệu lâm sàng trong bốn nghiên cứu khác [34], [35], [36].

7. Bàn luận

Rõ ràng rằng trí tuệ nhân tạo có thể được tích hợp vào quy trình dự đoán và chẩn đoán sự tiến triển của các biến chứng chính liên quan đến bệnh đái tháo đường. Bên cạnh đó, những tiến bộ trong công nghệ AI có thể được áp dụng vào quản lý cá thể hóa bệnh đái tháo đường và các biến chứng của nó, dẫn đến kế hoạch điều trị tốt hơn và cải thiện kết quả sức khỏe cho bệnh nhân.

Một yếu tố đầu vào quan trọng cho bất kỳ phần mềm AI nào nhằm mục đích dự đoán, chẩn đoán, điều trị, hoặc phòng ngừa các biến chứng của đái tháo đường là dữ liệu từ thiết bị đo đường huyết liên tục [37]. Các thiết bị theo dõi hoạt động và ứng dụng quản lý dinh dưỡng cũng có thể đóng vai trò hỗ trợ hiệu quả.

Dữ liệu được đóng góp từ Open APS Data Commons [38], bao gồm hàng trăm bệnh nhân và hàng nghìn ngày dữ liệu, đã giúp tăng cường độ chính xác trong dự báo đường huyết. Tuy nhiên, một số thách thức trong việc xây dựng AI đáng tin cậy cho chẩn đoán và điều trị bao gồm: sự cần thiết của việc chuẩn hóa dữ liệu lâm sàng, duy trì bảo mật thông tin bệnh nhân, giảm thiểu tác động của dữ liệu ngoại lai và nhiễu, cùng với việc sử dụng các phương pháp học thống kê tiên tiến và thuật toán học máy.

Giá trị của một mô hình AI có thể bị giảm nếu các tập dữ liệu đầu vào có kích thước mẫu không đồng đều hoặc phương pháp trích xuất đặc trưng không tương thích. Ngoài ra, tập dữ liệu có thể được mô hình hóa bởi AI theo nhiều cấu hình khác nhau, phụ thuộc vào mục tiêu nghiên cứu và ứng dụng cụ thể.

Các biến chứng của bệnh đái tháo đường đặc biệt phổ biến, gây suy nhược và tổn kém cho xã hội, bao gồm (1) đái tháo đường thai kỳ, (2) hạ đường huyết nội viện, (3) bệnh vông mạc đái tháo đường, (4) loét bàn chân do đái tháo đường và (5) bệnh thận đái tháo đường. Việc sử dụng các tập dữ liệu lớn hơn từ các nguồn dữ liệu thực tế như bệnh án điện tử sẽ giúp cải thiện độ chính xác dự đoán của phần mềm hỗ trợ AI.

8. Kết luận

Những công nghệ thông minh được thiết kế nhằm hỗ trợ bệnh nhân tiểu đường kiểm soát hiệu quả hơn mức đường huyết, đảm bảo sự ổn định và dự đoán kịp thời các biến chứng nguy hiểm góp phần cải thiện chất lượng cuộc sống. Trí tuệ nhân tạo có thể sử dụng dữ liệu thực tế để xây dựng các mô hình dự đoán và chẩn đoán liên quan đến bệnh đái tháo đường và các biến chứng của nó. Khi các tập dữ liệu chứa dữ liệu về yếu tố nguy cơ và kết quả trở nên lớn hơn và chi tiết hơn, độ chính xác của các chương trình dự đoán này dự kiến sẽ được cải thiện và trong tương lai đây hứa hẹn AI cùng các thuật toán để dự đoán và chẩn đoán các biến chứng của bệnh đái tháo đường sẽ được áp dụng rộng rãi trên toàn cầu.

Tài liệu tham khảo

- [1] Contreras I, Vehi J. (2018). "Artificial Intelligence for Diabetes Management and Decision Support: Literature Review". *J Med Internet Res*. 20(5):e10775. doi: 10.2196/10775.
- [2] Tran KA, Kondrashova O, Bradley A, Williams ED, Pearson JV, Waddell N. (2021). "Deep learning in cancer diagnosis, prognosis and treatment selection". *Genome Med*. 13:152. doi: 10.1186/s13073-021-00968-x.
- [3] Goecks J, Jalili V, Heiser LM, Gray JW. (2020). "How machine learning will transform biomedicine". *Cell*. 181(1):92-101. doi: 10.1016/j.cell.2020.03.022
- [4] Gabbe, S. G. (1986). "Gestational diabetes mellitus". *N. Engl. J. Med*. 315, 1025–1026. doi: 10.1056/NEJM198610163151609.
- [5] Dabelea, D. et al. (2000). "Intrauterine exposure to diabetes conveys risks for type 2 diabetes and obesity: A study of discordant sibships". *Diabetes* 49, 2208–2211. doi: 10.2337/diabetes.49.12.2208.
- [6] Dabelea, D. et al. (2008). "Association of intrauterine exposure to maternal diabetes and obesity with type 2 diabetes in youth: The SEARCH case-control study". *Diabetes Care* 31, 1422–1426. doi: 10.2337/dc07-2417.
- [7] Zhang Z, Yang L, Han W, et al. (2022). "Machine learning prediction models for gestational diabetes mellitus: meta-analysis". *J Med Inter Res*. 24(3):e26634. doi: 10.2196/26634.
- [8] Ye Y, Xiong Y, Zhou Q, Wu J, Li X, Xiao X. (2020). "Comparison of machine learning methods and conventional logistic regressions for predicting gestational diabetes using routine clinical data: a retrospective cohort study". *J Diabetes Res*. 4168340. doi: 10.1155/2020/4168340.
- [9] Wu YT, Zhang CJ, Mol BW, et al. (2021). "Early prediction of gestational diabetes mellitus in the Chinese population via advanced machine learning". *J Clin Endocrinol Metab*. 106(3):e1191-e1205. doi: 10.1210/clinem/dgaa899.
- [10] Bashir M, Ibrahim I, Beer S, et al. (2024). "Integrated care of diabetes during pregnancy: a Qatari nationwide cohort". *EClinicalMedicine*. 72:102605 DOI: 10.1177/19322968251355967
- [11] Wyckoff JA, Brown FM. (2021). "Time in range in pregnancy: is there a role". *Diabetes Spectr*. 34(2):119-132. doi: 10.2337/ds20-0103
- [12] Hulkower RD, Pollack RM, Zonszein J. (2014). "Understanding hypoglycemia in hospitalized patients". *Diabetes Manag (Lond)*. 4(2):165-176. doi:10.2217/dmt.13.73
- [13] Cruz P. (2020). "Inpatient hypoglycemia: the challenge remains". *J Diabetes Sci Technol*. 14(3):560-566. doi:10.1177/1932296820918540.
- [14] Zale A, Mathioudakis N. (2022). "Machine learning models for inpatient glucose prediction". *Curr Diab Rep*. 22(8):353-364. doi: 10.1007/s11892-022-01477-w.

- [15] Ruan Y, Bellot A, Moysova Z, et al. (2020). "Predicting the risk of inpatient hypoglycemia with machine learning using electronic health records". *Diabetes Care*. 43(7):1504-1511. doi: 10.2337/dc19-1743.
- [16] Witte H, Nakas CT, Bally L, Leichtle AB. (2022). "Machine-learning prediction of hypo- and hyperglycemia from electronic health records: algorithm development and validation". *JMIR Form Res*. 6:e36176. doi: 10.2196/36176.
- [17] Mathioudakis NN, Abusamaan MS, Shakarchi AF, et al. (2021). "Development and validation of a machine learning model to predict near-term risk of iatrogenic hypoglycemia in hospitalized patients". *JAMA Netw Open*. 4(1):e2030913. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2020.30913.
- [18] Zale AD, Abusamaan MS, McGready J, Mathioudakis N. (2022). "Development and validation of a machine learning model for classification of next glucose measurement in hospitalized patients". *Eclinicalmedicine*. 44:101290. doi: 10.1016/j.eclinm.2022.101290.
- [19] Stuart K, Adderley NJ, Marshall T, et al. (2017). "Predicting inpatient hypoglycaemia in hospitalized patients with diabetes: a retrospective analysis of 9584 admissions with diabetes". *Diabet Med*. 34(10):1385-1391. doi: 10.1111/dme.13409.
- [20] Bhatt A. (2021). "Artificial intelligence in managing clinical trial design and conduct: man and machine still on the learning curve". *Perspect Clin Res*. 12(1):1-3. doi: 10.4103/picr.PICR_312_20.
- [21] Goyal M, Reeves ND, Rajbhandari S, Yap MH. (2019). "Robust methods for real-time diabetic foot ulcer detection and localization on mobile devices". *IEEE J Biomed Health Inform*. 23(4):1730-1741. doi: 10.1109/JBHI.2018.2868656.
- [22] Bhaskaranand M., Ramachandra C., Bhat S., et al. (2019). "The value of automated diabetic retinopathy screening with the EyeArt system: a study of more than 100,000 consecutive encounters from people with diabetes". *Diabetes Technol Ther*. 21:635-643. doi: 10.1089/dia.2019.0164.
- [23] Abràmoff M.D., Lavin P.T., Birch M., et al. (2018). "Pivotal trial of an autonomous AI-based diagnostic system for detection of diabetic retinopathy in primary care offices". *npj Digit Med*. 1:39. doi: 10.1038/s41746-018-0040-6.
- [24] Ipp E., Liljenquist D., Bode B., et al. (2021). "Pivotal evaluation of an artificial intelligence system for autonomous detection of referable and vision-threatening diabetic retinopathy". *JAMA Netw Open*. 4 doi: 10.1001/jamanetworkopen.2021.34254.
- [25] Lee AY, Yanagihara RT, Lee CS, et al. (2021). "Multicenter, head-to-head, real-world validation study of seven automated artificial intelligence diabetic retinopathy screening systems". *Diabetes Care*. 44(5):1168-1175. doi: 10.2337/dc20-1877.
- [26] Sánchez CI, Niemeijer M, Dumitrescu AV, Suttorp-Schulten MSA, Abràmoff MD, van Ginneken B. (2011). "Evaluation of a computer-aided diagnosis system for diabetic retinopathy screening on public data". *Invest Ophthalmol Visual Sci*. 52(7):4866-4871. doi: 10.1167/iov.10-6633
- [27] Xie P, Li Y, Deng B, et al. (2022). "An explainable machine learning model for predicting in-hospital amputation rate of patients with diabetic foot ulcer". *Int Wound J*. 19(4):910-918. doi: 10.1111/iwj.13691.
- [28] Yap MH, Chatwin KE, Ng CC, et al. (2018). "A new mobile application for standardizing diabetic foot images". *J Diabetes Sci Technol*. 12(1):169-173. doi: 10.1177/1932296817713761.
- [29] Stefanopoulos S, Ayoub S, Qiu Q, et al. (2021). "Machine learning prediction of diabetic foot ulcers in the inpatient population". *Vascular*. doi: 10.1177/17085381211040984.
- [30] Hsu C, yuan Iribarren C, McCulloch CE, Darbinian J, Go AS. (2009). "Risk factors for end-stage renal disease: 25-year follow-up". *Arch Intern Med*. 169(4):342-350. doi: 10.1001/archinternmed.2008.605.
- [31] Selby NM, Taal MW. (2020). "An updated overview of diabetic nephropathy: diagnosis, prognosis, treatment goals and latest guidelines". *Diabetes Obes Metab*. 22Suppl1:3-15. doi: 10.1111/dom.14007.
- [32] Allen A, Iqbal Z, Green-Saxena A, et al. (2022). "Prediction of diabetic kidney disease with machine learning algorithms, upon the initial diagnosis of type 2 diabetes mellitus". *BMJ Open Diab Res Care*. 10:e002560. doi: 10.1136/bmjdr-2021-002560.
- [33] Song X, Waitman LR, Hu Y, Yu ASL, Robbins DC, Liu M. (2019). "Robust clinical marker identification for diabetic kidney disease with ensemble feature selection". *J Am Med Inform Assoc*. 26(3):242-253. doi: 10.1093/jamia/ocy165.
- [34] Ravizza S, Huschto T, Adamov A, et al. (2019). "Predicting the early risk of chronic kidney disease in patients with diabetes using real-world data". *Nat Med*. 25(1):57-59. doi: 10.1038/s41591-018-0239-8.
- [35] Chan L, Nadkarni GN, Fleming F, et al. (2021). "Derivation and validation of a machine learning risk score using biomarker and electronic patient data to predict progression of diabetic kidney disease". *Diabetologia*. 64(7):1504-1515. doi: 10.1007/s00125-021-05444-0.
- [36] Makino M, Yoshimoto R, Ono M, et al. (2019). "Artificial intelligence predicts the progression of diabetic kidney disease using big data machine learning". *Sci Rep*. 9(1):11862. doi: 10.1038/s41598-019-48263-5.
- [37] Heintzman ND. (2016). "A digital ecosystem of diabetes data technology: services, systems, and tools enabled by wearables, sensors, and apps". *J Diab Sci Technol*. 10:35-41. doi: 10.1177/1932296815622453.
- [38] OpenAPS.org. (2022). "Data commons". Accessed on September 15, 2025, from <https://openaps.org/outcomes/data-commons/>.