

# Diagnostic value of insulin resistance-based biomarkers in arterial hypertension

Fazakas Aliz-Nóra<sup>1</sup>, Pászka Alpár<sup>2</sup>, Magdás Annamária<sup>3</sup>

<sup>1</sup>George Emil Palade University of Medicine, Pharmacy, Science and Technology, Târgu Mureș, <sup>2</sup>Nephrology Clinical Department, Mureș County Clinical Hospital, <sup>3</sup>4<sup>th</sup> Department of Internal Medicine, George Emil Palade University of Medicine, Pharmacy, Science and Technology, Târgu Mureș

**Abstract** • Insulin resistance (IR) is a key cardiometabolic abnormality involved in the development and progression of hypertension and is closely associated with diabetes mellitus, metabolic syndrome, and cardiovascular disease. Surrogate markers derived from routinely available laboratory parameters that do not require insulin measurement are gaining increasing importance in the assessment of metabolic risk among patients with hypertension. In this retrospective study, we evaluated the associations between insulin resistance indices calculated from routine laboratory parameters (TyG index, TyG-BMI, TG/HDL ratio, and METS-IR) and clinical characteristics in patients with essential hypertension and in those with both essential hypertension and type 2 diabetes mellitus. The investigated indices differed significantly between the study groups and proved useful for identifying metabolic abnormalities. Among these markers, METS-IR demonstrated superior performance in reflecting cardiometabolic risk, whereas the simpler indices, particularly the TyG index, appear to be more suitable as screening tools. These findings suggest that insulin resistance-based indices may facilitate the early identification of metabolic risk and improve cardiometabolic risk stratification in patients with hypertension.

**Keywords** • insulin resistance; TyG index; TyG-BMI; TG/HDL ratio; METS-IR

DOI: 10.2478/orvtudert-2026-0008

Bulletin of Medical Sciences 2026, 99(1): 112–124

## Introduction

Cardiovascular diseases (CVDs) remain among the leading causes of mortality worldwide. Hypertension (HT) is one of the most important, well-established, yet frequently underdiagnosed and undertreated cardiovascular risk factors. Although its global prevalence is high, awareness, treatment, and control rates remain unsatisfactory [1]. In addition to non-modifiable factors-such as age, genetic background, sex, and ethnicity-several modifi-

able risk factors contribute to the development of hypertension, particularly obesity, physical inactivity, smoking, and alcohol consumption [2,17].

Insulin resistance (IR) is a complex metabolic disorder characterized by reduced peripheral insulin sensitivity and compensatory hyperinsulinemia, which may ultimately result in pancreatic  $\beta$ -cell dysfunction. This underscores the importance of early identification of IR for the prevention of cardiometabolic complications [3].

In clinical practice, body mass index (BMI), abdominal obesity, and waist circumference are frequently used as indirect markers of insulin resistance; however, their diagnostic accuracy is limited [4,5]. Direct methods for assessing insulin sensitivity, such as the hyperinsulinemic-euglycemic clamp technique, have limited applicability in routine clinical practice. Consequently, increasing attention has been directed toward easily obtainable surrogate indices derived from routinely available laboratory parameters [6].

### Corresponding author

Pászka Alpár  
Mureș County Clinical Hospital  
525400, Târgu Secuiesc, Stadionului Street, no. 15  
Covasna County, Romania  
Paszka\_Alpar@freemail.hu

The triglyceride-glucose (TyG) index, the TyG-BMI index, and other combined metabolic indices have become widely used biomarkers for estimating insulin resistance [7-9]. The triglyceride-to-HDL cholesterol ratio (TG/HDL ratio) is also a useful surrogate marker, although its discriminative performance is generally inferior to that of more complex indices [10,11].

The Metabolic Score for Insulin Resistance (METS-IR) is a more comprehensive index that integrates multiple metabolic parameters and has been shown to be significantly associated with the risk of cardiometabolic multimorbidity (CMM) [12]. Recent studies indicate that these indices are associated not only with the presence of insulin resistance but also with a less favourable metabolic profile [12,13].

The use of these biomarkers is particularly important in hypertensive patients, among whom metabolic abnormalities often remain undetected. Accordingly, targeted modification of metabolic indices through lifestyle interventions and pharmacological treatment may potentially reduce cardiovascular risk.

The aim of the present study was to evaluate the clinical significance of insulin resistance indices derived from routinely available laboratory parameters in a hypertensive population, with particular emphasis on their associations with metabolic syndrome and adverse metabolic profiles.

## Materials and Methods

In this retrospective cross-sectional study, we analysed data from patients treated at the 3rd Department of Internal Medicine of the Mureş County Clinical Hospital. The study was conducted following approval by the institutional ethics committee.

A total of 162 patients were enrolled. The first group comprised 114 patients with hypertension (HT group), while the second group included 48 patients with both hypertension and type 2 diabetes mellitus (HT+DM group). All patients received specialized internal medicine care between January 2024 and March 2025.

### Exclusion criteria

- Age <18 years
- Pregnancy
- Type 1 diabetes mellitus
- Type 2 diabetes mellitus treated with insulin

- Malignant disease
- Acute infection

The following variables were recorded for all participants:

- Demographic characteristics (age and sex)
- Comorbidities
- Smoking status
- Components of metabolic syndrome

The following laboratory parameters were analysed:

- Fasting blood glucose
- Serum triglyceride concentration
- LDL- and HDL-cholesterol concentrations
- Body mass index (BMI), which was calculated for all participants

Derived insulin resistance indices were calculated using validated formulas.

- TyG index:  $TyG = \ln [\text{triglyceride (mg/dL)} \times \text{glucose (mg/dL)} / 2]$
- TyG-BMI:  $TyG-BMI = TyG \times BMI \text{ (kg/m}^2\text{)}$
- TG/HDL ratio:  $TG/HDL = \text{triglyceride (mg/dL)} / \text{HDL-c (mg/dL)}$
- METS-IR:  $METS-IR = (\ln [(2 \times \text{fasting glucose (mg/dL)}) + \text{triglyceride (mg/dL)}] \times BMI) / \ln [\text{HDL-c (mg/dL)}]$

A cut-off value of  $\geq 35$ , as reported in the literature, was used for the METS-IR index.

The study population was categorized into quartiles according to the distribution of the TyG index. Quartile thresholds were determined using the 25th, 50th, and 75th percentiles.

Data were entered into a Microsoft Excel database and analysed using GraphPad Prism version 10.1.1. Parametric and non-parametric tests were applied for comparisons between two groups, depending on data distribution. Categorical variables were analysed using the  $\chi^2$  test, while Pearson's and Spearman's correlation coefficients were used to assess associations between continuous variables. Statistical significance was defined as  $p < 0.05$ .

Receiver operating characteristic (ROC) curve analysis was performed to evaluate the discriminative ability of the individual insulin resistance indices for identifying metabolic syndrome in hypertensive patients. In addition, binary logistic regression analysis was performed using HT+DM status as the dependent variable. The results are

**Table 1.** Comparison of Clinical and Laboratory Parameters Between the HT and HT+DM

| Parameters                     | HT Group       | HT+DM Group    | p-value  |
|--------------------------------|----------------|----------------|----------|
| Fasting plasma glucose (mg/dL) | 100.19 ± 21.15 | 129.00 ± 58.93 | <0.00001 |
| Mean blood pressure (mmHg)     | 132/80 ± 16/10 | 139/81 ± 18/10 | 0.091    |
| Triglycerides (mg/dL)          | 114.5 ± 54.1   | 158.2 ± 91.4   | 0.006    |
| HDL cholesterol (mg/dL)        | 44.0 ± 11.1    | 36.85 ± 9.3    | 0.000006 |
| LDL cholesterol (mg/dL)        | 111.15 ± 42.05 | 114.11 ± 44.96 | 0.81     |
| BMI (kg/m <sup>2</sup> )       | 25.19 ± 5.82   | 28.32 ± 5.32   | <0.00001 |
| TyG index                      | 8.59 ± 0.50    | 9.17 ± 0.58    | <0.0001  |
| TyG-BMI                        | 219.25 ± 54.60 | 264.38 ± 53.83 | 0.00001  |
| TG/HDL ratio                   | 2.61 ± 1.72    | 4.62 ± 3.40    | 0.00001  |
| METS-IR                        | 38.98 ± 10.11  | 51.63 ± 10.53  | <0.001   |
| Mean age                       | 70.54 ± 11.54  | 72.14 ± 9.06   | 0.28     |
| Male/Female ratio              | 54%/46%        | 52%/48%        | 0.78     |

presented as odds ratios (ORs) with corresponding 95% confidence intervals (95% CIs).

## Results

A total of 162 patients were included in the study. The sex distribution was comparable between the HT group (n = 114) and the HT+DM group (n = 48). The mean age did not differ significantly between the two groups, although greater variability in age was observed among patients in the HT group ([Table 1](#)).

**Table 2.** Comparison of Comorbidities Between the HT and HT+DM Groups

| Comorbidities                | HT Group | HT+DM Group | p     |
|------------------------------|----------|-------------|-------|
| Peripheral arterial disease  | 44%      | 42%         | 0.45  |
| Chronic venous insufficiency | 11%      | 3%          | 0.07  |
| Chronic kidney disease       | 14%      | 24%         | 0.013 |
| Hyperuricemia                | 17%      | 13%         | 0.74  |
| Hepatic steatosis            | 14%      | 18%         | 0.14  |

**Table 3.** Smoking Status in the HT and HT+DM Groups

| Smoking Status | HT Group | HT+DM Group | p-value |
|----------------|----------|-------------|---------|
| Yes            | 47%      | 21%         | <0.001  |
| No             | 53%      | 79%         | <0.001  |

The comorbidity profiles of the two groups showed considerable overlap, particularly with respect to peripheral arterial disease, which was common in both groups. However, chronic kidney disease and non-alcoholic fatty liver disease were more prevalent in the HT+DM group ([Table 2](#)). The prevalence of smoking differed significantly between the two groups (p<0.001) ([Table 3](#)).

The HT+DM group exhibited a less favourable BMI distribution, characterized by a higher prevalence of overweight and obesity (p<0.00001) ([Table 4](#)).

The TyG index values of patients in the HT group were categorized into quartiles, as presented in [Table 5](#) and [Figure 1](#).

Among hypertensive patients, METS-IR values differed significantly across TyG index quartiles (Kruskal-Wallis test, p<0.0001). Progressively higher METS-IR values were observed with increasing TyG index quartiles.

Dunn's post hoc analysis demonstrated that METS-IR values in the highest TyG quartile were significantly higher than those in the lowest quartile (p<0.0001).

When examining the relationship between METS-IR and blood pressure, no significant correlation was found between systolic blood pressure and METS-IR (r = 0.006; p = 0.953). In contrast, a weak but statistically significant positive correlation was observed between diastolic blood pressure and METS-IR (r = 0.198; p = 0.039).

Based on the distribution of METS-IR values, values ≥35 predominated in both groups. However, the proportion of individuals with a low metabolic risk profile was minimal in the HT+DM group ([Figure 2](#)).

A TG/HDL ratio  $\geq 2$  was common in both groups, whereas the low-risk category was observed only rarely in the HT+DM group ( $p < 0.001$ ) (Figure 3).

Receiver operating characteristic (ROC) analysis demonstrated that METS-IR had good discriminative ability for identifying metabolic syndrome among hypertensive patients (AUC = 0.84; 95% CI: 0.78-0.93) (Figure 4).

The TyG index showed moderate discriminative ability for identifying metabolic syndrome (AUC $\approx$ 0.76). The optimal cut-off value was approximately 8.8 (Figure 5).

Binary logistic regression analysis demonstrated that METS-IR was significantly associated with HT+DM status (OR = 1.095; 95% CI: 1.058-1.138;  $p < 0.0001$ ) (Figure 6).

## Discussion

One of the principal findings of our study is that METS-IR values increased progressively across TyG index quartiles in non-diabetic hypertensive patients, indicating a dose-response relationship between insulin resistance and metabolic status. This finding is consistent with previous cohort studies that have demonstrated the value of TyG-based indices for the early stratification of cardiometabolic risk [13,15,23].

ROC analysis showed that METS-IR had excellent discriminative performance (AUC $\approx$ 0.84-0.85), whereas the TyG index demonstrated moderate discriminative ability

**Table 4.** BMI Categories in the HT and HT+DM groups

| BMI Category      | HT Group | HT+DM Group | p-value  |
|-------------------|----------|-------------|----------|
| Underweight       | 1%       | 0%          | <0.00001 |
| Normal weight     | 44%      | 15%         | <0.00001 |
| Overweight        | 30%      | 42%         | <0.00001 |
| Class I obesity   | 9%       | 21%         | <0.00001 |
| Class II obesity  | 13%      | 14%         | <0.00001 |
| Class III obesity | 3%       | 8%          | <0.00001 |

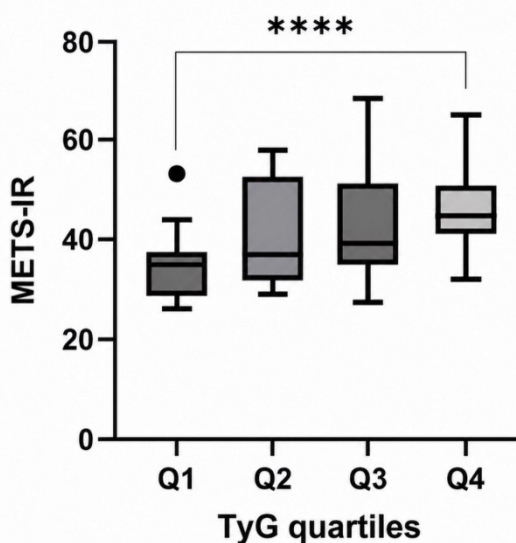
**Table 5.** TyG index values according to quartiles

| Quartile | Range        |
|----------|--------------|
| Q1       | $\leq 3.570$ |
| Q2       | 3.571–3.735  |
| Q3       | 3.736–3.875  |
| Q4       | $> 3.875$    |

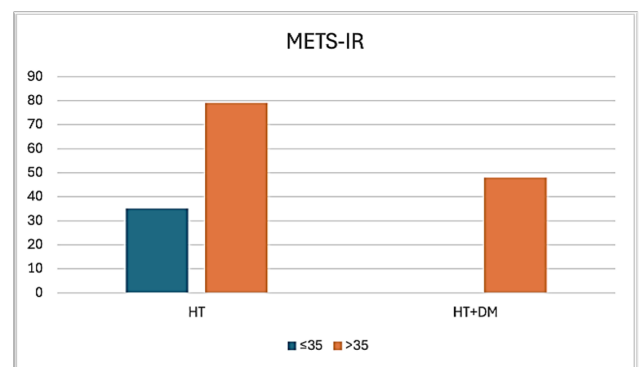
(AUC $\approx$ 0.76). These findings suggest that, owing to its more comprehensive integration of metabolic parameters, METS-IR identifies patients at high cardiometabolic risk more accurately, whereas the TyG index may be more appropriately used as a screening tool.

The superior predictive and discriminative performance of METS-IR is likely attributable to its integration of multiple metabolic components, a finding further supported by our logistic regression analysis. In contrast, although the TG/HDL ratio was also associated with metabolic abnormalities, its predictive performance was inferior to that of the more comprehensive indices [20-22].

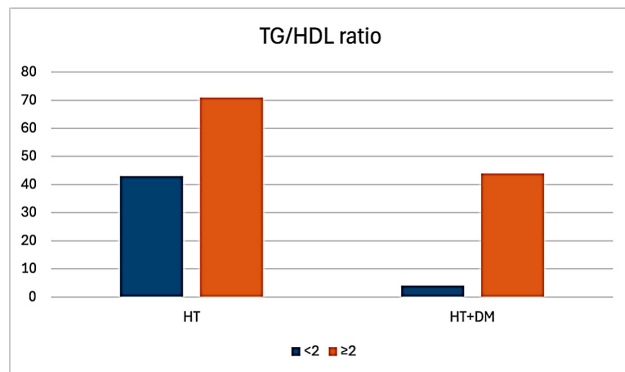
Nevertheless, owing to its simplicity, low cost, and ease of calculation, the TyG index remains a valuable screening tool, particularly in primary care settings.



**Figure 1.** Distribution of METS-IR values according to TyG index quartiles in hypertensive patients



**Figure 2.** Distribution of study groups according to METS-IR values



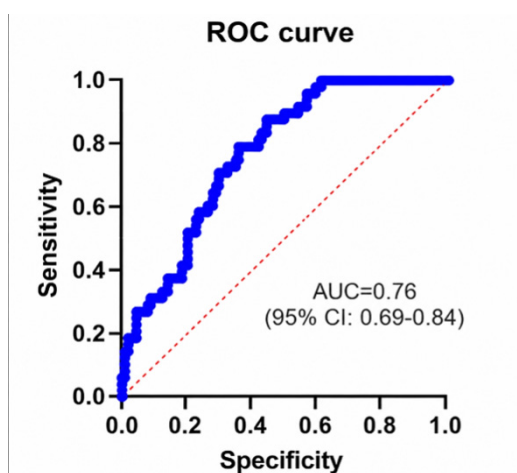
**Figure 3.** Distribution of study groups according to TG/HDL values

Our results also demonstrated a higher prevalence of chronic kidney disease and non-alcoholic fatty liver disease among patients in the HT+DM group. These findings are consistent with previous reports [16] and further support the central role of insulin resistance in the development and progression of cardiometabolic disorders.

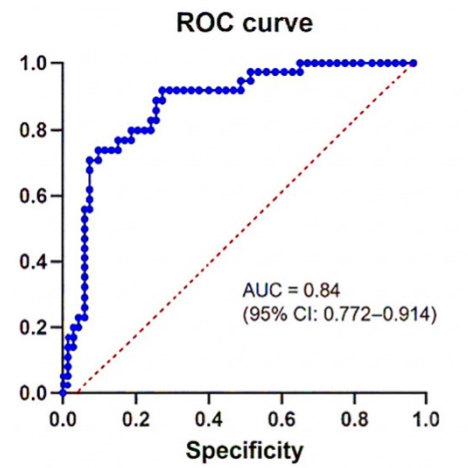
This pattern of comorbidities is consistent with the concept of cardio-renal-metabolic syndrome (CRMS), in which insulin resistance plays a pivotal role in the pathophysiological processes affecting multiple organ systems [15,23].

Although smoking was less prevalent in the higher-risk groups in our study, previous evidence suggests a complex association between nicotine exposure and insulin resistance [17], highlighting the interplay between metabolic and behavioural risk factors.

Several studies have reported that the association



**Figure 5.** Discriminative performance of the TyG index in hypertensive patients



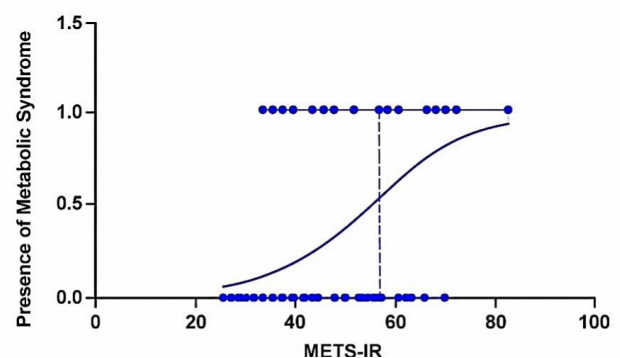
**Figure 4.** Discriminative performance of METS-IR in hypertensive patients

between smoking and LDL-cholesterol is not consistent across all patient subgroups, a finding that is partially supported by our observations.

The association between higher TyG index quartiles and metabolic syndrome has also been demonstrated in previous studies, which have shown that increasing TyG values are associated with a greater cardiometabolic risk [18]. The higher TyG index values observed in the HT+DM group in our study are consistent with these findings.

Among the combined TyG-based indices, TyG-BMI has demonstrated particularly strong predictive value [19], and the cut-off values applied in our study were consistent with those reported in the literature.

Similarly, for METS-IR, the cut-off value of approximately 35 reported in previous studies [12] was consistent with our findings and was further supported by the



**Figure 6.** Association between METS-IR and HT+DM status based on binary logistic regression analysis

ROC analysis, which confirmed its excellent discriminative performance.

The principal strength of our study is the simultaneous evaluation and comparison of several routinely available surrogate markers of insulin resistance. However, several limitations should be acknowledged, including its retrospective cross-sectional design, the relatively small sample size, and the inability to fully adjust for potential confounding factors, such as pharmacological treatment, lifestyle characteristics, and the duration of diabetes mellitus.

## Conclusion

Our findings indicate that the clustering of comorbidities in patients with both hypertension and diabetes mellitus reflects a substantially greater cardiometabolic burden than that observed in patients with hypertension alone. These observations are consistent with previous studies identifying insulin resistance as one of the central pathophysiological mechanisms underlying both metabolic and cardiovascular disorders. Accordingly, insulin resistance-based indices and biomarkers are valuable not only for characterizing metabolic status but also for facilitating the early identification and risk stratification of patients at increased cardiometabolic risk.

## List of Abbreviations

- CVDs - cardiovascular diseases
- IR - insulin resistance
- BMI - body mass index
- HEGC - hyperinsulinemic-euglycemic clamp
- TyG index - triglyceride-glucose index
- TyG-BMI - triglyceride-glucose-body mass index
- TG/HDL ratio - triglyceride-to-HDL cholesterol ratio
- METS-IR - Metabolic Score for Insulin Resistance
- CMM - cardiometabolic multimorbidity

## References

1. Dorobantu M, Tautu OF, Dimulescu D, Sinescu C, Gusbeth-Tatomir P, Arsenescu Georgescu C, et al. Perspectives on hypertension's prevalence, treatment and control in a high cardiovascular risk East European country: data from the SEPHAR III survey. *J Hypertens*. 2018;36(3):690-700.
2. Hou Y, Yang S. Association of risk factors for high blood pressure across 46 low- and middle-income countries: A multi-country cross-sectional analysis. *J Glob Health*. 2024;14:04087. doi:10.7189/jogh.14.04087.
3. Freeman AM, Acevedo LA, Pennings N. Insulin resistance. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025.
4. Gołacki J, Matuszek M, Matyjaszek-Matuszek B. Link between insulin resistance and obesity-From diagnosis to treatment. *Diagnostics*. 2022;12:1681. doi:10.3390/diagnostics12071681.
5. Strings S, Wells C, Bell C, Tomiyama AJ. The association of body mass index and odds of type 2 diabetes mellitus varies by race/ethnicity. *Public Health*. 2023;215:27-30. doi:10.1016/j.puhe.2022.11.017.
6. Lee J, Kim MH, Jang JY, Oh CM. Assessment of HOMA as a predictor for new-onset diabetes mellitus and diabetic complications in non-diabetic adults: a KoGES prospective cohort study. *Clin Diabetes Endocrinol*. 2023;9:7. doi:10.1186/s40842-023-00156-3.
7. Hou XZ, Lv YF, Li YS, et al. Association between different insulin resistance surrogates and all-cause mortality in patients with coronary heart disease and hypertension: NHANES longitudinal cohort study. *Cardiovasc Diabetol*. 2024;23:86. doi:10.1186/s12933-024-02173-7.
8. Ramdas Nayak VK, Satheesh P, Shenoy MT, Kalra S. Triglyceride glucose (TyG) index: A surrogate biomarker of insulin resistance. *J Pak Med Assoc*. 2022;72:986-988. doi:10.47391/JPMMA.22-63.
9. Li W, Shen C, Kong W, Zhou X, Fan H, Zhang Y, et al. Association between the triglyceride glucose-body mass index and future cardiovascular disease risk in a population with Cardiovascular-Kidney-Metabolic syndrome stage 0-3: a nationwide prospective cohort study. *Cardiovasc Diabetol*. 2024;23:292. doi:10.1186/s12933-024-02352-6.
10. Ren XX, Chen ZA, Zheng S, Han TT, Li YX, Liu W, Hu YM. Association between triglyceride to HDL-C ratio and insulin resistance in Chinese patients with newly diagnosed type 2 diabetes mellitus. *PLoS One*. 2016;11:e0154345. doi:10.1371/journal.pone.0154345.
11. Baneu P, Văcărescu C, Drăgan SR, et al. The triglyceride/HDL ratio as a surrogate biomarker for insulin resistance. *Biomedicines*. 2024;12:1493. doi:10.3390/biomedicines12071493.
12. Zhou C, Zhang Y, Liu X, et al. Relationship of METS-IR with cardiometabolic multimorbidity in China: a nationwide longitudinal cohort study. *Front Nutr*. 2025;12:1518840. doi:10.3389/fnut.2025.1518840.
13. Song X, He Y, Cai Z, Peng L. Association between five insulin resistance indices and cardiometabolic diseases: NHANES study. *Medicine (Baltimore)*. 2026;105:e48080. doi:10.1097/MD.00000000000048080.
14. Ștefan AG, Clenciu D, Mitrea A, et al. Metabolic syndrome and insulin resistance in Romania. *Int J Mol Sci*. 2025;26:2389. doi:10.3390/ijms26062389.
15. Liu L, Yu G, Ji X, et al. Associations of insulin resistance-related indices with cardio-renal-metabolic multimorbidity: UK Biobank study. *Cardiovasc Diabetol*. 2025;24:377. doi:10.1186/s12933-025-02928-w.
16. Zeng P, Cai X, Yu X, et al. Markers of insulin resistance associated with non-alcoholic fatty liver disease in non-diabetic population. *Sci Rep*. 2023;13:20470. doi:10.1038/s41598-023-47269-4.
17. Pan A, Wang Y, Talaei M, Hu FB, Wu T. Smoking and risk

- of type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis of prospective cohort studies. *Lancet Diabetes Endocrinol.* 2015;3:958-967. doi:10.1016/S2213-8587(15)00316-2.
18. Park MS. Triglyceride-glucose index predicts future metabolic syndrome in an adult population, Korea: a prospective cohort study. *Ann Clin Nutr Metab.* 2024;16:168-172.
  19. Song B, Zhao X, Yao T, et al. Triglyceride glucose-body mass index and risk of incident type 2 diabetes mellitus. *Front Endocrinol.* 2022;13:907973. doi:10.3389/fendo.2022.907973.
  20. de Almeida-Pititto B, Branda JI, de Oliveira JM, et al. The predictive value of the triglycerides/HDL-cholesterol ratio for diabetes incidence. *Endocrines.* 2024;5:418-429. doi:10.3390/endocrines5030031.
  21. Ndumele CE, Rangaswami J, Chow SL, et al. Cardiovascular-kidney-metabolic health: A presidential advisory from the American Heart Association. *Circulation.* 2023;148:1606-1635. doi:10.1161/CIR.0000000000001184.
  22. Gamsızkan Z, Onmez A, Sahin IE, et al. Can we use the triglyceride/HDL ratio to determine insulin resistance in obesity screening? *Ankara Med J.* 2022;22:451-459. doi:10.5505/amj.2022.38991.
  23. Tian Z, Yang L, Li Y, et al. Insulin resistance indices and cardiometabolic multimorbidity: UK Biobank study. *Cardiovasc Diabetol.* 2025;24:257. doi:10.1186/s12933-025-02819-0.

# Inzulinrezisztencia-alapú biomarkerek diagnosztikai jelentősége artériás hipertóniában

Fazakas Aliz-Nóra<sup>1</sup>, Pászka Alpár<sup>2</sup>, Magdás Annamária<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Marosvásárhelyi George Emil Palade Orvosi, Gyógyszerészeti, Tudomány és Technológiai Egyetem, <sup>2</sup>Maros Megyei Klinikai Kórház Nefrológia Klinikai Részleg, <sup>3</sup>IV. sz. Belgyógyászati Tanszék, MOGYTTE

**Összefoglaló** • Az inzulinrezisztencia a hipertónia kialakulásában és progressziójában meghatározó szerepet játszó kardiometabolikus eltérés, amely szoros kapcsolatban áll a diabetes mellitus, a metabolikus szindróma és a kardiovaszkuláris betegségek megjelenésével. A rutinszerűen elérhető laborparamétereken alapuló, inzulinmeghatározást nem igénylő származtatott markerek egyre nagyobb jelentőséget kapnak a hipertóniás betegek metabolikus kockázatának megítélésében. Retrospektív vizsgálatunkban esszenciális hipertóniában szenvedő betegek különböző metabolikus státuszú alcsoportjaiban – normoglykaemiás, prediabeteses és 2-es típusú diabetes mellitusban szenvedő betegek körében – elemeztük a rutinszerű laborparaméterekből számított inzulinrezisztencia-indexek (TyG-index, TyG-TTI, Tg/HDL arány, METS-IR) és a klinikai jellemzők közötti összefüggéseket. Az indexek szignifikáns eltéréseket mutattak a vizsgált betegcsoportok között, és alkalmasnak bizonyultak a metabolikus eltérések kimutatására; a komplexebb mutatók – különösen a METS-IR – pontosabban tükrözték a kardiometabolikus kockázatot, míg az egyszerűbbek elsősorban szűrési célra voltak alkalmazhatók. Ezen indexek alkalmazása elősegítheti a metabolikus kockázat korai felismerését és a betegek kockázat szerinti besorolását hipertóniában.

**Kulcsszavak** • inzulinrezisztencia, TyG-index, TyG-TTI, Tg/HDL arány, METS-IR

DOI: 10.2478/orvtudert-2026-0008

Orvostudományi Értesítő 2026, 99(1): 112–124

## Bevezető

A kardiovaszkuláris megbetegedések (cardiovascular diseases, CVDs) világszerte a vezető halálokok közé tartoznak. A hipertónia (HT) az egyik legfontosabb, jól ismert, ugyanakkor gyakran aluldiagnosztizált és kezeletlen rizikófaktor, melynek globális prevalenciája magas, ugyanakkor a felismerés és a kontroll aránya továbbra is elégtelen [1]. A hipertónia kialakulásában számos nem módosítható tényező – például életkor, genetikai háttér, nem és etnikai sajátosságok – mellett több módosítható rizikófaktor is szerepet játszik, melyek közül kiemelendő az obezitás, fizikai inaktivitás, dohányzás és alkoholfogyasztás [2, 17].

Az inzulinrezisztencia (IR) olyan komplex metabolikus állapot, amelyben csökken a perifériás inzulinérzékenység, és kompenzatorikus hiperinzulinémia alakul ki, mely hosszú távon béta-sejt diszfunkcióhoz vezethet. Ez kiemeli a korai felismerés jelentőségét a prevenció szempontjából. Az IR korai felismerése kiemelt jelentőségű a kardiometabolikus szövődmények prevenciójában [3].

A klinikai gyakorlatban az inzulinrezisztencia indirekt markereiként gyakran alkalmazzák a testtömeg-indexet (TTI), a hasi obezitást és a derékkörfogatot, azonban ezek pontossága korlátozott [4,5]. A direkt inzulinérzékenységet mérő módszerek – például a hiperinzulinémiás-euglikémiás clamp technika – rutinszerű alkalmazhatósága korlátozott, ezért az utóbbi években egyre nagyobb figyelem irányult az egyszerűen meghatározható, rutin laborparamétereken alapuló származtatott indexekre [6].

A triglicerid-glükóz index (TyG-index), a TyG-TTI index, valamint egyéb kombinált metabolikus mutatók egyre szélesebb körben alkalmazott biomarkerek az inzulinrezisztencia becslésére [7–9]. A triglicerid/HDL-koleszterin arány (Tg/HDL arány) szintén használható marker, azonban diszkriminációs teljesítménye általában elmarad az összetettebb indexekétől [10,11].

A METS-IR (Metabolic Score for Insulin Resistance) egy komplexebb, több paraméter integrálásán alapuló index, amely szignifikáns kapcsolatot mutatott a kardi-

**1. táblázat.** A vizsgált csoportok paramétereinek összehasonlítása

| Paraméterek                | HT Csoport     | HT+DM Csoport  | p-érték  |
|----------------------------|----------------|----------------|----------|
| Éhomi glükóz szint (mg/dL) | 100,19 ± 21,15 | 129,00 ± 58,93 | <0,00001 |
| Átlag vérnyomás (mmHg)     | 132/80 ± 16/10 | 139/81 ± 18/10 | 0,091    |
| Triglicerid (mg/dL)        | 114,5 ± 54,1   | 158,2 ± 91,4   | 0,006    |
| HDL-koleszterin (mg/dL)    | 44,0 ± 11,1    | 36,85 ± 9,3    | 0,000006 |
| LDL-koleszterin (mg/dL)    | 111,15 ± 42,05 | 114,11 ± 44,96 | 0,81     |
| TTI (kg/m <sup>2</sup> )   | 25,19 ± 5,82   | 28,32 ± 5,32   | <0,00001 |
| TyG index                  | 8,59 ± 0,50    | 9,17 ± 0,58    | <0,0001  |
| TyG-TTI                    | 219,25 ± 54,60 | 264,38 ± 53,83 | 0,00001  |
| TG/HDL arány               | 2,61 ± 1,72    | 4,62 ± 3,40    | 0,00001  |
| METS-IR                    | 38,98 ± 10,11  | 51,63 ± 10,53  | <0,001   |
| Átlagéletkor               | 70,54 ± 11,54  | 72,14 ± 9,06   | 0,28     |
| Férfi/Nő arány             | 54%/46%        | 52%/48%        | 0,78     |

ometabolikus multimorbiditás (CMM- cardiometabolic multimorbidity) kockázatával [12]. A legújabb tanulmányok alapján ezek az indexek nemcsak az inzulinrezisztencia jelenlétével, hanem a kedvezőtlenebb metabolikus profillal is asszociációt mutatnak [12,13].

Ezen markerek alkalmazása különösen fontos hipertóniás betegek körében, mivel ebben a populációban a metabolikus eltérések gyakran rejtve maradnak. Ennek értelmében, a metabolikus indexek célzott befolyásolása életmódbeli és gyógyszeres intervenciókkal potenciálisan csökkentheti a kardiovaszkuláris kockázatot.

Vizsgálatunk célja a rutin laboratóriumi paraméterekből származtatott inzulinrezisztencia-indexek klinikai jelentőségének elemzése hipertóniás populációban, különös tekintettel azok metabolikus szindrómával és kedvezőtlenebb metabolikus profillal mutatott összefüggéseire.

## Anyag és módszer

Retrospektív, keresztmetszeti vizsgálat keretében elemeztük a Marosvásárhelyi Megyei Klinikai Kórház III. számú Belgyógyászati Klinikáján kezelt betegek adatait. A vizsgálat etikai jóváhagyást követően történt.

Összesen 162 beteg került bevonásra. Az első csoportba 114 hipertóniás beteg (HT csoport), míg a második csoportba 48 hipertóniában és 2-es típusú diabetes mellitusban szenvedő beteg (HT+DM csoport) került. A betegek 2024 januárja és 2025 márciusa között részesültek speciális belgyógyászati ellátásban.

Kizárási kritériumok:

- 18 év alatti életkor
- várandósság
- 1-es típusú diabetes mellitus
- inzulinkezelésben részesülő 2-es típusú diabetes mellitus
- malignus betegség
- akut infekció

A vizsgálati populációban rögzítettük:

- a demográfiai adatokat (életkor, nem)
- a társbetegségeket
- a dohányzási státuszt
- valamint a metabolikus szindróma komponenseit

A laboratóriumi paraméterek közül elemeztük:

- az éhomi vércukorszintet
- a trigliceridszintet
- az LDL- és HDL-koleszterin szinteket
- valamint meghatároztuk a testtömegindexet

Az inzulinrezisztencia becslésére szolgáló származtatott indexeket validált képletek alapján számítottuk.

- TyG-index:  $TyG = \ln [triglicerid (mg/dl) \times glükóz (mg/dl)/2]$
- TyG-TTI:  $TyG-TTI = TyG \times TTI (kg/m^2)$
- Tg/HDL arány:  $Tg/HDL = triglicerid (mg/dl) / HDL-c (mg/dl)$
- METS-IR:  $METS-IR = (\ln [(2 \times \text{éhszénhidrát glükóz (mg/dL)}) + triglicerid (mg/dL)]) \times TTI / \ln [HDL-c (mg/dL)]$

A szakirodalomban alkalmazott  $\geq 35$ -ös cut-off értéket vettük figyelembe.

**2. táblázat.** A társbetegségek előfordulásának összehasonlítása a hipertóniás és a hipertónia + diabetes mellitus csoportok között

| Társbetegségek              | HT Csoport | HT+DM Csoport | P     |
|-----------------------------|------------|---------------|-------|
| Perifériás érszűkület       | 44%        | 42%           | 0,45  |
| Krónikus vénás elégtelenség | 11%        | 3%            | 0,07  |
| Krónikus vesebetegség       | 14%        | 24%           | 0,013 |
| Hiperurikémia               | 17%        | 13%           | 0,74  |
| Zsír máj                    | 14%        | 18%           | 0,14  |

A vizsgálati populációt a TyG-index eloszlása alapján kvartilisekbe soroltuk. A kvartilis-határokat a 25., 50. és 75. percentilisek alapján határoztuk meg.

Az adatokat Microsoft Excel adatbázisban rögzítettük és GraphPad Prism 10.1.1 statisztikai programmal elemeztük. Kétféle összehasonlításra paraméteres és nem paraméteres tesztek alkalmaztunk, kategóriás változók esetén  $\chi^2$ -próbát, míg korrelációs elemzéshez Pearson- és Spearman-féle korrelációt használtunk. A statisztikai szignifikancia határát  $p < 0,05$ -ben határoztuk meg.

ROC-analízissel értékeltük az egyes inzulinrezisztencia-indexek diszkriminációs képességét a metabolikus szindróma jelenlétének azonosítására hipertóniás betegek körében. Emellett bináris logisztikus regressziós modellt alkalmaztunk, amelyben a HT+DM státusz szerepelt függő változóként. Az eredményeket odds ratio (OR) és 95%-os konfidenciaintervallum (95% CI) formájában adtuk meg.

## Eredmények

A vizsgálatba összesen 162 beteg került bevonásra. A HT csoport ( $n=114$ ) és a HT+DM csoport ( $n=48$ ) nemi megoszlása hasonló volt. Az átlagéletkor nem különbözött

**4. táblázat.** A testtömegindex-kategóriák megoszlása a HT és HT+DM csoportokban

| TTI                | HT Csoport | HT+DM Csoport | p-érték  |
|--------------------|------------|---------------|----------|
| Alultáplált        | 1%         | 0%            | <0,00001 |
| Normális testsúly  | 44%        | 15%           | <0,00001 |
| Túlsúlyos          | 30%        | 42%           | <0,00001 |
| I. fokú obezitás   | 9%         | 21%           | <0,00001 |
| II. fokú obezitás  | 13%        | 14%           | <0,00001 |
| III. fokú obezitás | 3%         | 8%            | <0,00001 |

**3. táblázat.** A dohányzási státusz megoszlása a vizsgált csoportokban és annak szignifikáns különbségei

| Dohányzás | HT Csoport | HT+DM Csoport | p-érték |
|-----------|------------|---------------|---------|
| Igen      | 47%        | 21%           | <0,001  |
| Nem       | 53%        | 79%           | <0,001  |

szignifikánsan a két csoport között, ugyanakkor a HT csoportban nagyobb variabilitás volt megfigyelhető (**1. táblázat**).

A két csoport komorbiditási profilja jelentős átfeledést mutatott, különösen a perifériás artériás betegség tekintetében, amely mindkét csoportban gyakori volt. A HT+DM csoportban ugyanakkor gyakoribb volt a krónikus vesebetegség és a nem alkoholos zsír máj előfordulása (**2. táblázat**).

A dohányzás prevalenciája szignifikánsan különbözött a két csoport között ( $p < 0,001$ ) (**3. táblázat**).

A HT+DM csoportban kedvezőtlenebb testtömegindex-eloszlás volt megfigyelhető, a túlsúly és az obezitás magasabb arányával ( $p < 0,00001$ ) (**4. táblázat**).

A hipertóniás csoport TyG adatait kvartilisekbe osztottuk, amint ezt az **5. táblázat** szemlélteti.

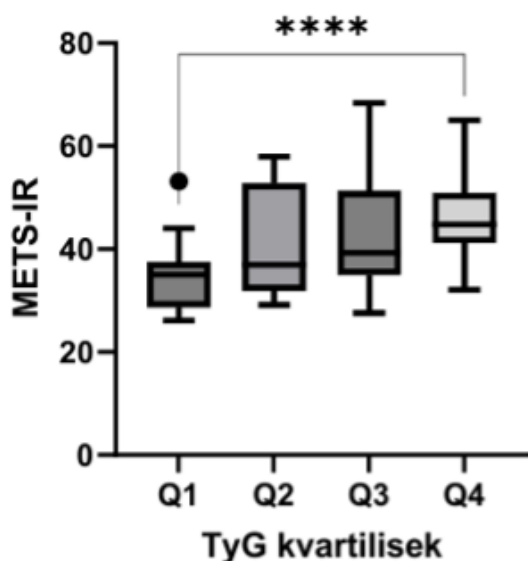
A hipertóniás populációban a TyG-index kvartilisei mentén a METS-IR értékek szignifikáns különbséget mutattak (Kruskal-Wallis teszt,  $p < 0,0001$ ) (**1. ábra**). A TyG-index növekvő kvartiliseihez progresszíven emelkedő METS-IR értékek társultak.

A Dunn-féle post hoc analízis alapján a legfelső kvartilisban mért METS-IR értékek szignifikánsan magasabbak voltak az alsó kvartilishoz képest ( $p < 0,0001$ ).

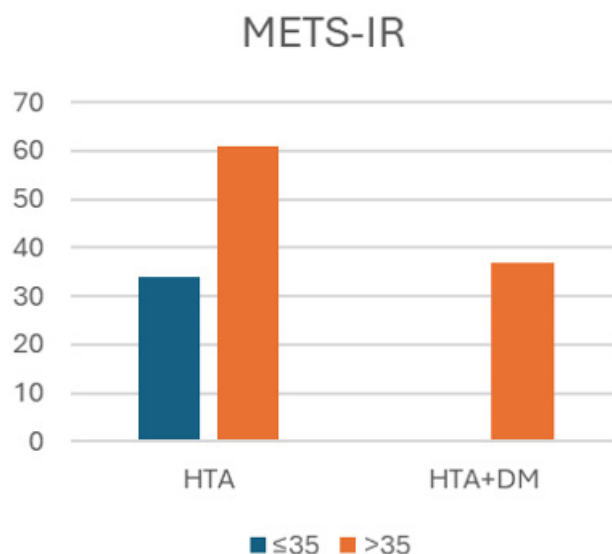
A METS-IR és a vérnyomásértékek közötti összefüggés vizsgálata során a szisztolés vérnyomás és a METS-IR között nem találtunk szignifikáns korrelációt ( $r=0,006$ ;  $p=0,953$ ). A diasztolés vérnyomás és a METS-IR között gyenge, de statisztikailag szignifikáns pozitív korreláció volt megfigyelhető ( $r=0,198$ ;  $p=0,039$ ).

**5. táblázat.** TyG index értékei kvartilisek szerinti felosztásban.

| Kvartilis | Tartomány    |
|-----------|--------------|
| Q1        | $\leq 3,570$ |
| Q2        | 3,571–3,735  |
| Q3        | 3,736–3,875  |
| Q4        | $> 3,875$    |



**1. ábra.** A METS-IR értékek megoszlása a TyG kvartilisei szerint hipertóniás betegcsoportban



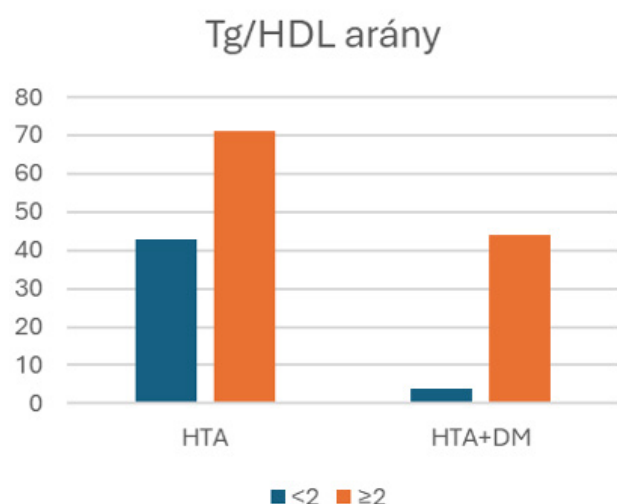
**2. ábra.** A csoportok eloszlása a METS-IR függvényében

A METS-IR értékek megoszlása alapján mindkét csoportban a  $\geq 35$ -ös küszöbérték feletti értékek domináltak, azonban a HT+DM csoportban az alacsony metabolikus kockázatú egyének aránya minimális volt (2. ábra).

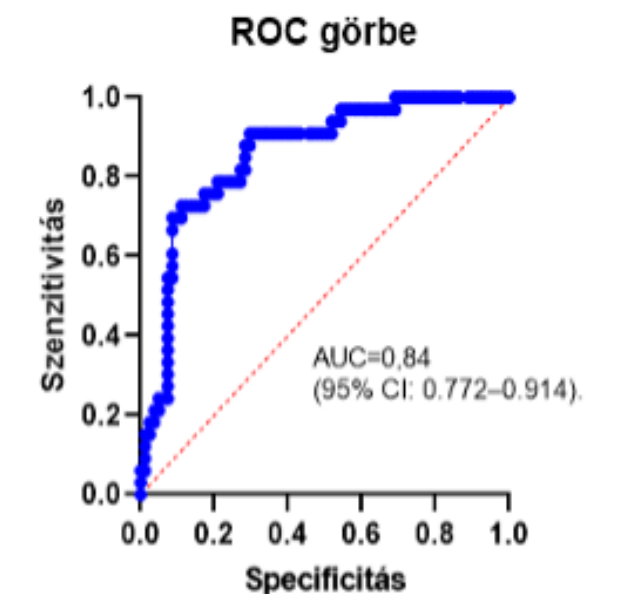
A Tg/HDL arány  $\geq 2$  értéke mindkét csoportban gyakori volt, ugyanakkor a HT+DM csoportban az alacsony rizikójú kategória ritkán fordult elő ( $p < 0,001$ ) (3. ábra).

ROC-analízis során a METS-IR kedvező diszkriminációs képességet mutatott a metabolikus szindróma jelenlétének azonosításában hipertóniás betegek körében ( $AUC=0,84$ ; 95% CI: 0,78–0,93) (5. ábra).

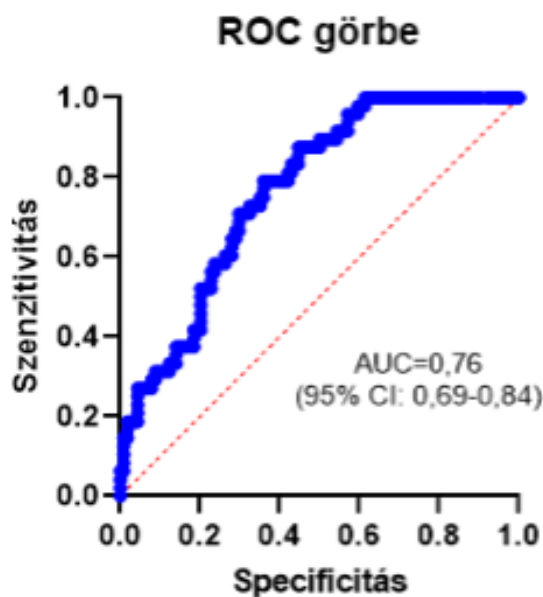
A TyG-index mérsékelt diszkriminációs képességet mutatott a metabolikus szindróma jelenlétének azonosításában ( $AUC \approx 0,76$ ). Az optimális cut-off érték megközelítőleg 8,8 volt (5. ábra).



**3. ábra.** A csoportok eloszlása a Tg/HDL arány függvényében



**4. ábra.** A METS-IR diszkriminációs képessége hipertóniás betegekben



**5. ábra.** A TyG-index diszkriminációs képessége hipertóniás betegekben

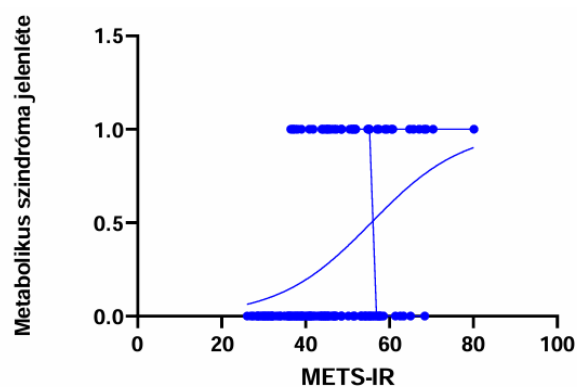
A logisztikus regressziós modellben a METS-IR szignifikáns összefüggést mutatott a HT+DM státusszal (OR=1,095; 95% CI: 1,058–1,138;  $p<0,0001$ ) (6. ábra).

## Megbeszélés

Vizsgálatunk egyik fő megállapítása, hogy a TyG-index kvartilisei mentén a METS-IR értékek progresszív emelkedést mutattak nem diabéteszes hipertóniás betegekben, ami dózis–válasz jellegű kapcsolatot jelez az inzulinrezisztencia és a metabolikus státusz között. Ez összhangban áll korábbi kohorszvizsgálatokkal, amelyek a TyG-alapú indexek korai kockázatstratifikációs szerepét is igazolták [13,15,23].

A METS-IR a ROC-analízis alapján kiváló diszkriminációs teljesítményt mutatott ( $AUC\approx 0,84-0,85$ ), míg a TyG-index közepes pontosságot ( $AUC\approx 0,76$ ). Ez arra utal, hogy a METS-IR komplexebb metabolikus integrációja révén pontosabban azonosítja a magas kardiometabolikus kockázatú betegeket, míg a TyG-index inkább szűrőmarkerként értelmezhető.

A METS-IR több metabolikus komponens integrálásán alapul, ami magyarázhatja jobb prediktív és diszkriminációs teljesítményét, amelyet logisztikus regressziós eredményeink is alátámasztanak. Ezzel szemben a Tg/HDL arány szintén kapcsolatot mutatott a metabolikus eltérésekkel, azonban prediktív teljesítménye elmaradt a komplexebb indexekétől [20,21,22].



**6. ábra.** A METS-IR és a hipertónia+diabetes státusz közötti kapcsolat logisztikus regressziós modell alapján.

A TyG-index ugyanakkor egyszerűsége és költséghatékonyága miatt továbbra is hasznos szűrőeszköz marad, különösen primer ellátásban.

Eredményeink szerint a HT+DM csoportban gyakoribb volt a krónikus vesebetegség és a nem alkoholos zsírmáj előfordulása, ami összhangban áll a nemzetközi irodalommal [16], és alátámasztja az inzulinrezisztencia központi szerepét a kardiometabolikus eltérések kialakulásában és progressziójában.

Ez a komorbiditási mintázat illeszkedik a cardio-renal-metabolic syndrome (CRMS) koncepciójához, amelyben az inzulinrezisztencia kulcsszerepet játszik a több szervrendszert érintő folyamatokban [15,23].

Bár vizsgálatunkban a dohányzás alacsonyabb prevalenciát mutatott a magasabb kockázatú csoportokban, az irodalmi adatok szerint a nikotinexpozíció és az inzulinrezisztencia között komplex kapcsolat áll fenn [17], ami a metabolikus és viselkedési faktorok interakciójára utal.

Egyes vizsgálatok szerint a dohányzás és az LDL-koleszterin kapcsolata nem minden alcsoportban szignifikáns, ami részben összhangban áll saját megfigyeléseinkkel.

A TyG-index kvartilisei és a metabolikus szindróma közötti kapcsolatot korábbi vizsgálatok is megerősítik, amelyek szerint a magasabb TyG értékek fokozott kockázattal járnak [18]. A HT+DM csoportban megfigyelt magasabb TyG értékek ezt a tendenciát tükrözik.

A TyG-alapú kombinált indexek közül a TyG-TTI kiemelt prediktív jelentőséggel bír [19], és a vizsgálatunkban alkalmazott határértékek összhangban voltak az irodalmi adatokkal.

A METS-IR esetében a szakirodalomban leírt ~35-ös cut-off érték [12] megfelelt saját megfigyeléseinknek, és a

ROC-analízis alapján is megerősítette magas diszkriminációs teljesítményét.

Vizsgálatunk erőssége a több, rutinszerűen elérhető inzulinrezisztencia-marker egyidejű értékelése és összehasonlítása. Korlátai közé tartozik a retrospektív keresztmetszeti design, a viszonylag kis mintaszám, valamint a potenciális konfúzorok (gyógyszeres kezelés, életmód, diabetes fennállási idő) hiányos kontrollja.

## Következtetés

Eredményeink szerint a társbetegségek halmozódása arra utal, hogy a hipertónia és a diabetes mellitus együttes fennállása fokozott kardiometabolikus terheléssel jár.

Megfigyeléseink összhangban vannak azokkal a nemzetközi kutatásokkal, amelyek az inzulinrezisztenciát a metabolikus és kardiovaszkuláris eltérések egyik központi patomechanizmusaként írják le. Ezek alapján az inzulinrezisztencia-alapú indexek és biomarkerek nemcsak a metabolikus állapot jellemzésére alkalmasak,

hanem hozzájárulhatnak a magasabb kockázatú betegek korai felismeréséhez is.

## Rövidítések jegyzéke

- CVDs- Kardiovaszkuláris megbetegedések
- IR- inzulinrezisztencia
- TTI- testtömegindex
- HEGC- hyperinsulinemic-euglycemic clamp- hiperinzulinémiás euglikémiás glükóz clamp
- TyG index- triglicerid-glükóz index
- TyG-TTI - triglicerid-glükóz-testtömegindex
- Tg/HDL arány- triglicerid/HDL-koleszterin arány
- METS-IR- Metabolic Score for Insulin Resistance
- CMM- Cardiometabolic multimorbidity- kardio-metabolikus multimorbiditás

## Irodalom

*(Lásd az angol nyelvű cikk végén.)*