



Ανάπτυξη Εύχρηστης Καινοτόμου Διαδικτυακής Πλατφόρμας Πρόβλεψης Καρδιαγγειακού Κινδύνου
Βασισμένη σε Μοντέλα Τεχνητής Νοημοσύνης (ΕΥΚΑΡΔΙΑ)

[Κωδικός Πράξης: ΓΤ2CL-0353180]

Σύγκριση της απόδοσης μοντέλου τεχνητής νοημοσύνης με το στατιστικό μοντέλο
HellenicSCORE για την πρόβλεψη του 10-ετούς καρδιαγγειακού κινδύνου

Αλαμάνη Ε.¹, Δημητρακόπουλος Π.², Πέτρου Κ.³, Δημητρακόπουλος Ι.², Πάντος Ι.¹, Πλουσή Α.⁴,
Ευσταθόπουλος Ε.^{3,4}, Παναγιωτάκος Δ.^{5,6}, Μαγγίνας Α.³

¹Heart Center, Αθήνα, Ελλάδα

²RAYMED, Μαρούσι, Ελλάδα

³Mediterraneo Hospital, Γλυφάδα, Ελλάδα

⁴Β' Εργαστήριο Ακτινολογίας, Ιατρική Σχολή, ΕΚΠΑ, Αθήνα, Ελλάδα

⁵Σχολή Επιστημών Υγείας και Διατροφής, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Καλλιθέα, Ελλάδα

⁶Εταιρεία Idea Consulting, Αθήνα





- **Χρηματοδότηση:** Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης (ΕΤΠΑ) και εθνικοί πόροι μέσω του ΕΠ “Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα και Καινοτομία” (ΕΠΑνΕΚ) του ΕΣΠΑ 2014-2020.
- **Δράση:** ΣΥΝΕΡΓΑΤΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑΣ/ ΣΣΚ
- **MIS:** 5184346
- **Κωδικός Πράξης:** ΓΓ2CL-0353180



- Ένα από τα σημαντικότερα θέματα στη διαχείριση της καρδιαγγειακής νόσου (ΚΑΝ) είναι η ταξινόμηση του πληθυσμού με βάση τον κίνδυνο εμφάνισης ΚΑΝ που διατρέχει (χαμηλός, μέτριος, υψηλός).
- Μια καθιερωμένη μέθοδο πρόγνωσης των καρδιαγγειακών νοσημάτων αποτελούν τα εργαλεία (risk scores) εκτίμησης του κινδύνου ΚΑΝ:
 - ο απευθύνονται σε διαφορετικές χώρες και πληθυσμούς, με διαφορετικό σύνολο παραγόντων κινδύνου και με μεγάλη διαφοροποίηση όσον αφορά την απόδοσή τους
 - ο ευρέως χρησιμοποιούμενα εργαλεία πρόβλεψης ΚΑΝ που βασίζονται σε στοχαστικά - στατιστικά μοντέλα: Framingham CVD risk score , SCORE (Systemic COronary Risk Estimation), HellenicSCORE





ΕΥΚΑΡΔΙΑ

Εισαγωγή-Σκοπός

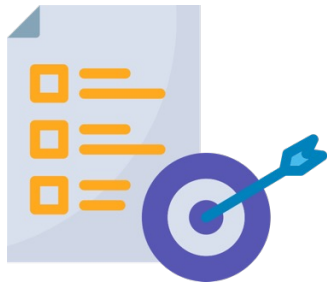
Τα καθιερωμένα στατιστικά μοντέλα παρουσιάζουν ορισμένους περιορισμούς:

- ο υποεκτίμηση κινδύνου σε άτομα υψηλού κινδύνου λόγω λανθασμένης ταξινόμησης
- ο εμφάνιση υψηλού ποσοστού συμβάντων σε άτομα χωρίς διαπιστωμένους παράγοντες κινδύνου ή με χαμηλό έως μέτριο συνολικό κίνδυνο

Βελτιστοποίηση ανίχνευσης της πρόβλεψης



Αλγόριθμοι Τεχνητής Νοημοσύνης



Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν η σύγκριση της απόδοσης του μοντέλου τεχνητής νοημοσύνης ΕΥΚΑΡΔΙΑ και του καθιερωμένου εργαλείου κινδύνου HellenicSCORE για τη 10-ετή πρόβλεψη του καρδιαγγειακού κινδύνου.



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ
ΑΝΑΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ
ΕΣΠΑ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗΣ
ΕΣΠΑ 2014-2020

ΓΓΕΚ
ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ
ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑΣ

ΕΠΑνεΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΟΤΗΤΑ
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ

ΕΣΠΑ
2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

- Καθορισμός δείγματος και συλλογή δεδομένων:
 - 2015 ασθενείς (Αναδρομική μελέτη)
 - Κριτήρια ένταξης: εξεταζόμενοι 20-80 ετών με μη τεκμηριωμένη αθηρωματική νόσο
- Επιλογή χαρακτηριστικών (features) για την ανάπτυξη του μοντέλου πρόβλεψης:
 - ANOVA- συνεχείς μεταβλητές,
 - Chi-squared test- κατηγορικές μεταβλητές



Σχεδιασμός και ανάπτυξη του κατάλληλου μοντέλου με διερεύνηση καταλληλότητας διαφόρων κατηγοριών αλγορίθμων ταξινόμησης με επίβλεψη (supervised classification algorithms) μέσω αξιολόγησης της απόδοσης των μετρικών:

- Ακρίβεια (Accuracy)
- Ανάκληση (Recall)
- F1 Score
- ROC AUC score

| Algorithm | Type |
|--|----------------------------------|
| Naive Bayes Classifier (NB) | Probabilistic |
| Logistic Regression (LR) | Linear model |
| Support Vector Machines (SVM) | Linear model |
| Linear Discriminant Analysis (LDA) | Linear model |
| k -nearest neighbors (KNN) | Distance / neighbor -based |
| Decision Tree (DT) | Tree-based |
| Multi-layer Perceptron (MLP) | Neural Network |
| Random Forest (RF) | Ensemble (Averaging-Tree-based) |
| Extra Trees (ET) | Ensemble (Averaging-Tree-based) |
| AdaBoost (AB) | Ensemble (Adaptive Boosting) |
| XGBoost (XGB) | Ensemble (Gradient Boosting) |
| LightGBM (LGBM) | Ensemble (Gradient Boosting) |
| HistogramGB (HGB) | Ensemble (Gradient Boosting) |
| CatBoost (CB) | Ensemble (Gradient Boosting) |
| Bagging (BG) | Ensemble (Bootstrap Aggregating) |
| Voting Ensemble (VE) | Ensemble (Soft voting) |
| Boosting Algorithms Voting Ensemble (BAVE) | Ensemble (Soft voting) |



- Αξιολόγηση και βελτιστοποίηση της απόδοσης του προγνωστικού μοντέλου με την τεχνική 5-fold cross-validation
- Εύρεση των βέλτιστων υπερ-παραμέτρων για κάθε μοντέλο μέσω Grid Search Cross Validation
- Προσαρμογή (fine-tuning) του τελικού μοντέλου πρόβλεψης



- Σύγκριση της απόδοσης του μοντέλου τεχνητής νοημοσύνης με την απόδοση του μοντέλου πρόβλεψης HellenicSCORE.
- Υπολογισμός της μετρικής HellenicSCORE για κάθε υποκείμενο του συνόλου δεδομένων.
 - HellenicSCORE $\geq 10\%$: υποκείμενο υψηλού κινδύνου
 - HellenicSCORE $< 10\%$: υποκείμενο χαμηλού κινδύνου
- Υπολογισμός των μετρικών Accuracy, Recall και F1 Score μεταξύ της έκβασης που προβλέπει το HellenicSCORE (Υψηλός ή Χαμηλός κίνδυνος) και της πραγματικής έκβασης (CVD = 1 ή CVD = 0).
- Επανάληψη της διαδικασία αξιολόγησης: 5-fold cross-validation



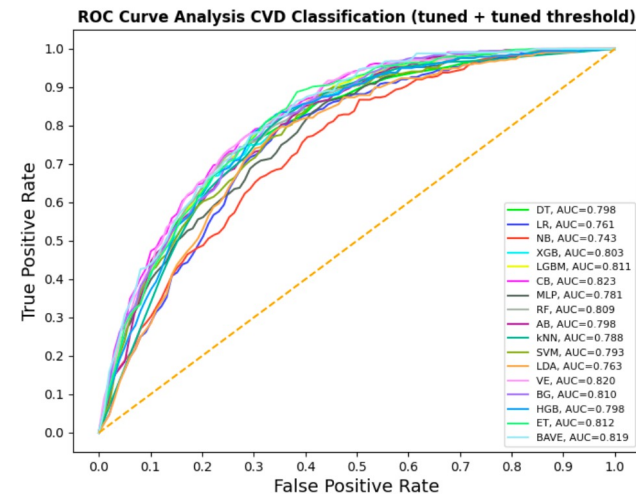


ΕΥΚΑΡΔΙΑ

Αποτελέσματα

Το καταλληλότερο μοντέλο για την 10-ετή πρόβλεψη του καρδιαγγειακού κινδύνου ήταν το μοντέλο "Voting Ensemble" (VE), επιτυγχάνοντας το υψηλότερο F1 Score (50.68%) και το δεύτερο υψηλότερο AUC score (0.819930), παρουσιάζοντας απόκλιση μόλις 0.2% από το μοντέλο που πέτυχε το υψηλότερο AUC score (CatBoost).

| Method | Accuracy | Recall | F1 Score | ROC AUC | Fit time (s) |
|--------|---------------|---------------|---------------|-----------------|--------------|
| VE | 75.98% | 72.06% | 50.68% | 0.819930 | 1.750200 |
| CB | 77.22% | 67.65% | 50.38% | 0.822862 | 0.779800 |
| BAVE | 77.12% | 66.76% | 50.05% | 0.819271 | 1.875800 |
| RF | 75.88% | 69.71% | 49.82% | 0.808780 | 0.541700 |
| HGB | 72.51% | 78.53% | 49.41% | 0.798104 | 0.780100 |
| LGBM | 74.89% | 71.18% | 49.36% | 0.810711 | 0.753200 |
| DT | 74.49% | 73.24% | 49.32% | 0.798459 | 0.006500 |
| BG | 74.19% | 71.18% | 48.48% | 0.809886 | 16.480600 |
| AB | 78.86% | 57.94% | 48.36% | 0.798433 | 1.810300 |
| XGB | 75.63% | 66.18% | 48.19% | 0.802678 | 1.170800 |
| KNN | 67.84% | 82.35% | 46.51% | 0.788147 | 0.001400 |
| SVM | 72.21% | 70.29% | 46.32% | 0.792713 | 0.180400 |
| LDA | 72.95% | 67.06% | 45.67% | 0.762643 | 0.003100 |
| ET | 78.86% | 51.18% | 45.38% | 0.812274 | 0.094700 |
| LR | 70.82% | 71.18% | 45.35% | 0.761422 | 0.056300 |
| MLP | 71.91% | 65.59% | 44.35% | 0.780939 | 1.234800 |
| NB | 62.48% | 79.12% | 41.75% | 0.742853 | 0.001200 |



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΡΟΤΕΡΟ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΕΝΩΣΗΣ

ΓΓΕΚ
ΓΕΝΙΚΟ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΟ
ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑΣ

ΕΠΑνεΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ

ΕΣΠΑ
2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Αποτελέσματα

Από τη σύγκριση της απόδοσης του μοντέλου τεχνητής νοημοσύνης με την απόδοση του μοντέλου πρόβλεψης HellenicSCORE βρέθηκε ότι το μοντέλο "Voting Ensemble" (VE) έχει καλύτερη απόδοση σε σχέση με το στατιστικό μοντέλο HellenicSCORE ως προς την ακρίβεια (Accuracy), την ανάκληση (Recall) και το F1 Score.

Ειδικά για τις μετρικές Recall και F1 Score, το μοντέλο μηχανικής μάθησης παρουσίασε σημαντική βελτίωση της τάξης του ~ 70% και ~ 48% αντίστοιχα.

| Μέθοδος | Accuracy | Recall | F1 Score |
|---------------|----------|--------|----------|
| VE | 75.98% | 72.06% | 50.68% |
| HellenicSCORE | 71.0% | 2.0% | 3.0% |



- Τα μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης φαίνεται να αποτελούν ένα πολύτιμο και χρήσιμο εργαλείο στην πρόβλεψη του κινδύνου καρδιαγγειακού κινδύνου.
- Η εγγενής ικανότητα τους να διαχειρίζονται μεγάλα σύνολα δεδομένων και να βελτιστοποιούν την απόδοσή τους με την αύξηση του πλήθους των δεδομένων αποτελεί και το βασικό τους πλεονέκτημα έναντι των καθιερωμένων στατιστικών μοντέλων πρόβλεψης καρδιαγγειακού κινδύνου (όπως το HellenicSCORE).
- Η αναζήτηση μεγαλύτερων συνόλων δεδομένων στα οποία θα περιλαμβάνονται εξεταζόμενοι από διαφορετικές εθνικότητες μπορεί να συμβάλει καθοριστικά στην ανάπτυξη ακριβέστερων, διεθνών μοντέλων πρόβλεψης και στην εδραίωση των μοντέλων τεχνητής νοημοσύνης στην εκτίμηση του καρδιαγγειακού κινδύνου.



- [1] D. B. Panagiotakos, A. P. Fitzgerald, C. Pitsavos, A. Pipilis, I. Graham, and C. Stefanadis, "Statistical modelling of 10-year fatal cardiovascular disease risk in Greece: the HellenicSCORE (a calibration of the ESC SCORE project)," *Hellenic J Cardiol*, vol. 48, no. 2, pp. 55-63, 2007
- [2] C. I. Stefanadis, "The HellenicSCORE: a simple tool for measuring cardiovascular disease risk," *Hellenic J Cardiol*, vol. 53, pp. 253-254, 2012
- [3] R. J. P. Princy, S. Parthasarathy, P. S. Hency Jose, A. Raj Lakshminarayanan and S. Jeganathan, "Prediction of Cardiac Disease using Supervised Machine Learning Algorithms," 2020 4th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS), Madurai, India, 2020, pp. 570-575, doi: 10.1109/ICICCS48265.2020.9121169
- [4] A. C. Dimopoulos et al., "Machine learning methodologies versus cardiovascular risk scores, in predicting disease risk," *BMC Medical Research Methodology*, vol. 18, no. 1, p. 179, 2018/12/29 2018, doi: 10.1186/s12874-018-0644-1
- [5] M. Swathy and K. Saruladha, "A comparative study of classification and prediction of Cardio-Vascular Diseases (CVD) using Machine Learning and Deep Learning techniques," *ICT Express*, vol. 8, no. 1, pp. 109-116, 2022/03/01/ 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.icte.2021.08.021>
- [6] N. S. Rajliwall, R. Davey, and G. Chetty, "Machine Learning Based Models for Cardiovascular Risk Prediction," in 2018 International Conference on Machine Learning and Data Engineering (iCMLDE), 3-7 Dec. 2018 2018, pp. 142-148, doi: 10.1109/iCMLDE.2018.00034
- [7] S. F. Weng, J. Reys, J. Kai, J. M. Garibaldi, and N. Qureshi, "Can machine-learning improve cardiovascular risk prediction using routine clinical data?," *PloS one*, vol. 12, no. 4, p. e0174944, 2017

