

Ali Behmanesh
Ph.D. in Medical Informatics
Iran University of Medical Sciences

behmanesh.a@iums.ac.ir

WHY IS THROMBOSIS IMPORTANT?

- Venous and arterial thrombosis are major causes of morbidity and mortality
- Includes DVT, PE, stroke, and myocardial infarction
- Often preventable but frequently under-diagnosed
- Early detection and risk stratification are critical

Condition	Global Incidence (per 100,000)	Global Mortality (per 100,000)
Ischemic Heart Disease (including heart attack)	1518.7	105.5
Ischemic Stroke	114.3	42.3
Atrial Fibrillation (major risk factor for stroke)	77.5 (men) / 59.5 (women)	1.7
Venous Thromboembolism (DVT + Pulmonary Embolism)	115 – 269	9.4 – 32.3

WHY IS THROMBOSIS IMPORTANT?

- Venous and arterial thrombosis are major causes of morbidity and mortality
- Includes DVT, PE, stroke, and myocardial infarction
- Often preventable but frequently under-diagnosed
- Early detection and risk stratification are critical

- One-quarter of all deaths worldwide are caused by thromboembolic conditions.
- Public awareness is much higher for heart attack (88%) and stroke (85%) compared to pulmonary embolism (54%) and DVT (44%).
- In high-income countries, incidence and mortality are declining, while in low- and middle-income countries they are increasing.
- The COVID-19 pandemic amplified the risk of both venous and arterial thrombosis due to vascular inflammation and reduced access to care.

CURRENT CHALLENGES IN Thrombosis Management

- Non-specific clinical symptoms
- Delayed or missed diagnosis
- Limited accuracy of traditional risk scores (e.g., Wells, CHA₂DS₂-VASc)
- Large volumes of complex patient data
- Inter-individual variability in risk and treatment response

WHAT ARE ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND MACHINE LEARNING?

Artificial Intelligence (AI)

Systems that mimic human intelligence

Machine Learning (ML)

Algorithms that learn patterns from data

Deep Learning

Multi-layer neural networks for complex data

Common algorithms:

- Logistic Regression
- Random Forest
- Gradient Boosting (XGBoost)
- Convolutional Neural Networks (CNNs)

Artificial Intelligence



Engineering of making Intelligent Machines and Programs

Machine Learning



Ability to learn without being explicitly programmed

Deep Learning



Learning based on Deep Neural Network

1950's

1960's

1970's

1980's

1990's

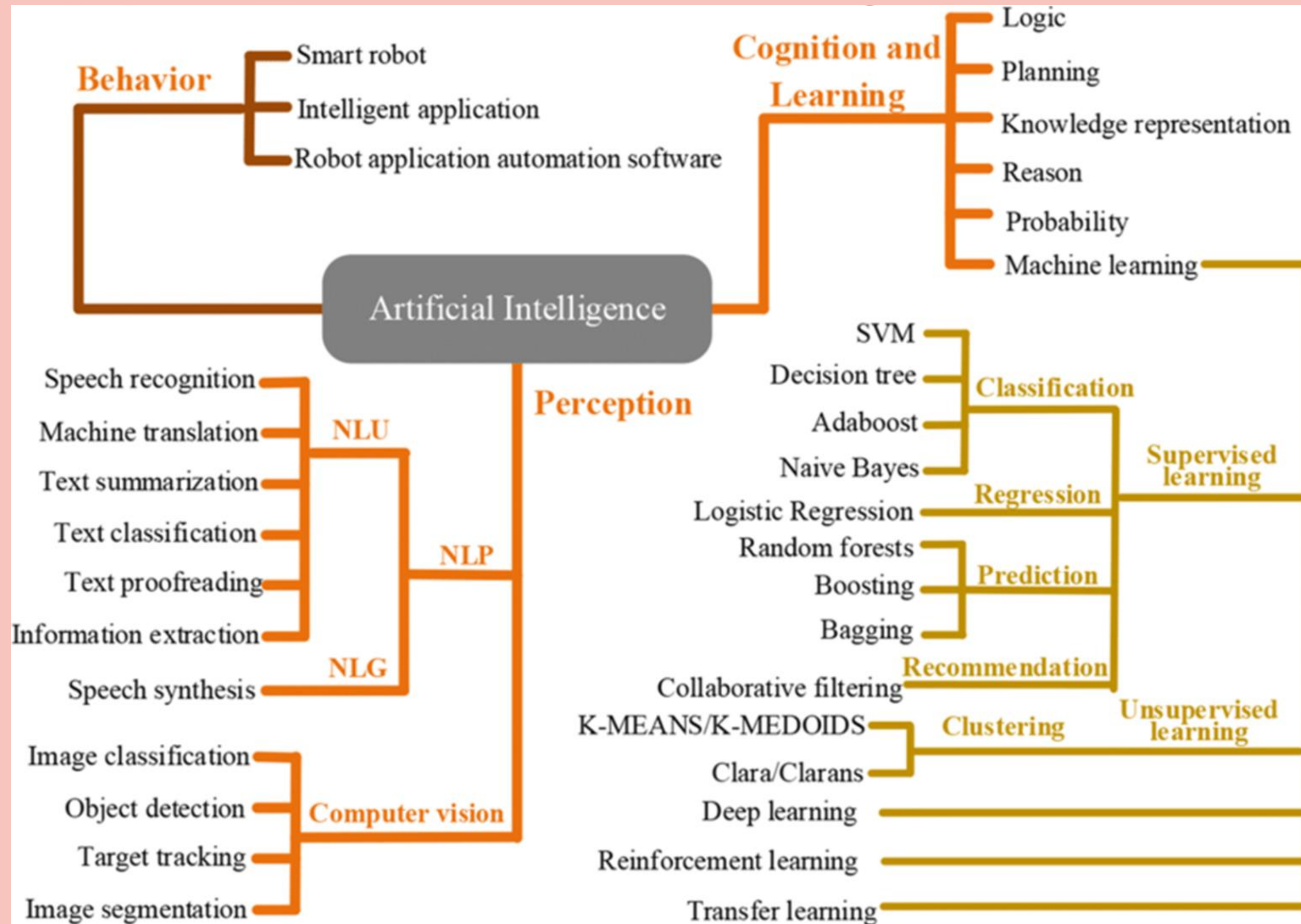
2000's

2006's

2010's

2012's

2017's



Linear Approach vs. AI Approach

Definition:

A linear approach typically follows a fixed sequence of steps. It is structured, organized, and often deterministic.

Characteristics:

- Sequential and predictable.
- Well-defined steps.
- Less room for flexibility or creativity.

Definition:

An AI approach, particularly machine learning and deep learning, involves training algorithms on large datasets to learn patterns and make predictions or decisions.

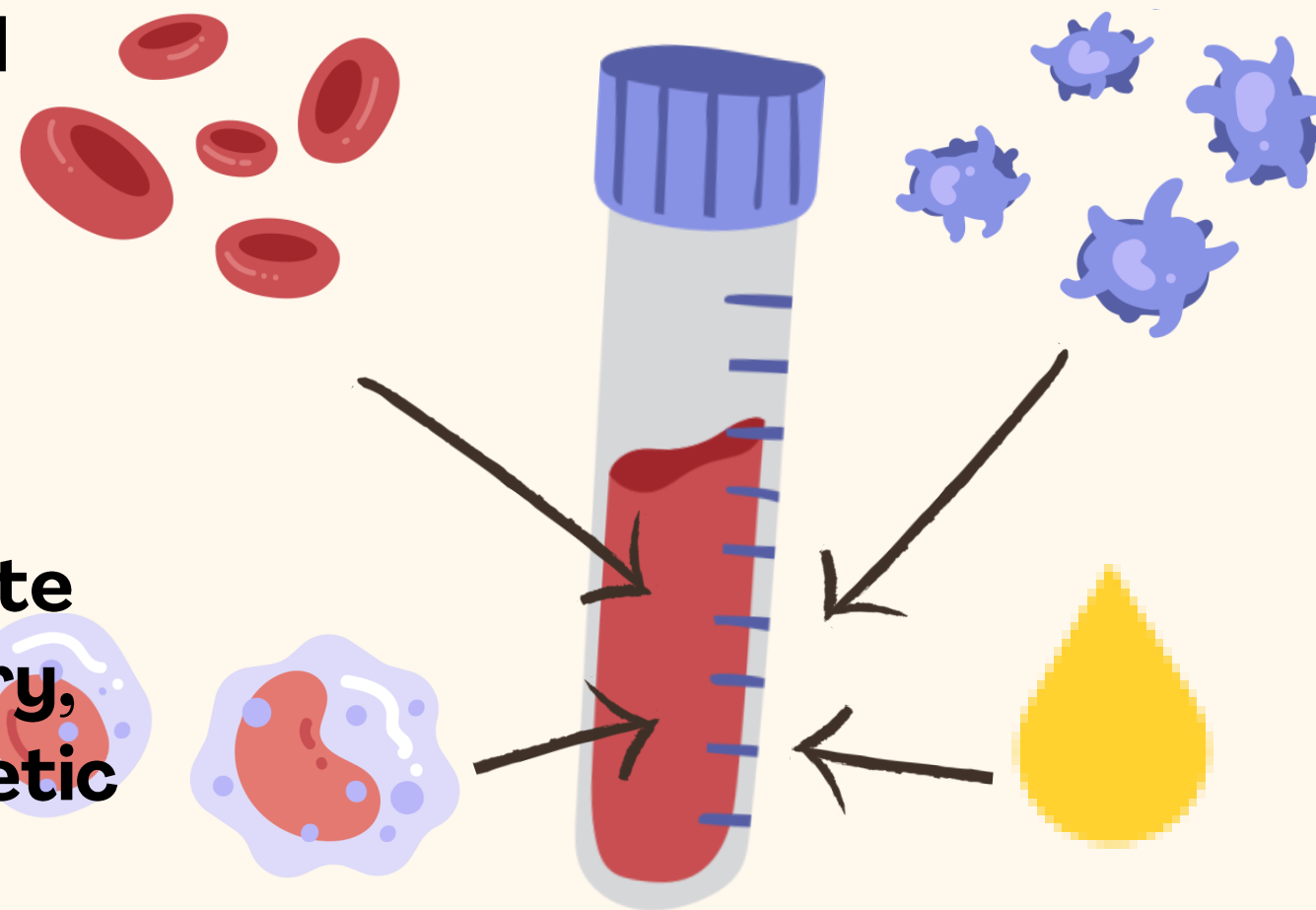
Characteristics:

- Data-Driven: Learns from data to improve performance.
- Adaptive: Can adapt to new information and patterns.
- Complex Problem-Solving: Can handle complex, non-linear problems.
- Autonomous: Can make decisions without human intervention.

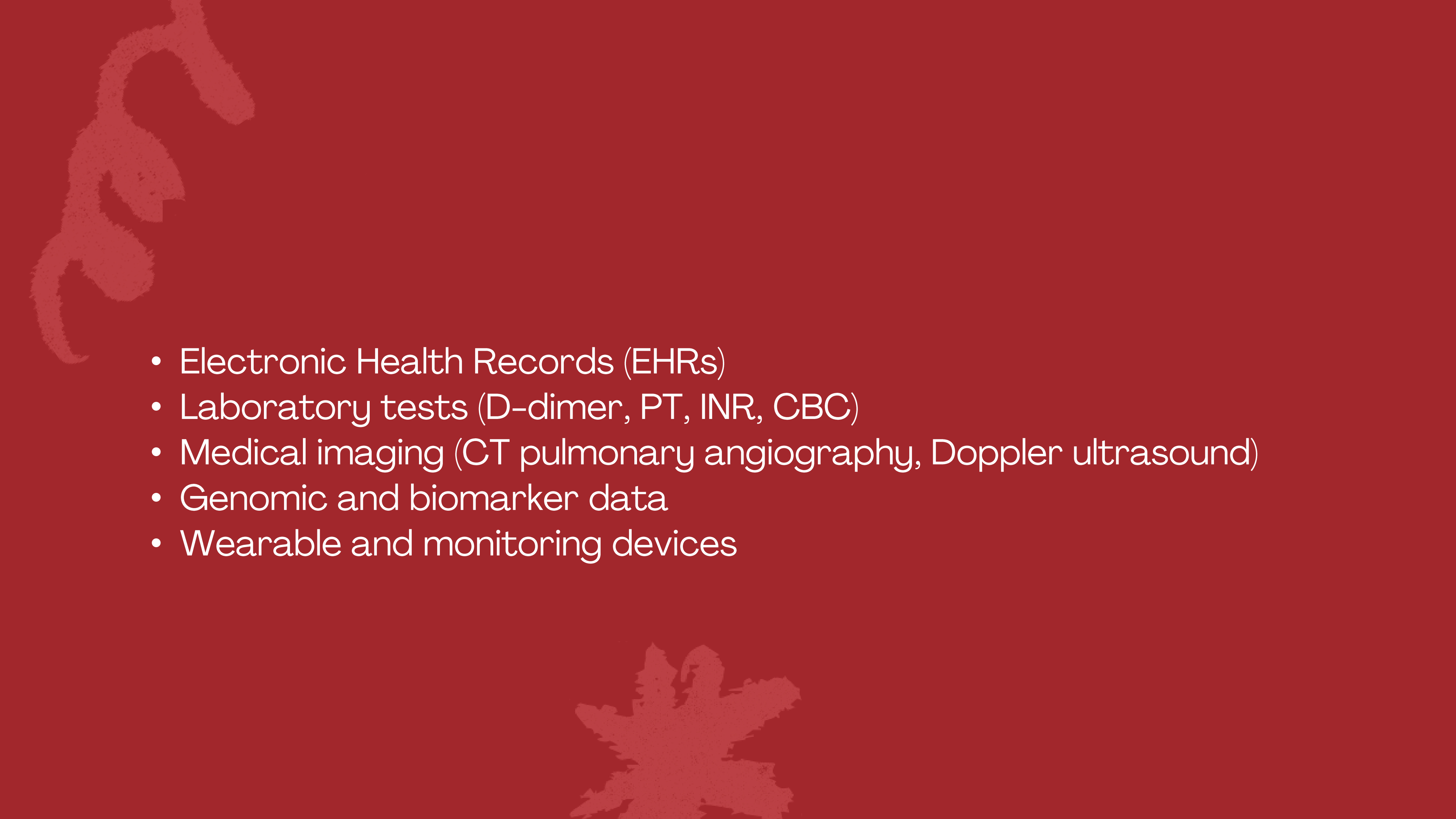
Our blood has four main components:

- **Thrombosis is multifactorial and data-intensive**

- **Ability to integrate clinical, laboratory, imaging, and genetic data**

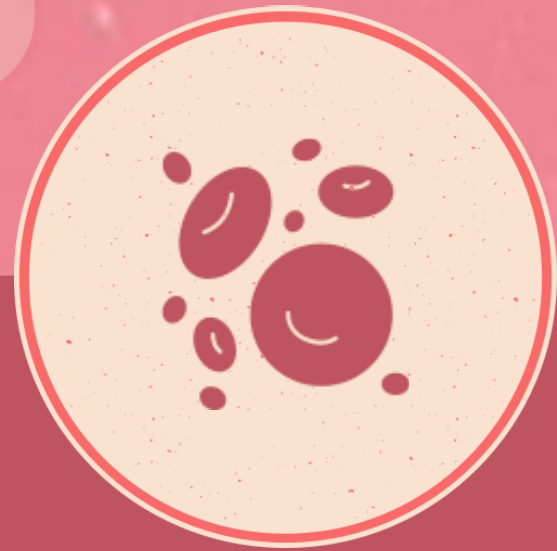


- **AI can identify complex, non-linear relationships**
- **Enables early prediction rather than reactive diagnosis**

- 
- Electronic Health Records (EHRs)
 - Laboratory tests (D-dimer, PT, INR, CBC)
 - Medical imaging (CT pulmonary angiography, Doppler ultrasound)
 - Genomic and biomarker data
 - Wearable and monitoring devices

AI for Thrombosis Diagnosis

Goal: Improve accuracy and reduce diagnostic delay



Automated
detection of
pulmonary
embolism on CT
scans



Identification of
DVT on
ultrasound



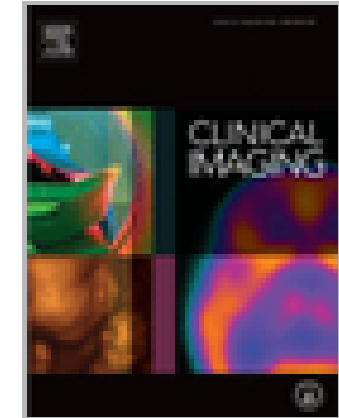
Flagging high-
risk patients
based on
clinical data

AI for Thrombosis Diagnosis




Clinical Imaging

Volume 113, September 2024, 110245



Musculoskeletal and Emergency Imaging

Performance and clinical utility of an artificial intelligence-enabled tool for pulmonary embolism detection

Angela Ayobi ^a , Peter D. Chang ^{b c}, Daniel S. Chow ^{b c}, Brent D. Weinberg ^d, Maxime Tassy ^a,
Angelo Franciosini ^a, Marlene Scudeler ^a, Sarah Quenet ^a, Christophe Avare ^a, Yasmina Chaibi ^a

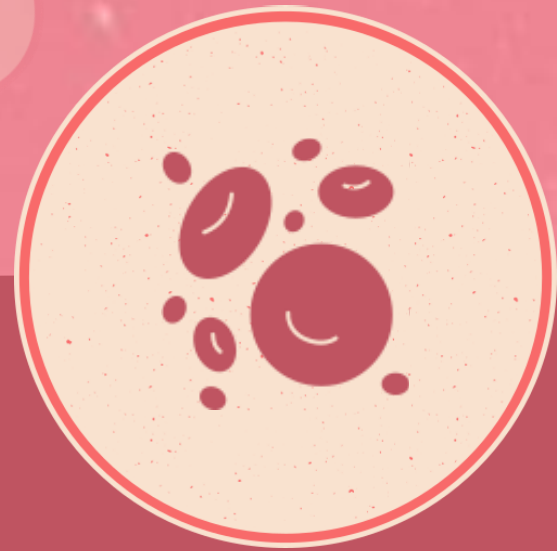
هدف مطالعه: ارزیابی عملکرد یک ابزار هوش مصنوعی تجاری در تشخیص آمبولی ریه و بررسی سودمندی آن در محیط بالینی. روش‌ها:

استفاده از **CT Pulmonary Angiography (CTPA)** به عنوان استاندارد طلایی. مقایسه نتایج الگوریتم هوش مصنوعی با ارزیابی رادیولوژیست‌های باتجربه. یافته‌ها:

حساسیت (**Sensitivity**) حدود **77-85%** و ویژگی (**Specificity**) حدود **94-96%** گزارش شد. عملکرد الگوریتم در تصاویر **Virtual Monochromatic Imaging (VMI)** مشابه تصاویر معمولی بود، که نشان‌دهنده قابلیت استفاده پایدار آن در تکنولوژی‌های تصویربرداری جدید است. الگوریتم توانست موارد مثبت را سریع‌تر مشخص کند و بار کاری رادیولوژیست‌ها را کاهش دهد. اهمیت بالینی:

ابزار هوش مصنوعی می‌تواند به عنوان یک سیستم هشدار اولیه عمل کند و موارد مشکوک به **PE** را برجسته کند. این امر به کاهش تأخیر در تشخیص و شروع درمان کمک می‌کند، به‌ویژه در شرایط اورژانسی. استفاده از هوش مصنوعی باعث افزایش کارایی سیستم سلامت و کاهش خطای انسانی می‌شود.

AI for Thrombosis Risk Prediction



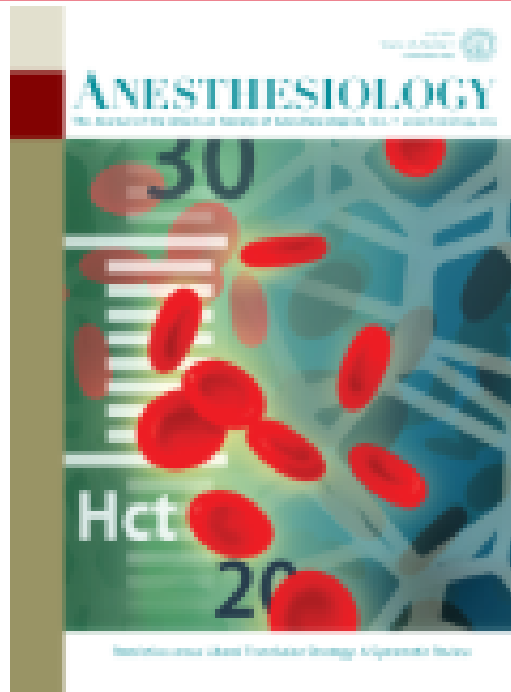
Predicting VTE risk
in hospitalized
patients



Preoperative
thrombotic risk
assessment



Identifying
patients who
benefit most from
prophylaxis



A Risk Assessment Model for Predicting Perioperative Venous Thromboembolism in Patients Receiving Surgery under Anesthesia Care

Authors: Grimm, Aline M.; Borngaesser, Felix; Ganz-Lord, Fran; Bald, Annika; Shamamian, Peter; Kiyatkin, Michael E.; R Maíra I.; Eikermann, Greta M.; Shukla, Ankeeta; Zhang, Ling; Schaefer, Simon T.; Schaefer, Maximilian; Riesemann, Sop Annika; Kumar, Pooja; Eikermann, Matthias; Spyropoulos, Alex C.; Tam, Christopher; Karaye, Ibraheem M.

Source: Anesthesiology, Volume 143, Number 1, 10 June 2025, pp. 71-83(13)

Publisher: Wolters Kluwer

روش‌ها:

داده‌های **319,134** بیمار جراحی در دو بیمارستان بزرگ آمریکا (**Beth Israel** و **Montefiore Medical Center**) و **Deaconess Medical Center** بررسی شد.

از رگرسیون لجستیک مرحله‌ای و **bootstrap resampling** برای ساخت مدل استفاده شد.
اعتبارسنجی داخلی و خارجی با استفاده از **ROC curve** و **Brier score** انجام شد.

عملکرد مدل:

AUC = 0.87 در گروه توسعه

AUC = 0.84 در اعتبارسنجی داخلی

AUC = 0.76 در اعتبارسنجی خارجی

مقایسه با مدل‌های موجود:

Caprini Score: AUC = 0.66

Roger's Model: AUC = 0.51

- مدل جدید توانست هم قبل از عمل (**AUC = 0.91**) و هم بعد از عمل (**AUC = 0.84**) پیش‌بینی دقیقی ارائه دهد.
- این مدل ساده و بالینی قابل استفاده است و می‌تواند به پزشکان کمک کند تا بیماران پرخطر را شناسایی کرده و پروفیلاکسی ضدانعقاد را هدفمندتر تجویز کنند.

نوع داده‌های استفاده‌شده

اطلاعات جمعیت‌شناختی (**Demographics**):

- سن، جنس، وضعیت سلامت عمومی بیماران.

اطلاعات بالینی (**Clinical data**):

نوع جراحی (ارتوپدی، عمومی، قلبی و غیره).

- وضعیت بیهوشی و مراقبت‌های حین عمل.
- مدت زمان بستری و شرایط پس از عمل.

عوامل خطر شناخته‌شده برای **VTE**:

- سابقه شخصی یا خانوادگی ترومبوز.
- سرطان فعال.

- چاقی، دیابت، فشار خون بالا.

- بی‌حرکتی طولانی یا بستری در **ICU**.

داده‌های پیامد (**Outcomes**):

- بروز ترومبوز وریدی (**DVT** یا آمبولی ریه) پس از عمل.
- مرگومیر یا عوارض جدی مرتبط با **VTE**.

AI in ICU and COVID-19 Patients

- High thrombotic risk populations
- AI models incorporate:
 - D-dimer, CRP, ferritin
 - Mechanical ventilation
 - Inflammatory markers
- Supports anticoagulation decision-making

Predicting thromboembolic complications in COVID-19 ICU patients using machine learning

Davy van de Sande¹, Michel E. van Genderen^{1*}, Babette Rosman¹, Maren Diether^{1,2}, Henrik Endeman¹, Johannes P. C. van den Akker¹, Martijn Ludwig^{1,2}, Joost Huiskens^{1,3}, Diederik Gommers¹, Jasper van Bommel¹

¹Department of Adult Intensive Care, Erasmus University Medical Center, Rotterdam, the Netherlands, ²Deloitte Netherlands, Analytics and Cognitive, Amsterdam, the Netherlands, ³SAS Institute, Health Care Analytics, Huizen, the Netherlands

زمینه: بیماران کووید-19 در ICU به دلیل وضعیت هایپرکوآگولابل (افزایش انعقاد خون) در معرض خطر بالای ترومبوز هستند.
هدف: توسعه یک مدل پیش‌بینی برای شناسایی زودهنگام بیماران در معرض خطر عوارض ترومبوآمبولیک (TCS).

روش‌ها:

داده‌های 108 بیمار کووید-19 بستری در ICU مرکز پزشکی دانشگاه Erasmus (هلند) بین فوریه تا مه 2020 بررسی شد.
از Decision Tree Classifier برای آموزش مدل استفاده شد (66% داده برای آموزش، 34% برای تست).

نتایج:

40% بیماران (43 نفر) دچار عوارض ترومبوآمبولیک شدند.

مرگ‌ومیر در بیماران با TCS بالاتر بود (26% در مقابل 8%).

شاخص‌های آزمایشگاهی مهم برای پیش‌بینی 2 روز قبل از بروز TCS:

Lactate dehydrogenase (LDH)

Standardized bicarbonate

Albumin

Leukocyte count

عملکرد مدل: حساسیت 73% و نسبت درست‌نمایی مثبت 2.7 در داده‌های تست.

نوع داده‌های استفاده‌شده

اطلاعات جمعیت‌شناختی (**Demographics**): سن، جنس، وضعیت بالینی بیماران.

شاخص‌های آزمایشگاهی (**Laboratory markers**):

• **LDH (Lactate Dehydrogenase)**

• **Albumin**

• **Leukocyte count** (شمارش لکوسیت‌ها)

• **Standardized bicarbonate**

• سایر پارامترهای بیوشیمی و هماتولوژی که به‌طور روتین در **ICU** اندازه‌گیری می‌شوند.

اطلاعات بالینی (**Clinical data**):

• وضعیت بستری در **ICU**

• بروز عوارض ترومبوآمبولیک (**DVT**، آمبولی ریه، ترومبوز شریانی)

• پیامدهای بالینی مثل مرگ‌ومیر یا طول مدت بستری.

داده‌های زمانی (**Temporal data**):

• تغییرات شاخص‌های آزمایشگاهی در روزهای قبل از بروز ترومبوز (مدل توانست دو روز قبل از وقوع عارضه پیش‌بینی کند).

AI in Thrombosis Treatment Management

- Individualized anticoagulant dosing
- Predicting treatment response
- Monitoring complications and outcomes

Predicting Bleeding Risk

- ML models estimate risk of major bleeding
- Supports choice between DOACs and warfarin
- Improves safety of anticoagulation therapy

زمینه: بیماران مبتلا به فیبریلاسیون دهلیزی، بیماری ایسکمیک قلب یا ترومبوز وریدی که داروهای ضدانعقاد یا ضدپلاکت دریافت می‌کنند، در معرض خطر خونریزی گوارشی هستند. مدل‌های سنتی مانند **HAS-BLED** دقت محدودی دارند.

هدف: مقایسه عملکرد سه رویکرد یادگیری ماشینی با امتیاز **HAS-BLED** در پیش‌بینی خونریزی گوارشی. روش‌ها:

داده‌ها از **OptumLabs Data Warehouse** (بیماران بیمه خصوصی و **Medicare Advantage** در آمریکا). جمعیت مطالعه: **306,463** بیمار ≤ 18 سال که بین **2016** تا **2019** داروهای ضدانعقاد یا آنتی‌پلاکت دریافت کردند. مدل‌های بررسی‌شده:

RegCox (رگرسیون کاکس منظم‌شده)
Random Survival Forests (RSF)
Extreme Gradient Boosting (XGBoost)
مقایسه با **HAS-BLED score**.

نتایج:

بروز خونریزی گوارشی: **12,322** مورد (حدود 4%).
عملکرد مدل‌ها در مجموعه اعتبارسنجی:

ماه 12 (0.59، (ماه 6 **HAS-BLED: AUC = 0.60**

ماه 12 (0.66، (ماه 6 **RegCox: AUC = 0.67**

XGBoost: RegCox (ماه 6 **AUC \approx 0.67** مشابه

(ماه 12 در 0.60 ماه، 6 در **AUC = 0.62**) **RSF: ضعیف‌تر**

عوامل مهم در مدل **RegCox**:

سابقه خونریزی گوارشی قبلی (اهمیت **0.72**)

بیماری‌های زمینه‌ای (**AF**، **IHD**، **VTE**) (اهمیت **0.38**)

استفاده از داروهای محافظت‌کننده معده (اهمیت **0.32**).

Personalized Medicine in Thrombosis

- Each patient has a unique thrombotic profile
- AI integrates:
 - Demographics
 - Comorbidities
 - Genetic predisposition
 - Prior thrombotic events

Benefits of AI in Thrombosis Care

- **Earlier diagnosis**
- **Improved risk stratification**
- **Reduced mortality and complications**
- **Cost reduction**
- **Clinical decision support, not replacement of clinicians**

Limitations and Challenges

- **Data quality and missing data**
- **Algorithmic bias**
- **Lack of model transparency (“black box” issue)**
- **Generalizability across populations**
- **Need for clinician trust and adoption**

Ethical and Legal Considerations

- **Patient data privacy**
- **Accountability for AI-driven decisions**
- **Regulatory approval and validation**
- **AI as a supportive tool, not a standalone decision-maker**

Future Directions

- Real-time AI integration into EHR systems
- Multicenter and international datasets
- Combining AI with genomics and proteomics
- Continuous learning models in clinical practice

Key Take-Home Messages



Thrombosis is complex and multifactorial

AI offers powerful tools for:

- Diagnosis
- Risk prediction
- Treatment optimization

Greatest value lies in early prediction and prevention

Conclusion



- AI complements clinical expertise
- Improves precision and efficiency of thrombosis care
- Collaboration between clinicians and data scientists is essential
- AI will play a central role in the future of thrombosis management

