



**UNIVERSITATEA DE MEDICINĂ ȘI FARMACIE
„CAROL DAVILA”, BUCUREȘTI
ȘCOALA DOCTORALĂ
DOMENIUL MEDICINĂ**

***Impactul creșterii și antrenamentului asupra modificărilor ECG la sportivii
de performanță***

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

Conducător de doctorat

PROF. UNIV. DR. BĂDĂRĂU IOANA ANCA

Student-doctorand

SMARANDA ALINA MARIA

2025

Cuprins

Lista cu lucrările științifice publicate	2
Lista cu abrevieri și simboluri	Error! Bookmark not defined.
Lista tabele și figuri	Error! Bookmark not defined.
Introducere.....	Error! Bookmark not defined.
I. Partea generală	Error! Bookmark not defined.
1. Fundamentele medicinei sportive și cardiologiei sportive	9
1.1. Introducere în medicina sportivă și cardiologia sportivă.....	Error! Bookmark not defined.
1.1.1. Evoluția istorică și relevanța actuală.....	Error! Bookmark not defined.
1.1.2. Rolul avizului medico-sportiv	Error! Bookmark not defined.
1.1.3. Importanța cardiologiei în sănătatea și performanța sportivă ..	Error! Bookmark not defined.
1.2. Fiziologia răspunsului cardiovascular la efort	Error! Bookmark not defined.
1.2.1. Principii generale de fiziologie a efortului	Error! Bookmark not defined.
1.2.2. Tipuri de sport și impactul asupra sistemului cardiovascular ..	Error! Bookmark not defined.
1.2.3. Adaptări structurale și funcționale în cordul sportiv	Error! Bookmark not defined.
1.2.4. Factori determinanți: gen, vârstă, etnie, genetică	Error! Bookmark not defined.
1.2.5. Particularități la copii și adolescenți.....	Error! Bookmark not defined.
2. Screening cardiovascular în medicina sportivă: de la practică clinică la inovație ...	Error! Bookmark not defined.
2.1. Strategii de evaluare clinică a cordului sportiv	Error! Bookmark not defined.
2.1.1. Anamneză și examen obiectiv	Error! Bookmark not defined.
2.1.2. Rolul electrocardiografei (ECG)	Error! Bookmark not defined.
2.1.3. Investigații suplimentare	Error! Bookmark not defined.
2.2. Modificări ECG la sportivi	Error! Bookmark not defined.

2.2.1. Modificări fiziologice (normale).....	Error! Bookmark not defined.
2.2.2. Modificări borderline	Error! Bookmark not defined.
2.2.3. Modificări patologice (cu risc).....	Error! Bookmark not defined.
2.3 Provocări actuale și perspective viitoare	Error! Bookmark not defined.
II. Contribuții personale.....	Error! Bookmark not defined.
3. Ipoteza de lucru și obiectivele generale.....	Error! Bookmark not defined.
3.1. Fundamentarea temei și nevoia științifică	Error! Bookmark not defined.
3.2. Ipoteze de lucru.....	Error! Bookmark not defined.
3.3. Obiective generale ale cercetării	Error! Bookmark not defined.
4. Metodologia generală a cercetării.....	Error! Bookmark not defined.
4.1. Metodologia generală.....	Error! Bookmark not defined.
4.2. Considerații etice	Error! Bookmark not defined.
4.3. Analiza statistică	Error! Bookmark not defined.
5. Prevalența Modificărilor ECG la Sportivi și Validitatea Screeningului Sportivilor prin Avizul Medico-Sportiv: Studiu Observațional Retrospectiv Transversal .	Error! Bookmark not defined.
5.1. Introducere	Error! Bookmark not defined.
5.1.1. Justificarea și relevanța studiului	Error! Bookmark not defined.
5.1.2. Ipoteza de lucru	Error! Bookmark not defined.
5.1.3. Obiective specifice	Error! Bookmark not defined.
5.2. Material și metodă	Error! Bookmark not defined.
5.2.1. Designul studiului	Error! Bookmark not defined.
5.2.2. Populația de studiu	Error! Bookmark not defined.
5.2.3. Procedura de colectare a datelor.....	Error! Bookmark not defined.
5.2.4. Variabilele de studiu.....	Error! Bookmark not defined.
5.2.5. Instrumente de evaluare	Error! Bookmark not defined.
5.2.6. Considerații etice.....	Error! Bookmark not defined.
5.2.7. Analiza statistică	Error! Bookmark not defined.

5.2.8. Limitările studiului	Error! Bookmark not defined.
5.3. Rezultate	Error! Bookmark not defined.
5.3.1.Frecvența fiecărei variabile categoriale.....	Error! Bookmark not defined.
5.3.2. Media, mediana, deviația standard pentru variabilele numerice	Error! Bookmark not defined.
5.3.3. Statistici descriptive și asocieri în funcție de sex.....	Error! Bookmark not defined.
5.3.4. Analiza relației dintre tipul de sport practicat și modificările electrocardiografice	Error! Bookmark not defined.
5.3.5. Analiza relației dintre tipul de sport practicat și parametrii funcționali.....	Error! Bookmark not defined.
5.3.6. Prevalența și comparații ale concluziilor screening-ului ECG.....	Error! Bookmark not defined.
5.3.6. Asocieri parametrii funcționali.....	Error! Bookmark not defined.
5.3.7. Analiza și asocierii ale pattern-ului juvenil.....	Error! Bookmark not defined.
5.3.8. Validitatea screeningului ECG în avizul medico-sportiv.....	Error! Bookmark not defined.
5.4. Discuții	Error! Bookmark not defined.
5.5. Concluzii	Error! Bookmark not defined.
6. Evoluția ECG la gimnastele de performanță: analiză retrospectivă a adaptărilor la antrenament, predicția riscurilor și optimizarea circuitelor medico-sportive.....	Error! Bookmark not defined.
6.1. Introducere	Error! Bookmark not defined.
6.1.1. Justificarea și relevanța studiului	Error! Bookmark not defined.
6.1.2. Ipoteza de lucru	Error! Bookmark not defined.
6.1.3. Obiective specifice	Error! Bookmark not defined.
6.2. Material și metodă	Error! Bookmark not defined.
6.2.1. Designul studiului	Error! Bookmark not defined.
6.2.2. Populația de studiu	Error! Bookmark not defined.
6.2.3. Procedura de colectare a datelor.....	Error! Bookmark not defined.

6.2.4. Variabilele de studiu.....	Error! Bookmark not defined.
6.2.5. Instrumente de evaluare	Error! Bookmark not defined.
6.2.6. Considerații etice.....	Error! Bookmark not defined.
6.2.7. Analiza statistică	Error! Bookmark not defined.
6.2.8. Limitările studiului	Error! Bookmark not defined.
6.3. Rezultate	Error! Bookmark not defined.
6.3.1. Statistica descriptivă.....	Error! Bookmark not defined.
6.3.2. Analiza statistică a relației dintre parametri de antrenament și variabilele cardiovasculare.....	Error! Bookmark not defined.
6.3.3. Modelare predictivă și simulări Monte Carlo	Error! Bookmark not defined.
6.4. Discuții.....	Error! Bookmark not defined.
6.5. Concluzii.....	Error! Bookmark not defined.
7. Evaluarea utilizării avizului medico-sportiv și screeningului ECG în medicina sportivă: percepții și nevoi de educație.....	Error! Bookmark not defined.
7.1. Introducere	Error! Bookmark not defined.
7.1.1. Justificarea și relevanța studiului	Error! Bookmark not defined.
7.1.2. Ipoteza de lucru	Error! Bookmark not defined.
7.1.3. Obiective specifice	Error! Bookmark not defined.
7.2. Material și metodă	Error! Bookmark not defined.
7.2.1. Designul studiului	Error! Bookmark not defined.
7.2.2. Populația de studiu	Error! Bookmark not defined.
7.2.3. Criterii de includere și excludere	Error! Bookmark not defined.
7.2.4. Procedura de colectare a datelor.....	Error! Bookmark not defined.
7.2.4. Variabilele de studiu.....	Error! Bookmark not defined.
7.2.5. Instrumente de evaluare	Error! Bookmark not defined.
7.2.6. Considerații etice.....	Error! Bookmark not defined.
7.3. Interpretarea rezultatelor	Error! Bookmark not defined.
7.4. Discutii.....	Error! Bookmark not defined.

7.5. Concluzii.....	Error! Bookmark not defined.
Concluzii și contribuții personale	Error! Bookmark not defined.
Concluzii generale	Error! Bookmark not defined.
Contribuții originale ale autorului.....	Error! Bookmark not defined.
Bibliografia.....	Error! Bookmark not defined.
Anexa 1 – Avizul etică	Error! Bookmark not defined.
Anexa 2 – Recomandari aviz medico-sportiv EFSMA	Error! Bookmark not defined.
Anexa 3 – STROBE Checklist – Studiu 1: Prevalența Modificărilor ECG la Sportivi și Validitatea Screeningului Sportivilor prin Avizul Medico Sportiv: Studiu Observațional Retrospectiv Transversal	Error! Bookmark not defined.
Anexa 4 - STROBE Checklist – Studiu 2: Evoluția ECG la gimnastele de performanță: analiză retrospectivă a adaptărilor la antrenament, predicția riscurilor și optimizarea circuitelor medico-sportive.....	Error! Bookmark not defined.
Anexa 5 – SRQR - Lista de verificare pentru raportarea cercetării calitative pentru Studiul 3: Evaluarea utilizării avizului medico-sportiv și screeningului ECG în medicina sportivă: percepții și nevoi de educație.....	Error! Bookmark not defined.
Anexa 6 – Rezultate grafice Studiul 3: Evaluarea utilizării avizului medico-sportiv și screeningului ECG în medicina sportivă: percepții și nevoi de educație ..	Error! Bookmark not defined.

Lista cu lucrările științifice publicate

1. Ionescu AM, Pitsiladis YP, Rozenstoka S, Bigard X, Löllgen H, Bachl N, Debruyne A, Pigozzi F, Casasco M, Jegier A, **Smaranda AM***, Caramoci A, Papadopoulou T. *Preparticipation medical evaluation for elite athletes: EFSMA recommendations on standardised preparticipation evaluation form in European countries*. **BMJ Open Sport Exerc Med**. 2021;7(4):e001178. PMID: 34745648; **ESCI; Q1; original article**, *autor corespondent*, (Cap. 1),
<https://doi.org/10.1136/bmjsem-2021-001178>;
<https://bmjopensem.bmj.com/content/7/4/e001178>.
2. **Smaranda AM***, Dragoiu TS, Caramoci A, Afetelor AA, Ionescu AM, Badarau IA. *Artificial Intelligence in Sports Medicine: Reshaping Electrocardiogram Analysis for Athlete Safety – A Narrative Review*. **Sports**. 2024;12(6):144. PMID: 38921838; **ESCI; IF (2024): 2.2; Q2; review**, *autor principal și corespondent*, (Cap.2)
<https://doi.org/10.3390/sports12060144>;
<https://www.mdpi.com/2075-4663/12/6/144>.
3. **Smaranda AM***, Caramoci A, Dragoiu TS, Badarau IA. *ECG Evolution in Elite Gymnasts: A Retrospective Analysis of Training Adaptations, Risk Prediction, and PPE Optimization*. **Diagnostics**. 2025;15(8):1007. PMID: 40310365; **SCIE; IF (2024): 3; Q1; original article**, *autor principal și corespondent*,
<https://doi.org/10.3390/diagnostics15081007>, (Cap. 6),
<https://www.mdpi.com/2075-4418/15/8/1007>.
4. Caramoci A, **Smaranda AM***, Drăgoiu TS, Bădărău IA. *ECG Screening in Athletes: A Systematic Review of Sport, Age, and Gender Variations*. **Reviews in Cardiovascular Medicine**. 2025;26(5):38209; PMID: 40475715; **SCIE; IF (2024): 1.9; Q3; review sistematic**, *autor corespondent*, (Cap. 5)
<https://doi.org/10.31083/RCM38209>;
<https://www.imrpress.com/journal/RCM/26/5/10.31083/RCM38209>;

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

Impactul creșterii și antrenamentului asupra modificărilor ECG la sportivii de performanță

În medicina sportivă, decizia de a retrage un sportiv de performanță din activitate nu este niciodată pur algoritmică. Ea implică mai mult decât interpretarea unor parametri obiectivi – este o decizie cu încărcătură emoțională profundă, în care un traseu ECG poate deveni, uneori, linia de demarcație dintre o carieră sportivă și o medalie pierdută. În acest context, electrocardiograma joacă un rol esențial în cadrul avizului medico-sportiv, oferind informații valoroase despre adaptările cardiace la efort și despre eventualele semne precoce ale unor afecțiuni subclinice. Totuși, interpretarea ECG-ului la sportivi continuă să fie o provocare reală în practica medicală.

Lucrarea de față își propune să analizeze impactul combinat al creșterii biologice și al antrenamentului sistematic asupra modificărilor electrocardiografice la sportivii de performanță, într-un demers care îmbină experiența clinică cu analiza științifică. Pornind de la realitățile din teren, unde deciziile medicale trebuie luate rapid, dar fundamentat, cercetarea urmărește să contribuie la clarificarea diferenței dintre adaptare și patologie, sprijinind astfel dezvoltarea unei practici medicale echilibrate, raționale și aliniate la nevoile reale ale sportivilor.

Teza este structurată în două părți principale: o parte generală, care fundamentează teoretic demersul științific, și o secțiune de contribuții personale, care reflectă activitatea de cercetare originală. Partea generală cuprinde două capitole. Primul capitol prezintă elementele esențiale ale medicinei și cardiologiei sportive, cu accent pe fiziologia efortului și pe factorii care influențează adaptările cardiace la sportivi. Al doilea capitol este dedicat screening-ului cardiovascular în medicina sportivă, cu o analiză a modificărilor electrocardiografice și a provocărilor actuale din practica clinică.

Partea a doua este alcătuită din cinci capitole. După formularea ipotezelor și obiectivelor generale, este detaliată metodologia de cercetare, urmată de trei studii originale: un studiu observațional retrospectiv privind prevalența modificărilor ECG și validitatea

avizului medico-sportiv, un studiu retrospectiv, longitudinal centrat pe evoluția ECG la gimnastele de performanță și un studiu calitativ despre percepțiile și nevoile medicilor de medicină sportivă în ceea ce privește interpretarea ECG. Lucrarea se încheie cu prezentarea concluziilor generale și a contribuțiilor originale ale autorului.

Demersul științific prezentat în această teză este susținut de o bibliografie extinsă, alcătuită din 188 de surse, selectate riguros din literatura de specialitate națională și internațională. Dintre acestea, 153 au fost publicate în ultimii 10 ani, iar peste jumătate – 101 – aparțin ultimilor 5 ani, reflectând astfel un efort constant de aliniere la cele mai recente cercetări și recomandări din domeniu. Această fundamentare actualizată oferă lucrării nu doar consistență teoretică, ci și relevanță practică, consolidând rolul tezei ca punct de plecare în elaborarea unor ghiduri moderne, adaptate contextului național, pentru evaluarea cardiovasculară a sportivilor de performanță.

I. Partea generală

1. Fundamentele medicinei sportive și cardiologiei sportive

Primul capitol al tezei oferă o incursiune cuprinzătoare în fundamentele medicinei sportive și ale cardiologiei sportive, subliniind evoluția acestui domeniu complex. Tot aici este prezentat și explicat avizul medico-sportiv ca instrument de prevenție și optimizare a performanței, precum și importanța integrării ECG - ului în evaluarea stării de sănătate a sportivilor, în acord cu literatura recentă.[1–3]. O parte a capitolului este dedicată fiziologiei efortului, cu accent pe interacțiunea dintre tipul de activitate fizică și răspunsul cardiovascular specific[4,5]. Sunt discutate atât adaptările caracteristice cordului sportivului[3] și factorii care pot modula aceste răspunsuri, precum sexul, vârsta, bagajul genetic și particularitățile etnice[6–8]. De asemenea, sunt abordate aspectele distinctive ale adaptărilor cardiovasculare la copii și adolescenți, unde diferențierea între modificările fiziologice și cele potențial patologice impune o analiză interpretativă atentă și contextualizată[9].

2. Screening cardiovascular în medicina sportivă: de la practică clinică la inovație

Al 2-lea capitol aprofundează strategiile actuale de screening cardiovascular în medicina sportivă, de la anamneză, examen clinic și ECG-ul de repaus, până la investigații

avansate și algoritmi de interpretare. Sunt prezentate evoluțiile ghidurilor internaționale, rolul inteligenței artificiale și importanța unei abordări multidisciplinare în evaluarea siguranței sportivului[10–12]. În acest context, electrocardiograma de repaus în 12 derivații devine un element indispensabil al screening-ului cardiovascular, completând informațiile clinice cu date obiective despre activitatea electrică a inimii. Evoluția criteriilor de interpretare ECG la sportivi a avut un impact major asupra acurateții diagnostice. De la clasificările inițiale și până la Criteriile Internaționale din 2017, care au introdus o clasificare în trei grupe – normal, borderline și anormal – reducând semnificativ rata rezultatelor fals pozitive și oferind o abordare mai adaptată în funcție de vârstă, sex și particularități etnice[2,13,14,1]. În plus, aplicarea algoritmilor automatizați și a inteligenței artificiale în analiza ECG amplifică aceste beneficii, optimizând screeningul cardiac în termeni de eficiență, cost și siguranță[15]. Screening-ul cardiovascular bazat pe criterii standardizate și tehnologii moderne reprezintă o componentă esențială în protejarea sănătății sportivilor și în fundamentarea unor decizii medicale echilibrate și informate.

II. Contribuții personale

3. Ipoteze de lucru și obiective generale

Avizul medico-sportiv, reglementat de Legea nr. 69/2000 și Ordinul MTS nr. 1058/2003, constituie un instrument medico-legal esențial pentru a permite sportivilor legitimați să participe la antrenamente și competiții în siguranță. Prezenta teză investighează relevanța și aplicabilitatea electrocardiografei în cadrul acestui proces și identificarea unor direcții concrete de dezvoltare instituțională și educațională.

Obiectivele generale ale tezei sunt următoarele:

- **O1:** Să evalueze prevalența modificărilor ECG la sportivii de performanță, în corelație cu parametrii fiziologici, antropometrici și cu specificul disciplinei sportive practicate;
- **O2:** Să analizeze evoluția longitudinală a adaptărilor ECG la un lot reprezentativ de gimnaste de elită, în raport cu vârsta biologică, vechimea în sport și alți markeri de performanță cardiometabolică și funcțională;

- **O3:** Să dezvolte și să testeze modele predictive pentru modificările ECG, utilizând metode de simulare statistică, în scopul fundamentării unor strategii personalizate și cost-eficiente de screening periodic;
- **O4:** Să investigheze percepțiile și practicile medicilor de medicină sportivă din România, privind interpretarea ECG-ului, emiterea avizului medico-sportiv și necesitatea unui cadru de educație profesională continuă;
- **O5:** Să formuleze recomandări aplicabile în politicile publice și bunele practici profesionale.

4. Metodologia generală a cercetării

Prezenta teză de doctorat integrează trei studii complementare ce vizează validarea științifică a utilizării ECG în screening-ul cardiovascular al sportivilor din România. Studiul 1 este observațional, retrospectiv, realizat pe 577 sportivi. Studiul 2, longitudinal retrospectiv, a urmărit timp de peste 7 ani un lot reprezentativ de 12 gimnaste de elită. Studiul 3 este calitativ, bazat pe un chestionar aplicat unui eșantion național relevant de 52 medici specialiști. Întregul demersul științific a fost aprobat de Subcomisia de Etică a Cercetării Științifice din cadrul Universității de Medicină și Farmacie „Carol Davila” din București, prin Avizul nr. 7603/25.

Analiza statistică a fost riguros adaptată specificului metodologic al fiecărui studiu, urmărind validarea ipotezelor formulate și susținerea obiectivelor cercetării. În studiile observaționale (Studiile 1 și 2), s-au aplicat metode descriptive și inferențiale, incluzând testul Chi-pătrat, ANOVA, coeficientul Cramer's V, testul t pentru eșantioane independente, regresii liniare, modele ARIMA și simulări Monte Carlo. Studiul 3, de tip calitativ, a fost analizat prin codificare tematică și interpretare narativă, cu integrarea frecvențelor răspunsurilor închise în analiza comprehensivă a datelor. Prelucrarea statistică a fost realizată utilizând SPSS v29, Oracle Crystal Ball, Python 3.11 și Microsoft Excel.

5. Prevalența modificărilor ECG la sportivi și validitatea screeningului prin Avizul Medico-Sportiv: Studiu Observațional Retrospectiv Transversal

Studiul 1 are un design retrospectiv, observațional și transversal, axat pe analiza fișelor medico-sportive arhivate în cadrul INMS pentru anul 2023, cu scopul de a evalua

distribuția modificărilor ECG și validitatea screening-ului cardiovascular în condiții reale de practică. Populația de studiu a inclus 577 sportivi de performanță legitimați în loturile naționale ale României, cu vârste între 16 și 35 de ani, provenind din discipline reprezentative pentru cele trei tipuri de metabolism energetic (anaerob, mixt, aerob): fotbal, rugby, canotaj, maraton, triatlon, haltere și atletism. Selecția a urmat criterii stricte de includere și excludere, iar eșantionarea a fost de tip conveniență stratificată, în funcție de tipul de efort predominant. Colectarea datelor s-a realizat retrospectiv, exclusiv din surse instituționale oficiale, asigurând un grad ridicat de standardizare și validitate internă. Principala limitare a studiului constă în caracterul retrospectiv al datelor, modul de eșantionare și reprezentativitatea scăzută a femeilor, ceea ce reduce posibilitatea de generalizare și impune prudență în extrapolarea concluziilor.

În cadrul acestui studiu, obiectivul principal a fost determinarea prevalenței modificărilor ECG la sportivii de performanță, conform Criteriilor Internaționale de Interpretare a ECG. Studiul a inclus un eșantion omogen de 577 de sportivi legitimați în loturile naționale ale României, cu vârste între 16 și 35 de ani, aparținând unor discipline variate.

Rezultatele au evidențiat că 83,5% dintre ECG-uri au fost încadrate ca fiziologice, iar 16,5% ca patologice, fără apariția niciunui caz clasificat în categoria „borderline”. Absența completă a acestei categorii intermediare, rar raportată în literatura de specialitate, confirmă eficiența criteriilor în reducerea ambiguității interpretative și a investigațiilor suplimentare nejustificate[16,17]. Comparativ, un studiu similar efectuat pe sportivi din loturile naționale italiene (n=772) a raportat o prevalență de 17,9% a ECG-urilor patologice, confirmând consistența datelor obținute [18].

Printre cele mai frecvente modificări fiziologice identificate s-au numărat: bradicardia sinusală (56,8%), criteriile electrice pentru hipertrofia ventriculară stângă (11,3%), aritmia respiratorie (9,7%) și patternul juvenil (4%). Aceste valori se încadrează în intervalele raportate de literatura de specialitate. Deviațiile axului QRS au fost identificate la 3,3% și 5,4%, depășind prevalențele raportate în alte studii. Modificările undei T au inclus unde T negative (3,6%), unde T bifide (6,6%) și unde T bifazice (1%), cu o prevalență cumulată comparabilă cu datele din alte studii internaționale[19]. Fragmentarea complexului QRS a fost observată la 1,9% dintre sportivi, o valoare mai redusă față de unele studii care au raportat prevalențe de 7% [20] , sugerând că, în acest lot, această modificare apare rar și

poate reflecta remodelări benigne. De asemenea, pattern-ul ECG sugestiv pentru sindromul Wolff–Parkinson–White WPW a fost identificat la 0,5% dintre sportivi, în concordanță cu prevalențele internaționale (0,1–0,7%)[21,22].

În cadrul obiectivului O2, studiul a urmărit validarea screening-ului cardiac prin corelarea electrocardiogramei de repaus cu investigații suplimentare, în special ecocardiografia. Rezultatele au demonstrat că ECG-ul prezintă o specificitate excelentă (100%), o acuratețe globală de 98,61% și o sensibilitate de 92,23%, cu doar 8 cazuri de fals negative. Aceste performanțe validează ECG-ul ca instrument de primă linie în screening-ul cardiologic la sportivi de performanță. Literatura de specialitate susține aceste concluzii. [21]

În studiul de față, 94 de sportivi considerați inițial inapți pe baza modificărilor ECG au fost reevaluați prin ecocardiografie, fiind ulterior declarați apți. Diferența a fost semnificativă statistic ($p < 0,0001$; Cramer's $V = 0,25$). În acest context, utilizarea unor algoritmi decizionali moderni poate asigura un echilibru optim între siguranță și eficiență economică [169]. Totuși, conform Ghidului Societății Britanice de Ecocardiografie (2025), ecocardiografia nu este recomandată ca test de rutină, fiind indicată doar în prezența unor modificări ECG patologice, simptome cardiace sau istoric familial sugestiv [23].

Obiectivul O3 a urmărit analiza diferențiată a modificărilor ECG în funcție de tipul de efort predominant (aerob, anaerob, mixt) și de factori demografici precum sexul și vârsta. Rezultatele evidențiază adaptări cardiace electrofiziologice specifice care reflectă răspunsul organismului la diferite solicitări antrenamentale și profiluri fiziologice. Astfel, bradicardia sinusală a fost semnificativ mai frecventă în rândul sportivilor implicați în discipline aerobe (68,5%), comparativ cu sporturile mixte (53,1%) și anaerobe (47,6%) ($p < 0,001$; $V = 0,177$), ceea ce susține adaptarea vagală profundă asociată cu efortul dinamic susținut.

În ceea ce privește criteriile electrice de hipertrofia ventriculară stângă, aceasta a fost predominantă în sporturile de duranță (21%), comparativ cu cele mixte (6,2%) și anaerobe (6%) ($p < 0,001$; $V = 0,224$), evidențiind impactul volumului crescut de efort asupra structurii cardiace. Blocurile atrioventriculare au fost mai des întâlnite în sporturile mixte (8,1%), iar aritmia respiratorie a fost asociată în special cu efortul aerob (14,5%) ($p < 0,001$). Totodată, pattern-ul de repolarizare precoce, a apărut doar la sportivi din discipline mixte (2,9%) și aerobe (8%).

Din perspectiva sexului, s-au observat diferențe notabile în prevalența anumitor modificări. Bradicardia și criteriile electrice pentru hipertrofie ventriculară stângă au fost mai

frecvente la bărbați, în timp ce pattern-ul juvenil și unda T bifidă s-au regăsit mai des la femei. Undele T negative au fost mai frecvente la sportivii de sex masculin, în timp ce undele T bifide (10% în sporturile aerobe) și bifazice (2,9% în sporturile mixte) au evidențiat o corelație semnificativă cu tipul de efort, susținând ipoteza unui mecanism distinct de repolarizare în funcție de profilul de antrenament și gen.

În ceea ce privește vârsta, pattern-ul juvenil a fost mai frecvent întâlnit la sportivii sub 16 ani (8,5%), dar a fost prezent și la vârste mai mari (3,6%), mai ales la sportivele de sex feminin. Persistența acestuia peste pubertate, confirmată și de alte studii, sugerează că nu trebuie interpretată automat ca patologică, ci trebuie corelată cu alte semne clinice și paraclinice.

Concluzionând, acest prim studiu retrospectiv evidențiază faptul că interpretarea corectă a ECG-ului de repaus, utilizând Criteriile Internaționale actuale, permite o diferențiere eficientă între adaptările fiziologice la efort și potențialele semnale de alarmă cardiologică, contribuind semnificativ la validarea avizului medico-sportiv ca instrument de screening funcțional și economic. Distribuția modificărilor ECG variază semnificativ în funcție de tipul de efort, sex și vârstă, subliniind importanța unei abordări diferențiate și personalizate în evaluarea sportivilor.

2. Evoluția ECG la gimnastele de performanță: analiză retrospectivă a adaptărilor la antrenament, predicția riscurilor și optimizarea circuitelor medico-sportive

Studiul 2 a avut ca scop analiza longitudinală a modificărilor electrocardiografice la un lot omogen de gimnaste de elită, urmărite de-a lungul a până la 14 evaluări succesive, în contextul selecției precoce și al antrenamentului intensiv caracteristic acestei discipline. Necesitatea acestei cercetări derivă din lipsa datelor privind evoluția ECG în rândul sportivilor tineri, în special femei, și din riscul interpretării eronate a adaptărilor fiziologice ca patologii. Studiul a vizat nu doar analiza descriptivă a modificărilor, ci și modelarea predictivă a riscului de apariție a unor tipare ECG anormale, utilizând instrumente avansate de simulare statistică (Oracle Crystal Ball), precum și evaluarea cost-eficienței circuitelor medico-sportive semestriale versus anuale, prin simulări Monte Carlo.

Obiectivele specifice au fost: (O1) analiza evoluției ECG și a parametrilor cardiovasculari la gimnastele de performanță în cadrul circuitelor medico-sportive

consecutive; (O2) dezvoltarea unui model de predicție a riscului ECG utilizând Oracle Crystal Ball; și (O3) compararea cost-eficienței dintre evaluările realizate la 6 luni și cele la 12 luni, prin simulări economice. Studiul prezintă totodată limitări importante, precum dimensiunea restrânsă a eșantionului ($n = 12$), absența unui grup de control și caracterul specific al gimnasticii artistice, care limitează generalizarea rezultatelor. Cu toate acestea, acuratețea înregistrărilor ECG și continuitatea evaluărilor rămân puncte forte ale studiului.

Studiul a evaluat relațiile dintre modificările electrocardiografice și trei variabile cheie: vârsta, vechimea în sport și capacitatea aerobă, în rândul sportivelor de performanță. Distribuția modificărilor ECG a evidențiat traiectorii neliniare în raport cu vârsta, cu două vârfuri: primul asociat cu blocul incomplet de ramură dreaptă în perioada pubertară, iar al doilea, cu patternul juvenil după 16 ani. Asocieri semnificative statistic au fost identificate între vârstă și bradicardie ($p < 0,001$), precum și ritmul joncțional de scăpare ($p < 0,001$), ambele mai frecvente după 16 ani.

Vechimea în sportiv s-a asociat cu o scădere progresivă a frecvenței cardiace în repaus și a aritmiei respiratorii, respectiv o creștere a ritmului joncțional după 10 ani de antrenament. S-a remarcat o corelație negativă între vechime și frecvența cardiacă, dar pozitivă cu blocul atrioventricular de grad I. Regresia logistică a identificat predictorii semnificativi: creatinkinaza pentru aritmii ($p = 0,007$) și volumul de antrenament pentru blocul incomplet de ramură dreaptă ($p = 0,022$). Capacitatea aerobă s-a corelat cu frecvență cardiacă mai scăzută în efort și repaus, dar și cu o prevalență mai redusă a inversiunilor unde T. Astfel, adaptările ECG reflectă influențe cumulative ale vârstei, antrenamentului și performanței funcționale.

Obiectivul O2 a încercat utilizarea modelării predictive pentru anticiparea riscurilor ECG cu ajutorul platformei Oracle Crystal Ball. Pentru analiza longitudinală a frecvenței cardiace în repaus, s-a utilizat modelarea în serie temporală prin netezire exponențială dublă în Oracle Crystal Ball. Modelul, calibrat pe intervalul T1–T13, a prognozat o scădere progresivă a frecvenței cardiace în T14–T23, de la 61,16 la 54,95 bpm, sugerând instalarea unei bradicardii adaptative. Precizia modelului a fost ridicată (RMSE = 2,07; Theil U = 0,9461; Durbin–Watson = 1,96), indicând performanță predictivă adecvată. Pentru evaluarea variațiilor individuale ale scorurilor ECG, s-a aplicat un model ARIMA(0,0,1) asupra datelor unei sportive, evidențiind o tendință de recurență moderată a modificărilor anormale. Modelul a estimat o probabilitate intermediară (~50%) de reapariție a acestor modificări în

punctele T16–T20, cu performanță predictivă acceptabilă ($RMSE = 0,33$; Theil $U < 1$). Capacitatea modelului de a anticipa scăderea frecvenței cardiace în repaus și de a semnaliza modificările anormale susține fezabilitatea unei evaluări personalizate a riscului. Aceste rezultate confirmă utilitatea combinării datelor istorice cu metode avansate de prognoză în sprijinul deciziilor clinice și al intervențiilor precoce, adaptate fiecărui profil fiziologic.

Obiectivul 3 a vizat evaluarea eficienței economice a screeningului medico-sportiv, utilizând simulări Monte Carlo pentru a compara scenariile de evaluare anuală versus semestrială. Rezultatele au indicat că screeningul anual este mai cost-eficient, atingând pragul de rentabilitate după identificarea unui singur caz cu modificări cardiace, în timp ce scenariul semestrial necesită trei cazuri pentru justificarea investiției. Aceste date susțin o abordare rațională în stabilirea frecvenței screeningului, în concordanță cu recomandările UEFA 2025, care propun reevaluări la intervale de 2–4 ani între 12 și 18 ani[24].

Totuși, concluziile nu vizează încurajarea screening-ului anual, mai ales în cazul sportivilor de elită sau cu simptomatologie, unde monitorizarea semestrială sau chiar trimestrială rămâne justificată. Studiul susține necesitatea personalizării strategiilor prin modele predictive și extinderea bazelor de date, promovând integrarea algoritmilor de inteligență artificială pentru triajul eficient și reducerea testărilor inutile.

7. Evaluarea utilizării avizului medico-sportiv și screeningului ECG în medicina sportivă: percepții și nevoi de educație

Capitolul 7 al tezei investighează utilizarea avizului medico-sportiv și a screeningului ECG în practica din România, printr-un studiu calitativ bazat pe un chestionar structurat adresat medicilor de medicină sportivă. Studiul calitativ realizat în rândul medicilor de medicină sportivă din România oferă o perspectivă profundă asupra practicilor, dificultăților și aspirațiilor profesionale privind evaluarea medico-sportivă și interpretarea ECG-ului. Cu o rată de răspuns reprezentativă (peste 40% din specialiștii activi), cercetarea relevă o utilizare extinsă a ECG-ului ca instrument de prevenție, dar și o lipsă de uniformitate în aplicare. Dificultăți precum accesul inegal la echipamente, formarea insuficientă și lipsa unui protocol standardizat afectează coerența screeningului. În ciuda acestor bariere, medicii se declară în majoritate favorabili elaborării unui Ghid Național, digitalizării procesului de avizare și dezvoltării de programe de formare continuă. Rezultatele reflectă nu doar necesitatea unei reforme structurale, ci și deschiderea comunității profesionale către modernizare. Contribuția autorului la recomandările europene EFSMA conferă studiului

legitimă strategică, iar concluziile acestuia fundamentează direcții clare pentru politici publice și inițiative educaționale în domeniu. În esență, studiul propune un model de evoluție coerentă a medicinei sportive românești, axat pe siguranță, echitate și standardizare.

Concluzii generale și contribuții originale

Toate obiectivele formulate în cele trei studii au fost atinse integral. Studiul 1 a oferit o caracterizare detaliată a modificărilor ECG în funcție de tipul de efort, sex și parametri fiziologici, confirmând validitatea screeningului ECG. Studiul 2 a demonstrat adaptări electrofiziologice semnificative în rândul gimnastelor de elită, cu stabilitate longitudinală a traseelor ECG și susținerea ipotezei de remodelare cardiacă fiziologică. Studiul 3 a relevat o utilizare extinsă a ECG-ului în practica curentă, dificultăți sistemice persistente și sprijin majoritar pentru standardizare, educație profesională și digitalizare. Contribuțiile tehnico-economice includ demonstrarea eficienței ECG-ului ca metodă accesibilă, predictivă și complementară ecocardiografiei. Modelarea cu Oracle Crystal Ball propune un instrument inovator de optimizare a screeningului personalizat. Suplimentar, autorul a contribuit la dezvoltarea recomandărilor EFSMA, consolidând impactul european al cercetării.

Direcțiile viitoare includ integrarea inteligenței artificiale în interpretarea ECG, validarea scorurilor de risc, extinderea eșantionului către alte populații sportive, corelarea cu biomarkeri și dezvoltarea unui model digital național de avizare. Totodată, se propune implementarea unui program de formare pentru interpretarea ECG-ului la sportivi și un ghid național de bune practici în ceea ce privește avizul medico-sportiv.

Această teză reprezintă primul demers național cuprinzător privind evaluarea electrocardiografică a sportivilor de performanță, în conformitate cu Criteriile Internaționale 2017. Am realizat prima analiză longitudinală exclusiv pe gimnaste de elită din loturile naționale și am introdus utilizarea Oracle Crystal Ball în medicina sportivă din România pentru modelare predictivă.

Contribuțiile includ identificarea și caracterizarea patternului ECG juvenil după vârsta de 16 ani, validarea oxigen puls-ului ca marker funcțional integrat, și corelarea inovativă între ECG, $VO_2\max$, frecvența cardiacă și biomarkeri musculari. A fost propusă o clasificare diferențiată a patternurilor ECG în funcție de profilul fiziologic al efortului, precum și un cadru conceptual pentru personalizarea screeningului cardiac în sportul feminin.

Studiul 3 aduce prima cercetare calitativă națională privind percepțiile medicilor de medicină sportivă, evidențiind decalajele dintre practica curentă și nivelul de formare profesională. A fost documentat sprijinul aproape unanim pentru un Ghid Național, digitalizarea procesului de avizare și reformarea legislației aferente.

Contribuția centrală a acestei teze constă în formularea unui model integrat – predictiv, clinic și educațional – pentru optimizarea screeningului ECG la sportivi, cu implicații directe asupra siguranței în sportul de performanță. Pe baza datelor obținute, autorul propune direcții strategice clare pentru modernizarea sistemului actual: standardizarea evaluării, dezvoltarea continuă a competențelor profesionale, integrarea soluțiilor digitale și consolidarea cooperării interinstituționale.

Bibliografie selectivă

1. Ionescu, A.M.; Pitsiladis, Y.P.; Rozenstoka, S.; Bigard, X.; Löllgen, H.; Bachl, N.; Debruyne, A.; Pigozzi, F.; Casasco, M.; Jegier, A.; et al. Preparticipation Medical Evaluation for Elite Athletes: EFSMA Recommendations on Standardised Preparticipation Evaluation Form in European Countries. *BMJ Open Sport Exerc Med* **2021**, *7*, doi:10.1136/bmjsem-2021-001178.
2. Drezner, J.A.; Sharma, S.; Baggish, A.; Papadakis, M.; Wilson, M.G.; Prutkin, J.M.; Gerche, A.L.; Ackerman, M.J.; Borjesson, M.; Salerno, J.C.; et al. International Criteria for Electrocardiographic Interpretation in Athletes: Consensus Statement. **2017**, doi:10.1136/bjsports-2016-097331.
3. Maxwell, J.D.; Oxborough, D. The Athletes Heart—from Acute Stimulus to Chronic Adaptation. *British Medical Bulletin* **2025**, *153*, ldae021, doi:10.1093/bmb/ldae021.
4. Mitchell, J.H.; Haskell, W.; Snell, P.; Van, C.S.P. Task Force 8: Classification of Sports. *JACC* **2005**, *45*, 1364–1367, doi:10.1016/j.jacc.2005.02.015.
5. McArdle, W.D.; Katch, F.I.; Katch, V.L. *Exercise Physiology: Nutrition, Energy, and Human Performance*; 8th ed.; Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins: Baltimore, 2015; ISBN 978-1-4511-9155-4.
6. *The ESC Textbook of Sports Cardiology*; Oxford University Press, 2019;
7. Maxwell, J.D.; Oxborough, D. The Athletes Heart—from Acute Stimulus to Chronic Adaptation. *British Medical Bulletin* **2025**, *153*, ldae021, doi:10.1093/bmb/ldae021.
8. D'Andrea, Antonello.; Bossone, Eduardo. Athlete's Heart : A Multimodal Approach -- from Physiological to Pathological Cardiac Adaptations. In; Academic Press, 2023 ISBN 978-0-323-95222-4.
9. Ragazzoni, G.L.; Cavigli, L.; Cavarretta, E.; Maffei, S.; Mandoli, G.E.; Pastore, M.C.; Valente, S.; Focardi, M.; Cameli, M.; Di Salvo, G.; et al. How to Evaluate Resting ECG and Imaging in Children Practising Sport: A Critical Review and Proposal of an Algorithm for ECG Interpretation. *European Journal of Preventive Cardiology* **2023**, *30*, 375–383, doi:10.1093/eurjpc/zwac218.
10. D'Andrea, A.; Sperlongano, S.; Russo, V.; D'Ascenzi, F.; Benfari, G.; Renon, F.; Palermi, S.; Ilardi, F.; Giallauria, F.; Limongelli, G.; et al. The Role of Multimodality Imaging in Athlete's Heart Diagnosis: Current Status and Future Directions. *Journal of Clinical Medicine* **2021**, *10*, 5126, doi:10.3390/jcm10215126.
11. Baba Ali, N.; Attaripour Esfahani, S.; Scalia, I.G.; Farina, J.M.; Pereyra, M.; Barry, T.; Lester, S.J.; Alsidawi, S.; Steidley, D.E.; Ayoub, C.; et al. The Role of Cardiovascular

Imaging in the Diagnosis of Athlete's Heart: Navigating the Shades of Grey. *Journal of Imaging* 2024, Vol. 10, Page 230 **2024**, 10, 230–230, doi:10.3390/JIMAGING10090230.

12. Flanagan, H.; Cooper, R.; George, K.P.; Augustine, D.X.; Malhotra, A.; Paton, M.F.; Robinson, S.; Oxborough, D. The Athlete's Heart: Insights from Echocardiography. *Echo Research & Practice* **2023**, 10, 15–15, doi:10.1186/s44156-023-00027-8.

13. Weise, A.; Könsgen, N.; Joisten, C.; Schlumberger, F.; Hirschmüller, A.; Breuing, J.; Gooßen, K. Pre-Participation Evaluation of Recreational and Competitive Athletes – A Systematic Review of Guidelines and Consensus Statements. *Sports Medicine - Open* **2025**, 11, 33, doi:10.1186/s40798-025-00837-6.

14. Does, H.; Dinis, P.; Viegas, J.M.; Freitas, A. Preparticipation Cardiovascular Screening of Athletes: Current Controversies and Challenges for the Future. *Diagnostics* **2024**, 14, 2445, doi:10.3390/diagnostics14212445.

15. Smaranda, A.M.; Drăgoiu, T.S.; Caramoci, A.; Afetelor, A.A.; Ionescu, A.M.; Bădăraș, I.A. Artificial Intelligence in Sports Medicine: Reshaping Electrocardiogram Analysis for Athlete Safety—A Narrative Review. *Sports* **2024**, 12, 144, doi:10.3390/sports12060144.

16. Drezner, J.A. 18 Highlights from the International Criteria for ECG Interpretation in Athletes. **2020**, doi:10.1136/bjsports-2019-101537.

17. Cosio-Lima, L.; Kumar Brooke, N.; Adlof, L.; Simpson, J.; Crawley, A.; Lee, Y. Comparison of the 'Seattle' and 'International' Criteria Electrocardiogram Interpretation in Division II Female Collegiate Athletes: A Preliminary Study. *J. of SCI. IN SPORT AND EXERCISE* **2023**, 5, 274–279, doi:10.1007/s42978-022-00180-2.

18. Squeo, M.R.; Ferrera, A.; Mango, F.; Maestrini, V.; Monosilio, S.; Lemme, E.; Crotta, S.; Spinelli, A.; Serdoz, A.; Fiore, R.; et al. Pre-Participation Cardiovascular Screening for Paris 2024 Olympic Games in Elite Athletes: The Italian Pathway. *European Journal of Preventive Cardiology* **2025**, 32, zwaf236.429, doi:10.1093/eurjpc/zwaf236.429.

19. Abela, M.; Sharma, S. Abnormal ECG Findings in Athletes: Clinical Evaluation and Considerations. *Current Treatment Options in Cardiovascular Medicine* **2019**, 21, doi:10.1007/s11936-019-0794-4.

20. Orlandi, G.; Casatori, L.; Corsi, M.; Toncelli, L.; Boddi, M.; Modesti, P.A.; Stefani, L. 153 Fragmented QRS in Athletes. *European Heart Journal Supplements* **2021**, 23, suab127.045, doi:10.1093/eurheartj/suab127.045.

21. Orchard, J.J.; Orchard, J.W.; Davis, A.J.; Puranik, R.; Isbister, J.C.; Gerche, A.L.; Driscoll, T.; Doughty, R.N.; Hamilton, B. Clinical Outcomes of 10 Years of Cardiac Screening in Elite New Zealand Athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport* **2023**, 26, 659–666, doi:10.1016/j.jsams.2023.10.012.

22. Sim, H.S.S.; Imran, S.S.; Teoh, C.S. Progression of Wolff–Parkinson–White Pattern 12-Lead Electrocardiogram Changes in an Asymptomatic Athlete. *Singapore Med J* **2023**, *64*, 449–453, doi:10.4103/singaporemedj.SMJ-2021-151.
23. Oxborough, D.; George, K.; Cooper, R.; Bhatia, R.; Ramcharan, T.; Zaidi, A.; Gati, S.; Prakash, K.; Rakhit, D.; Robinson, S.; et al. Echocardiography in the Cardiac Assessment of Young Athletes: A 2025 Guideline from the British Society of Echocardiography (Endorsed by Cardiac Risk in the Young). *Echo Research & Practice* **2025**, *12*, 7, doi:10.1186/s44156-025-00069-0.
24. Baggish, A.L.; Borjesson, M.; Piesles, G.E.; Schmied, C.; Colombo, C.S.S. de S.; Corcia, C.G.; Drezner, J.A.; Grimm, K.; Mak, G.; Gerche, A.L.; et al. Recommendations for Cardiac Screening and Emergency Action Planning in Youth Football: A FIFA Consensus Statement. *Br J Sports Med* **2025**, *59*, 751–760, doi:10.1136/bjsports-2025-109751.

•