

**UNIVERSITATEA DE MEDICINĂ ȘI FARMACIE  
„VICTOR BABEȘ” DIN TIMIȘOARA  
FACULTATEA DE MEDICINĂ  
DEPARTAMENTUL DE ȘTIINȚE FUNCȚIONALE**

**MUNTEAN PAUL-SEBASTIAN**



**REZUMAT**

**STUDIUL PRECIZIEI DE EVALUARE A COMPOZIȚIEI  
CORPORALE FOLOSIND PLETISMOGRAFIE PRIN  
DEZLOCUIREA AERULUI ȘI ULTRASONOGRAFIE: ROLUL  
MĂSURĂTORILOR MULTIPLE ÎN MONITORIZAREA  
SPORTIVILOR DE PERFORMANȚĂ**

Coordonator științific:

**PROF. DR. NEAGU ADRIAN**

**Timișoara  
2024**

## CUPRINS

|   |             |
|---|-------------|
| <b>LISTA LUCRĂRILOR ȘTIINȚIFICE PUBLICATE.....</b>  | <b>V</b>    |
| <b>LISTA DE ABREVIERI ȘI SIMBOLURI.....</b>   | <b>VI</b>   |
| <b>LISTA FIGURILOR.....</b>   | <b>VIII</b> |
| <b>LISTA TABELELOR.....</b>   | <b>XI</b>   |
| INTRODUCERE.....  | 1           |
| <b>PARTEA GENERALĂ.....</b>   | <b>5</b>    |
| CAPITOLUL 1. CONCEPTE DE EVALUARE A COMPOZIȚIEI CORPORALE.....  | 5           |
| CAPITOLUL 2. METODE DE EVALUARE A COMPOZIȚIEI CORPORALE.....  | 10          |
| CAPITOLUL 3. EVALUAREA COMPOZIȚIEI CORPORALE ÎN SPORT.....  | 20          |
| CAPITOLUL 4. STUDII DE VALIDARE A TEHNICILOR DE ANALIZĂ A COMPOZIȚIEI CORPORALE.....  | 23          |
| <b>PARTEA SPECIALĂ.....</b>   | <b>32</b>   |
| CAPITOLUL 5. SCOPUL ȘI OBIECTIVELE CERCETĂRII DOCTORALE.....  | 32          |
| CAPITOLUL 6. MATERIALE ȘI METODE.....   | 33          |
| CAPITOLUL 7. FIABILITATEA PROTOCOALELOR DE MASURATORI REPETATE PENTRU EVALUAREA COMPOZIȚIEI CORPORALE CU AJUTORUL PLETISMOGRAFIEI PRIN DEZLOCUIREA AERULUI.....                       | 38          |
| CAPITOLUL 8. EVALUAREA EFECTELOR PROCESULUI DE ÎNVĂȚARE UTILIZÂND PLETISMOGRAFIA PRIN DEZLOCUIREA AERULUI.....  | 52          |
| CAPITOLUL 9. STUDIUL COMPARATIV AL FORMULELOR DE PREDICȚIE UTILIZATE PENTRU EVALUAREA COMPOZIȚIEI CORPORALE CU AJUTORUL ULTRASONOGRAFIEI ÎN MODUL A LA FOTBALISTII PROFESIONISTI..... | 67          |
| CAPITOLUL 10. MODIFICAREA FORMULELOR ANTROPOMETRICE PENTRU CALCULAREA PROCENTULUI DE GRĂSIME CORPORALĂ PE BAZA EVALUARII ULTRASONOGRAFICE A TESUTULUI ADIPOS SUBCUTANAT.....          | 82          |
| IMPLICAȚII PRACTICE.....  | 101         |
| <b>CONCLUZII.....</b>   | <b>104</b>  |
| <b>BIBLIOGRAFIE.....</b>  | <b>110</b>  |
| <b>ARTICOLE PUBLICATE <i>IN EXTENSO</i>.....</b>  | <b>I</b>    |

**Cuvinte cheie:** pletismografie prin dezlocuirea aerului, ultrasonografie, compoziție corporală, densitate corporală, volum corporal, procent de grăsime corporală, masă de țesut adipos, masă de țesut slab, țesut adipos subcutanat, țesut adipos visceral

## I. CONTEXTUL ȘI OBIECTIVELE CERCETĂRII

Evaluarea compoziției corporale (CC) este importantă în cadrul populației generale în vederea adoptării unui stil de viață sănătos, contribuind astfel la îmbunătățirea sănătății publice, dar mai ales, în practica clinică, pentru pacienții supraponderali și obezi, permițând fenotiparea precisă a acestora.

Determinarea în dinamică a CC a devenit din ce în ce mai utilizată de către profesioniștii din domeniul sportului pentru a evalua deopotrivă statusul nutrițional și echilibrul metabolic între grăsimea corporală și celelalte componente ale corpului (așa-numita masă slabă). Interesul crescut pentru evaluarea CC la sportivi din ultimele decenii, este demonstrat de numărul impresionant de publicații – peste 14 000 de articole în baza de date PubMed, la căutarea după cuvintele-cheie „body composition” și „athletes”.

Atât sportivii, cât și antrenorii sunt conștienți de faptul că un echilibru adecvat între masa musculară scheletală și grăsimea corporală este esențial pentru performanța competițională. Masa musculară scheletală este o măsură a masei musculare funcționale care asigură generarea forței și rezistența, ambele fiind responsabile de performanța atleților. Pe de altă parte, grăsimea corporală este considerată masa nefuncțională; un nivel ridicat de grăsime are un efect nefavorabil asupra termoreglării și afectează performanța athletică, atât din punct de vedere mecanic, cât și metabolic. Totuși trebuie avut în vedere faptul că un nivel foarte redus al adipozității corporale afectează starea generală de sănătate a sportivului.

Cuantificarea compoziției corporale este esențială pentru monitorizarea sănătății, îmbunătățirea performanței și prevenirea riscului de accidentare în cazul tuturor sportivilor. Evaluarea CC în cercetarea sportivă constă în caracterizarea grăsimii corporale în funcție de tipul de sport și de sex. Acest lucru se datorează faptului că, în general, grăsimea corporală tinde să fie mai mare la sportive față de sportivi în cadrul unui anumit sport.

În ultimele decenii, au fost dezvoltate mai multe tehnici de analiză a compoziției corporale utilizând diferite modele bazate pe principii fizice. Cea mai simplă abordare în evaluarea CC este modelul cu două compartimente (2C), care împarte masa corporală în: masă de grăsime (stocată în principal la nivelul țesutului adipos sub formă de trigliceride) și masă slabă. Deși au fost puse la punct mai multe tehnici de caracterizare a CC în cadrul modelului 2C, există încă numeroase aspecte legate de măsurători și/sau de estimări care trebuiesc clarificate. Ca atare, la ora actuală nu există o metodologie „gold standard”, respectiv o tehnică general valabilă pentru evaluarea CC la sportivi.

Dintre diferitele tehnici moderne bazate pe modelul 2C, pletismografia prin deplasarea aerului („air displacement plethysmography”, ADP) este considerată una dintre cele mai fiabile metode de laborator pentru evaluarea procentului de grăsime corporală totală („body fat percentage”, %BF) la populația generală, inclusiv la sportivi. Ultrasonografia prezintă avantajul portabilității, fiind o tehnică ușor de utilizat pe teren și determină cu precizie masa de țesut adipos subcutanat, însă necesită pregătirea adecvată a investigatorului pentru efectuarea de măsurători corecte, reproductibile.

În cazul ambelor metode, minimizarea erorilor de măsurare și o mai bună standardizare a protocoalelor este necesară pentru a oferi o evaluare precisă a compoziției corporale funcționale, atât în beneficiul sănătății pacienților cât și al optimizării performanței la sportivi.

**Scopul studiului doctoral** a constat în optimizarea evaluării compoziției corporale din punct de vedere al fiabilității, validității și practicabilității, cu ajutorul a două tehnici: (i) pletismografia prin dezlocuirea aerului (ADP) utilizând echipamentul BOD POD (COSMED, SUA) și (ii) ultrasonografia în modul A (USA), cu dispozitivul BodyMetrix BX2000 (IntelaMetrix, SUA).

Cercetările derulate în acest studiu doctoral s-au desfășurat, în principal, la *Centrul de Modelare a Sistemelor Biologice și Analiza Datelor* în cadrul Departamentului de Științe Funcționale și la *Centrul de Cercetare pentru Evaluarea Mișcării, Funcționalității și Dizabilității* din cadrul Departamentului de Recuperare, Medicină Fizică și Reumatologie, ambele centre aparținând Facultății de Medicină a Universității de Medicină și Farmacie „Victor Babeș” din Timișoara, România. Cercetarea doctorală s-a desfășurat cu aprobarea Comisiei de Etică a Cercetării Științifice a Universității de Medicină și Farmacie „Victor Babeș” din Timișoara.

**Obiectivele cercetării doctorale** au fost următoarele:

1. Evaluarea fiabilității determinării compoziției corporale cu ajutorul tehnicii ADP conform protocoalelor existente și propunerea unui nou protocol de o precizie superioară.
2. Evaluarea impactului efectelor de învățare asupra fiabilității evaluării compoziției corporale utilizând tehnica ADP.
3. Evaluarea preciziei mai multor formule implementate în software-ul unui instrument portabil de USA pentru calculul %BF utilizând grosimea țesutului adipos subcutanat măsurată prin ultrasonografie.
4. Evaluarea acurateții măsurărilor %BF cu ajutorul tehnicii USA, utilizând formule antropometrice de predicție adaptate pentru a estima adipozitatea corporală din grosimea țesutului adipos subcutanat măsurată prin ultrasonografie, în locul grosimii pliurilor cutanate.

## **II. REZULTATELE CERCETĂRII DOCTORALE** incluse în Partea specială a tezei:

### **1. Implementarea protocolului de măsurători repetate cu determinarea medianei pentru evaluarea compoziției corporale utilizând pletismografia prin dezlocuirea aerului oferă o mai bună fiabilitate comparative de protocoalele uzuale**

În primul studiu, a fost evaluată fiabilitatea măsurărilor compoziției corporale cu ajutorul tehnicii ADP pe un lot de 92 adulți (46 B, 46 F) sănătoși atleți care practică, în principiu, sporturi de anduranță cu caracter mixt (cicliști și fotbaliști). Trei protocoale de măsurători repetate au fost comparate după cum urmează: (i) protocolul propus de Collins și McCarthy în studiul lor privind precizia ADP (denumit în continuare protocolul Collins) (ii) protocolul conceput de Tucker et al. (denumit în continuare protocolul Tucker) și (iii) protocolul propus în prezenta teză, care constă în utilizarea medianei celor trei măsurători.

Figura 1 prezintă diagramele Bland-Altman (BA) obținute pentru: o pereche de măsurători unice (a), protocolul Collins (b), protocolul Tucker (c) și protocolul medianei propus în această lucrare (d). În diagramele BA din Figura 1a, tendința (cunoscută în limba engleză sub numele de *bias*, fiind egală cu media diferențelor dintre cele două măsurători succesive) este ușor negativă,

iar zero este marginal în afara intervalului de confidență de 95% corespunzător. Prin urmare, în comparație cu testarea inițială, retestarea oferă o supraestimare a adipozității subiectului cu aproximativ 0,3 % BF.

O comparație a tuturor celor 4 panouri din Figura 1 indică faptul că intervalul de acord de 95% este cel mai mare pentru măsurătorile individuale, ceea ce sugerează că protocoalele care includ măsurători repetate sunt mai fiabile decât testele ADP individuale efectuate conform procedurii standard. Deși a necesitat mai mult timp, protocolul Collins nu a fost superior protocolului Tucker în ceea ce privește fiabilitatea (comparația panourilor b și c din Figura 1). Intervalul cel mai mic de acord a fost observat în cazul protocolului medianei (Fig. 1, panoul d).

Evaluarea masei slabe a arătat un *bias* de aproximativ 0,2 kg (adică, în medie, retestarea a furnizat o cantitate de masă slabă (FFM) mai mare decât cea dată de testarea inițială). Din nou, intervalul de acord de 95% a fost cel mai mare în cazul testelor individuale, fiind urmat de protocoalele Collins și Tucker (în aproximativ aceeași măsură) și abia apoi de protocolul medianei. Măsurătorile repetate au condus la o eroare redusă în comparație cu măsurătorile unice. În plus, în majoritatea cazurilor, intervalul de confidență de 95% al *bias*-ului a inclus valoarea zero. *Bias*-ul a fost mai mare în cazul femeilor decât al bărbaților, în special pentru evaluările volumului corporal (body volume – BV) și %BF.

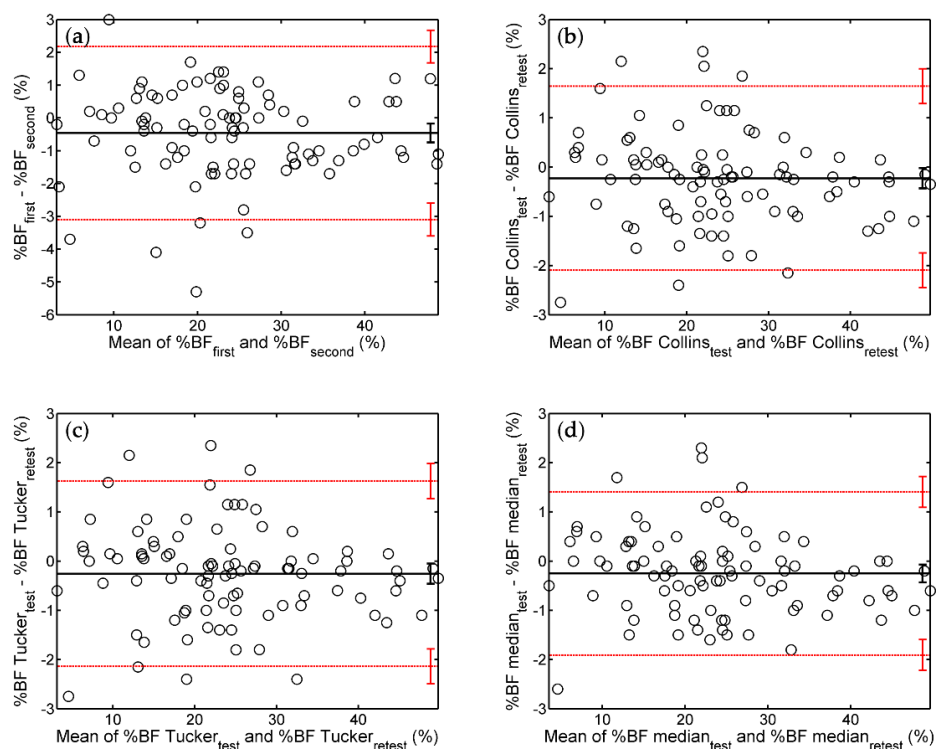


Figura 1. Analiza Bland-Altman (BA) a concordanței dintre rezultatele unor testări successive în cazul măsurătorilor ADP unice și ale celor 3 protocoale de măsurători repetate. Sunt reprezentate graficele diferențelor vs. mediile a două măsurători ale %BF determinate de: (a) măsurătorile individuale, (b) protocolul Collins, (c) protocolul Tucker și (d) protocolul medianei. În fiecare panou, linia orizontală groasă descrie *bias*-ul (valoarea medie a diferențelor), în timp ce liniile orizontale subțiri (punctate, în roșu), reprezintă limitele de

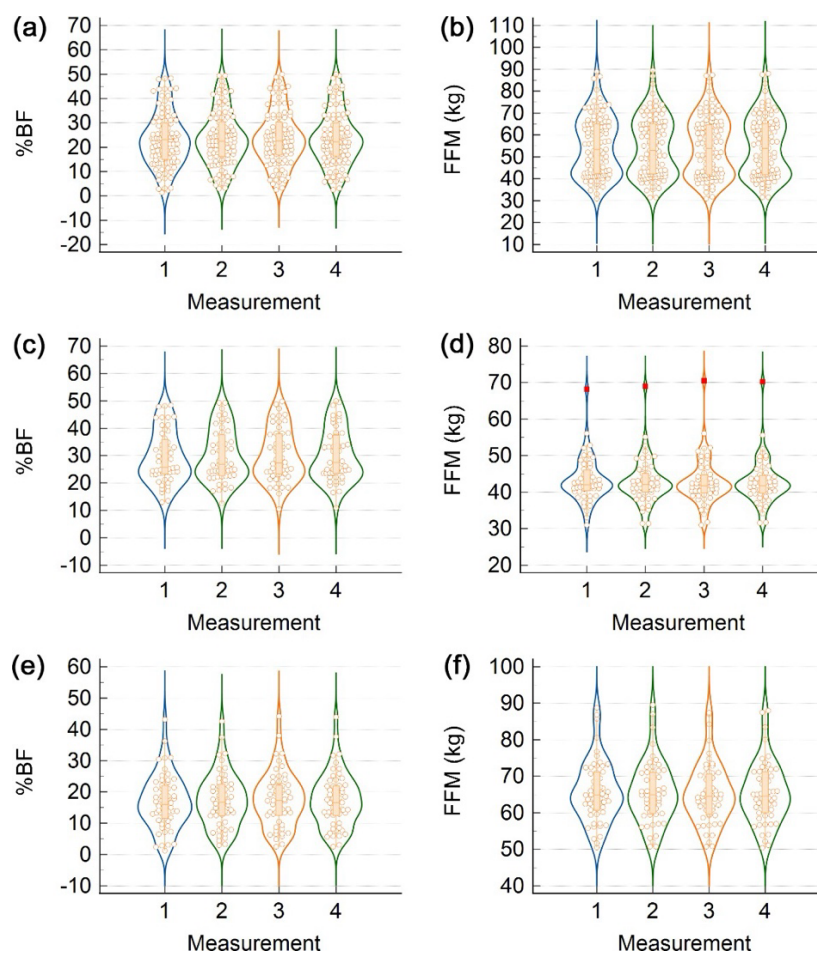
acord de 95% ( $bias \pm 1.96 \times \text{deviația standard a diferențelor}$ ). Barele de eroare verticale reprezintă intervalele de confidență de 95% ale cantităților corespunzătoare.

Lățimea intervalului de acord de 95% pentru protocolul medianei a fost de 3,36 %BF pentru femei și 3,3 %BF pentru bărbați, ceea ce sugerează o precizie ușor crescută la bărbați față de femei. În ceea ce privește cantitatea de masă slabă, volumul corporal și rata metabolică de repaus, intervalul de confidență de 95% a fost mai îngust pentru femei atunci când s-au luat în considerare atât măsurătorile unice, cât și protocoalele de măsurători repetate.

Măsurile absolute și relative ale fiabilității testare-retestare validează concluzia derivată din analiza Bland-Altman, indicând faptul că protocoalele care includ măsurători repetate oferă o fiabilitate superioară față de măsurătorile unice. Dintre toate protocoalele, protocolul medianei a avut cel mai înalt nivel de fiabilitate, în timp ce protocolul dezvoltat de Collins și McCarthy a fost doar ușor superior celui dezvoltat de Tucker et al. deși a implicat mai multe măsurători în triplicat.

## 2. Efectele învățării pot avea un impact substanțial în cadrul măsurătorilor compoziției corporale utilizând pletismografia prin dezlucuirea aerului

Cel de-al doilea studiu și-a propus evaluarea impactului efectelor procesului de învățare a tehnicii ADP asupra fiabilității evaluării compoziției corporale la un lot de 105 adulți (51 F, 54 B).



**Figura 2. Diagrame de tip vioară ale datelor înregistrate în patru teste ADP succesive. Panourile individuale reprezintă: (a) %BF a tuturor subiecților, (b) FFM a tuturor subiecților, (c) %BF al femeilor, (d) FFM a femeilor, (e) %BF al bărbaților și (f) FFM a bărbaților.**

Datele privind compoziția corporală obținute în cadrul a patru măsurători succesive sunt prezentate sub forma graficelor de tip vioară (Figura 2). Atunci când întregul set de date a fost analizat, %BF a prezentat o distribuție unimodală (Figura 2a), în timp ce cantitatea de masă slabă (FFM) a avut o distribuție bimodală (Figura 2b). În cazul analizei pe sexe, %BF și cantitatea de masă slabă au avut distribuții unimodale (Figura 2c-f), dar vârfurile funcțiilor de probabilitate la femei au fost deplasate în raport cu cele ale bărbaților. Este interesant faptul că pentru %BF și cantitatea de masă slabă, valorile aberante au fost prezente pentru fiecare sex în parte (Figura 2d-f), dar nu în întregul set de date (Figura 2a,b).

Chiar dacă nu au existat diferențe semnificative din punct de vedere statistic între rezultatele măsurătorilor consecutive, diagramele BA din Figura 3 arată că, în medie, prima măsurătoare diferă de următoarele cu 0,4 %BF până la 0,6 %BF, ceea ce duce la o ușoară subestimare a adipozității subiectului. Linia orizontală etichetată „Mean” din Figura 3a reprezintă o diferență medie (bias) de -0,5 %BF. Aceasta înseamnă că, în medie, a doua măsurătoare a generat valori ale grăsimii corporale cu 0,5 %BF mai mari comparativ cu prima măsurătoare. În plus, acest bias este semnificativ din punct de vedere statistic deoarece, spre deosebire de Figurile 3c și 3e, valoarea zero nu este inclusă în IC de 95% al bias-ului, care este reprezentată vizual ca o bară de eroare verde în Figura 3a.

În Figura 3, panourile b, d și f, am fost eliminate persoanele care au fost primele investigate (21 de femei și 17 bărbați). Similitudinea dintre panourile (a,b), (c,d) și (e,f) indică faptul că diferențele notabile detectate între cele două măsurători inițiale nu pot fi atribuite temerilor legate de procesul de „încălzire” al BOD POD-ului, realizat conform recomandărilor producătorului.

Studiul evaluărilor FFM cu ajutorul metodei BA relevă un bias substanțial de 0,4 kg între prima și a doua măsurătoare, prima supraestimând FFM în comparație cu cea de-a doua. Cu toate acestea, există un bias minor pentru perechile (2,3) și (3,4). În plus, diferența în măsurile BV a fost cea mai pronunțată pentru perechea (1,2), -70 ml, în vreme ce a fost neglijabilă pentru celelalte perechi.

Indicii de fiabilitate ai testelor ADP unice indică faptul că, odată ce subiectul se familiarizează cu procesul de testare, fiabilitatea măsurătorilor individuale este similară cu cea a protocoalelor de măsurare multiple (de exemplu, Tucker sau protocolul medianei).

Indiferent de sex, începând cu al doilea test, măsurătorile succesive au arătat o mai mare concordanță, probabil datorită faptului că persoanele s-au familiarizat cu procesul de testare și și-au stabilizat ulterior tiparul de respirație.

Indicii de fiabilitate, atât absoluți, cât și relativi, s-au stabilizat după a doua pereche de măsurători și au atins un nivel similar cu cel al protocoalelor de măsurători repetate. Studiul nostru propune ca, în special pentru participanții fără experiență, măsurătoarea inițială să fie considerată una de antrenament. Ulterior, rezultatul celei de-a doua măsurători poate fi considerat acceptabil dacă nu se abate cu mai mult de 3 %BF de la măsurătoarea inițială. Dacă abaterea depășește această limită, este necesară o a treia măsurătoare, iar variabilele compoziției corporale a subiectului pot fi determinate utilizând un protocol de măsurători repetate.

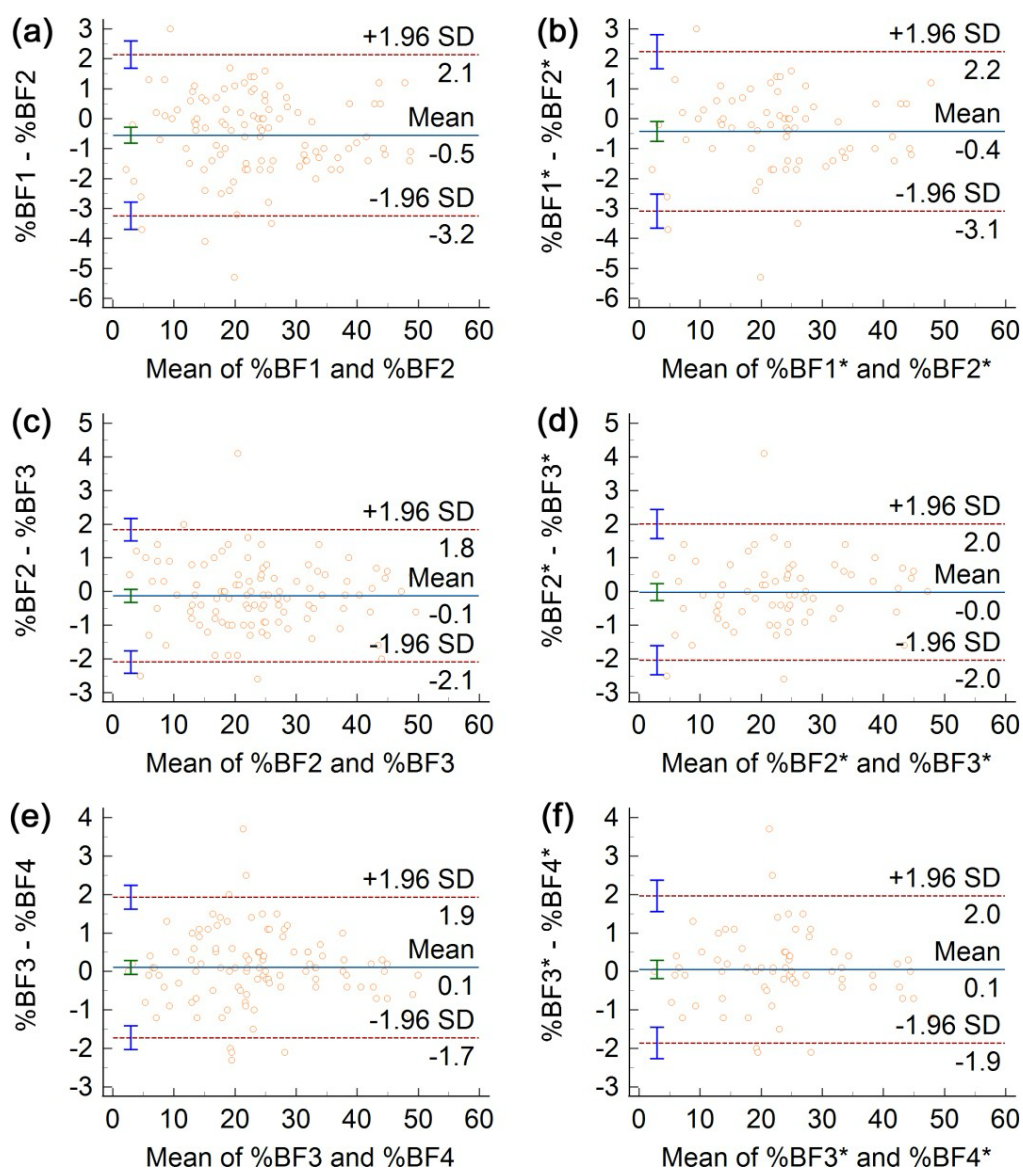


Figura 3. Diagrame BA ale diferențelor vs. mediile %BF obținute în perechi de măsurători consecutive. Rezultatele primelor două măsurători sunt comparate în (a) și (b), măsurătorile 2 și 3 sunt comparate în (c) și (d), iar măsurătorile 3 și 4 sunt comparate în (e) și (f). Panourile (a), (c) și (e) se referă la întregul set de date, în timp ce (b), (d) și (f) nu includ participanții evaluați la începutul zilei de măsurători (un asterisc, \*, etichetează variabilele de compoziție corporală ale subiecților care nu au început ziua de testare).

**3. Ultrasonografia în modul A utilizând formulele de predicție Jackson-Pollock-3 (JP3) și Jackson-Pollock-7 (JP7) prezintă același nivel de acuratețe în măsurarea procentului de grăsime corporală la atleți de sex masculin, în timp ce Parillo-9 (P9) și Biceps-1 (B1) supraestimează cantitatea de grăsime corporală**

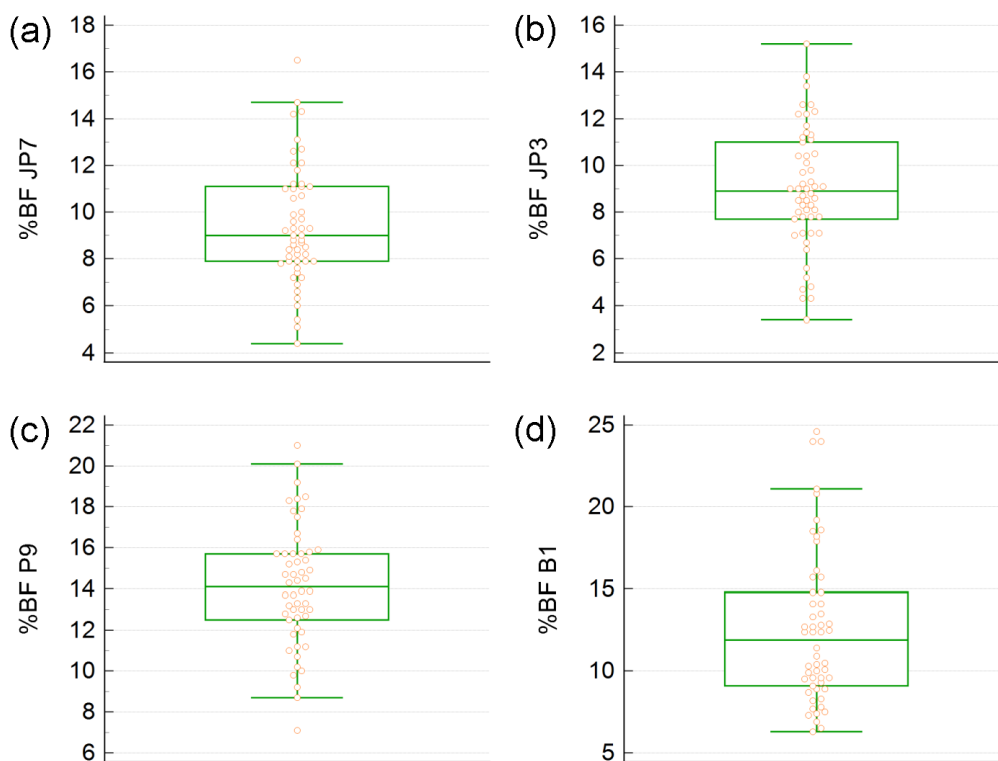
Cel de-al 3-lea studiu a fost destinat evaluării preciziei mai multor formule implementate în software-ul unui instrument portabil de ultrasonografie în modul A (Bodymetrix) pentru calculul



%BF pe baza grosimii stratului de grăsime subcutanată în cazul unui lot de 54 adulți de sex M, fotbaliști profesioniști.

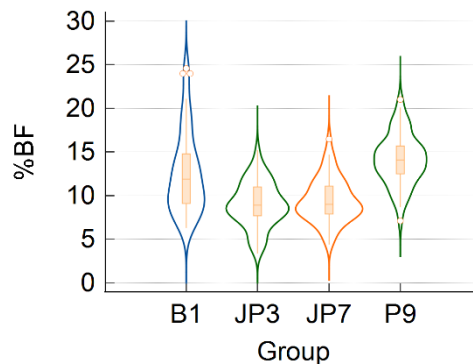
Procentul mediu de grăsime corporală furnizat de formulele JP7 și JP3 prezintă un nivel semnificativ de consistență și este diferit de cele produse de formulele P9 și B1.

În Figura 4 sunt prezentate diagramele de tip casetă ale valorilor %BF date de JP7 (a), JP3 (b), P9 (c) și B1 (d). Medianele, reprezentate de liniile orizontale care despart casetele, sunt similare pentru JP7 și JP3. Este interesant faptul că JP3 a dat cel mai mic număr de valori aberante (Figura 4b), deși a fost considerat mai puțin fiabil decât JP7 într-un studiu anterior efectuat pe un eșantion din populația generală. Cea mai puțin fiabilă formulă, B1, a dat cel mai mare număr de valori aberante și cel mai larg interval intercuartile – definit drept diferența dintre a treia și prima cuartilă (Figura 4d).



**Figura 4. Diagrame de tip casetă ale %BF evaluate prin ultrasonografie în modul A utilizând patru formule de predicție diferite implementate în software-ul BodyView ProFit livrat cu instrumentul BodyMetrix.**

Funcțiile de densitate de probabilitate ale celor patru seturi de date sunt reprezentate în diagramele de tip vioară din Figura 5. Distribuțiile valorilor %BF date de formulele JP3 și JP7 sunt izbitor de asemănătoare și diferite de cele derivate din celelalte două formule. Figura 5 prezintă abateri de la graficul în formă de clopot al funcției de densitate de probabilitate a distribuției normale.



**Figura 5. Grafice de tip vioară reprezentând valorile %BF ale grupului investigat de 54 de jucători de fotbal, obținute utilizând măsurători de ultrasonografie în modul A ale grosimii țesutului adipos subcutanat în anumite zone anatomiche și formulele B1, JP3, JP7 și P9.**

Concluziile desprinse din analiza varianței (ANOVA) sunt susținute și de valorile coeficientului de corelație al lui Lin (CCC), un număr adimensional cuprins între 0 și 1 (cu cât este mai mare cu atât mai bine). CCC este o măsură atât a preciziei, cât și a acurateții. Între B1 și JP7, coeficientul CCC a fost de 0,464, iar IC 95% corespunzător a fost [0,328, 0,581]; între P9 și JP7, coeficientul de concordanță a fost de CCC a fost de 0,341, cu un IC 95% [0,238, 0,437]; în sfârșit, între JP3 și JP7, CCC a fost de 0,909 cu IC 95% [0,850, 0,946].

Analizând cu ajutorul regresiei Passing-Bablok, atunci când JP3 este comparat cu JP7, ordonata la origine este de -0,722 cu 95% CI [-1,882, 0,316]. Deoarece acest interval conține 0, concluzionăm că nu există diferențe sistematice între cele două metode. Atunci când P9 este comparat cu JP7, ordonata la origine este de 2,784 și IC 95% [0,592, 4,254] nu conține 0; panta este de 1,227 și IC 95% [1,049, 1,462] nu include 1. Prin urmare, regresia Passing-Bablok relevă atât diferențe sistematice, cât și proporționale între valorile %BF date de P9 și JP7. În cele din urmă, în regresia B1 vs. JP7, ordonata la origine este -6.717 cu 95% CI [-10.90, -3.007], iar panta este de 2,056 cu IC 95% [1,618, 2,500]. Acesta reprezintă cel mai larg interval dintre toate cele trei.

Pe baza analizei Bland-Altman, JP3 subestimează ușor adipozitatea globală a fotbalistilor în comparație cu JP7. În schimb, P9 oferă o supraestimare semnificativă a %BF, în special la subiecții cu %BF mai mare decât media. Formula B1 este în acord cu JP7 în cazul sportivilor extrem de slabi și se abate progresiv de la JP7 în cazul subiecților cu adipozitate mai mare. Lățimea intervalului de acord de 95% (ULA-LLA) este cea mai mică pentru JP3 în comparație cu JP7 (3,9 %BF), intermediară pentru P9 în comparație cu JP7 (5,8 %BF), și cea mai mare pentru B1 în comparație cu JP7 (12,8 %BF).

Prezentul studiu demonstrează că, atunci când ultrasonograful BodyMetrix este utilizat în modul automat, JP3 este mai convenabil atunci când primează confortul subiectului și se dorește o durată redusă a protocolului de măsurare; JP7 este recomandat atunci când precizia este cel mai important aspect. În mod surprinzător, formula propusă de Parrillo pentru urmărirea grăsimii corporale la culturiști, implică 9 zone anatomiche și, prin urmare, se așteaptă să ofere o precizie ridicată și o cartografiere completă a depozitelor de grăsime subcutanată; cu toate acestea, s-a dovedit a fi inexactă pentru a prezice procentul global de grăsime corporală la jucătorii de fotbal de sex masculin.

#### **4. Modificarea ecuațiilor pliurilor cutanate prin înlocuirea fiecărei grosimi a pliurilor cutanate ("skinfold", SKF) cu grosimea țesutului adipos subcutanat ("subcutaneous fat", SF) măsurată ultrasonografic în același loc, înmulțită cu valoarea medie a raportului SKF/SF corespunzător, a demonstrat o performanță superioară în comparație cu ecuațiile brevetate furnizate în software-ul BodyView Pro, în special pentru persoanele supraponderale și obeze**

Cel de-al patrulea studiu a avut ca scop evaluarea acurateții măsurătorilor %BF cu ajutorul tehnicii USA utilizând formule de predicție antropometrice adaptate pentru estimarea cantității de grăsime corporală din grosimile stratului de grăsime subcutanată măsurat ultrasonografic, în locul grosimii pliurilor cutanate. Studiul a fost efectuat pe un lot mixt de 201 adulți (107 B, 94 F).

Au fost modificate 33 de ecuații antropometrice (15 pentru F și, respectiv, 18 pentru B) pentru a calcula densitatea corporală (D) sau %BF folosind valorile SF măsurate cu echipamentul Bodymetrix.

Pentru a reprezenta D sau %BF în termeni de grosime a țesutului adipos subcutanat necomprimat determinată prin USA, formulele antropometrice au fost modificate. Această modificare s-a bazat pe valorile publicate ale raportului SKF/SF la locurile specifice care au fost studiate. Aceste valori au fost obținute prin calcularea mediei măsurătorilor SKF și SF efectuate de către doi investigatori atât pentru femei, cât și pentru bărbați. Raporturile au fost apoi calculate separat pentru femei și bărbați, iar valoarea medie a fost determinată pentru fiecare locație. Formulele modificate au fost redenumite, ex., JP7a, cu ultimul caracter reprezentând „adaptat”.

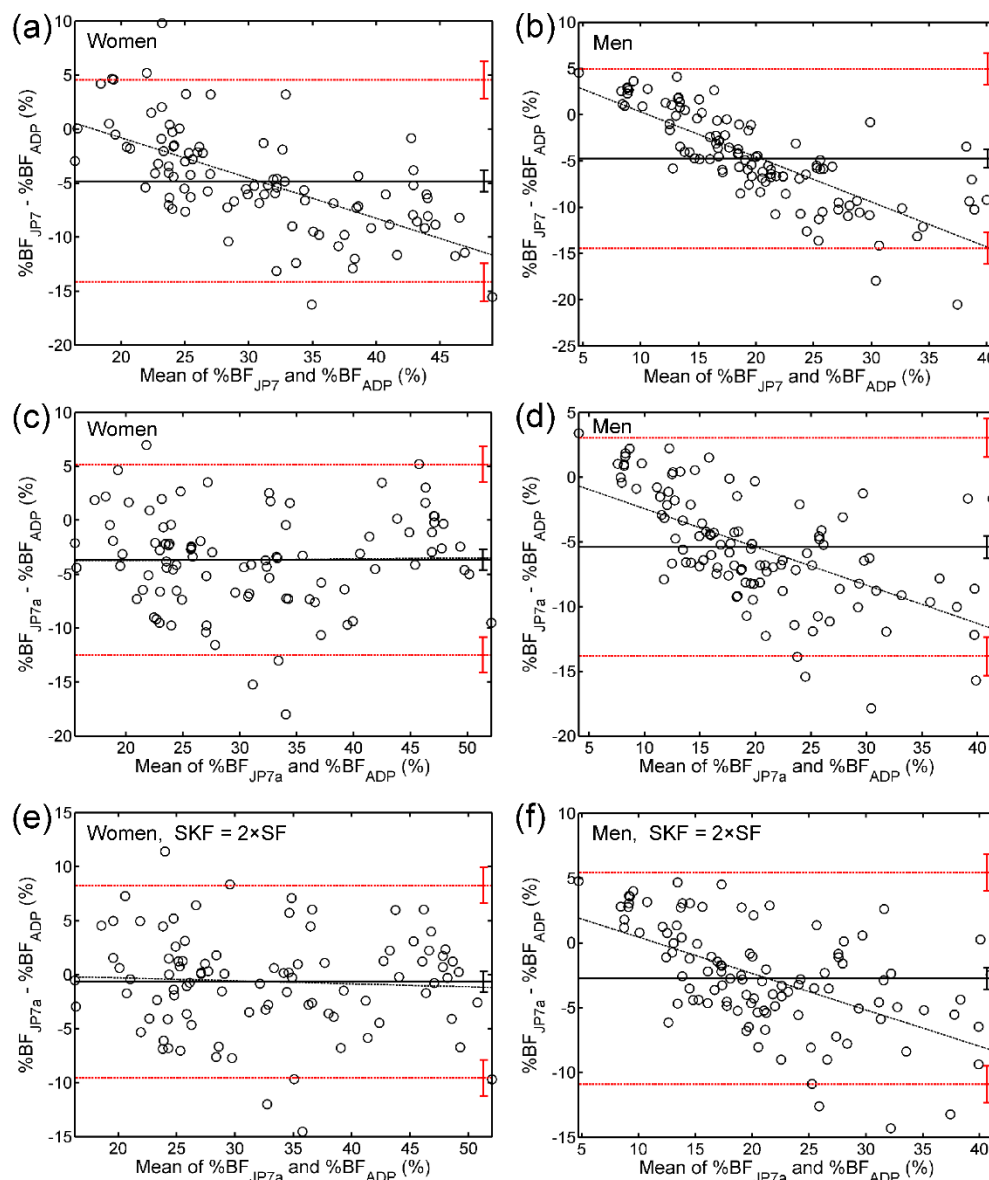
Pentru această investigație, au fost efectuate 3 măsurători cu ajutorul ultrasonografului în modul A, iar apoi s-a folosit mediana celor trei evaluări pentru analiza ulterioară a SF. În cazul rezultatelor obținute prin tehnica de referință (ADP), am aplicat protocolul Tucker de măsurători multiple, care s-a dovedit a fi mai precis decât determinările unice.

Pentru început, am efectuat o comparație între formula JP7 utilizată de soft-ul BodyView și formula Jackson-Pollock cu 7 situri modificată pentru datele derivate din ultrasonografia în modul A (JP7a). Diagramele BA prezentate în Figura 6 ilustrează discrepanțele dintre %BF estimat folosind formule de predicție și %BF măsurat cu ajutorul ADP.

Figura 6 demonstrează că formula JP7 din cadrul programului BodyView nu este doar o versiune modificată a formulei antropometrice comparabile. Ea prezintă un *bias* proporțional în cazul femeilor, după cum se observă în Figura 6a. Este interesant faptul că formula JP7a nu prezintă acest *bias*, independent de constantele proporționale dintre SKF și SF, după cum se arată în Figura 6c și e. La bărbați, *bias*-ul proporțional a fost observat atât în JP7, cât și în JP7a, dar intervalul de acord a fost mai mare pentru JP7 (Figura 6b, d și f). În mod surprinzător, *bias*-ul a fost cel mai puțin semnificativ pentru JP7a, presupunând că  $SKF = 2 \times SF$ .

Atât bărbații, cât și femeile au înregistrat cea mai mică eroare standard de estimare (SEE) atunci când a fost utilizată exclusiv formula JP7. Cu toate acestea, eroarea totală (TE) a fost cea mai mare, în principal din cauza subestimării treptate a %BF la persoanele cu adipozitate crescută. Un trend similar a fost observat și pentru JP7a în rândul bărbaților. În schimb, metoda JP7a a subestimat în mod constant grăsimea corporală la femei, cu o subestimare medie de 3,7 %BF (Figura 6c). Acest lucru s-a datorat faptului că linia de regresie a avut o pantă apropiată de 1. Atunci când SKF a fost aproximat cu dublul SF, a existat o scădere semnificativă a TE și o modificare minimă a SEE, indiferent de sex.

Dintre formulele testate, JP3 și JP7 le-au depășit pe toate celelalte în ceea ce privește SEE pentru femei. Cu toate acestea, unele formule au furnizat un TE mai scăzut. În rândul bărbaților, majoritatea formulelor optimizate au prezentat un SEE mai mare comparativ cu JP7. Cu toate acestea, câteva dintre aceste formule au prezentat un TE mai mic (mai favorabil) decât JP7. Astfel, B7a și L3a au fost comparabile cu JP7 în ceea ce privește SEE și superioare JP7 în ceea ce privește TE.



**Figura 6. Analiza BA a %BF date de formulele Jackson și Pollock cu 7 situri adaptate comparativ cu tehnica ADP.**

Prin prisma coeficientului de concordanță-corelație (CCC) al lui Lin, în rândul femeilor din eșantionul nostru divers, majoritatea formulelor ajustate au atins un echilibru superior între acuratețe și precizie în comparație cu formulele brevetate utilizate pe scară largă. În cadrul

grupului nostru de participanți de sex masculin, am observat că numeroase ecuații modificate au prezentat un CCC mai ridicat comparativ cu ecuațiile JP3 și JP7. În special, B7a și L3a au depășit JP3 și JP7 în această privință. De remarcat faptul că numai J3a ar obține un avantaj prin aproximarea SKF la dublul SF corespunzător.

În timpul generării analizei BA a celor mai favorabile formule identificate pentru bărbați, s-a constatat că bias-ul general a fost relativ redus pentru L3a și L4a. Cu toate acestea, toate formulele de predicție, cu excepția JP3a, au prezentat un bias proporțional, indicând faptul că acuratețea %BF furnizată de aceste formule poate fi limitată la anumite intervale de adipozitate corporală. Mai exact, B7a și L4a au prezentat o acuratețe bună pentru 15-20 %BF, L3a pentru 22-28 %BF, H2a pentru 10-15 %BF și B1a pentru 25-35 %BF. Pentru a confirma aceste observații prin mijloace statistice, este necesar să se examineze un eșantion mai mare și să se analizeze rezultatele pe intervale de %BF.

Bias-ul constant indicat de JP3a sugerează că adăugând 4.2% la %BF raportată de JP3a ar asigura o evaluare corectă a conținutului de grăsime corporală pentru o mare varietate de compoziții corporale. Totuși evaluările individuale ar putea fi diferite, 95% dintre diferențe fiind cuprinse în intervalul de acord de  $\pm 9,6$  %BF cu ADP.

### III. CONCLUZII

1. Protocolul medianei propus în cadrul primului studiu oferă o fiabilitate superioară tehnicii ADP comparativ cu protocoalele standard de măsurare. În cazul ambelor sexe, acest rezultat a fost validat pe baza analizei Bland-Altman și a mai multor teste statistice de fiabilitate. În consecință, prin efectuarea de măsurători multiple, se poate obține o mai mare precizie în evaluarea volumului corporal, a procentului de grăsime corporală, a masei slabe și a ratei metabolice de repaus.

2. Efectele de învățare pot avea un impact substanțial asupra măsurătorilor compoziției corporale utilizând tehnica ADP. Cel de-al doilea studiu sugerează că, mai ales în cazul evaluatorilor neexperimentați, prima măsurătoare ADP ar trebui privită ca un antrenament. Ulterior, rezultatul celei de-a doua măsurători poate fi considerat acceptabil dacă nu se abate cu mai mult de 3% BF de la valoarea inițială. În cazul în care abaterea depășește această limită, este necesară o a treia măsurătoare, iar variabilele compoziției corporale a subiectului pot fi determinate prin intermediul unui protocol de măsurători repetate.

3. Formulele de predicție ale %BF din software-ul echipamentului de ultrasonografie în modul A (Bodymetrix) - Jackson-Pollock-3 (JP3) și Jackson-Pollock-7 (JP7), prezintă același nivel de precizie în măsurarea procentului de grăsime corporală al fotbaliștilor de sex masculin, conform celui de-al treilea studiu. În schimb, formulele Parillo-9 (P9) și Biceps-1 (B1) supraestimează nivelul de grăsime corporală. JP3 este de preferat atunci când se ia în considerare confortul subiectului și durata testului. Pe de altă parte, JP7 este recomandat atunci când cel mai important aspect este precizia, iar ultrasonograful este utilizat în modul automat.

4. Prin dezvoltarea unei tehnici de conversie a 33 de formule antropometrice care calculează procentul de grăsime corporală pe baza grosimii pliurilor cutanate, ecuațiile pliurilor cutanate au fost modificate prin înlocuirea grosimii pliului cutanat (skinfold thickness - SKF) cu grosimea stratului de țesut adipos subcutanat (subcutaneous fat thickness - SF) măsurată cu ajutorul ultrasonografului la nivelul aceluiași loc anatomic, înmulțit cu valoarea medie a raportului SKF/SF corespunzător; precizia acestor ecuații a fost evaluată comparativ cu valorile oferite de

tehnica ADP. Deși niciuna dintre formulele derivate nu a putut fi considerată o alternativă viabilă la metoda ADP, unele dintre acestea au demonstrat o performanță superioară față de ecuațiile brevetate oferite în software-ul BodyView al echipamentului, în special în cazul persoanelor supraponderale și obeze.

#### IV. CONTRIBUȚII ORIGINALE

- Evaluarea în premieră a fiabilității măsurătorilor compoziției corporale cu ajutorul tehnicii ADP în contextul a două protocoale de măsurători multiple propuse în literatura de specialitate.
- Dezvoltarea unui nou protocol ADP pentru măsurători multiple, care a oferit o fiabilitate superioară protocoalelor disponibile în prezent.
- Demonstrarea faptului că rezultatele măsurătorilor ADP sunt influențate de efectele de învățare.
- Demonstrarea faptului că, cel puțin în cazul unui subiect începător, eroarea standard a măsurătorilor ADP se stabilizează începând cu a doua măsurătoare; prin urmare, prima măsurătoare ar trebui să fie considerată ca un test de antrenament.
- Observația că, odată ce testul de antrenament este eliminat, precizia măsurătorilor ADP individuale este similară cu cea a protocoalelor de măsurători multiple.
- Demonstrarea faptului că, în cazul măsurătorilor procentului de grăsime corporală la jucătorii de fotbal de sex masculin prin tehnica ultrasonografică, formulele Jackson și Pollock cu 3 și 7 locații au aceeași acuratețe, însă formula cu 7 locații asigură o precizie mai bună.
- Identificarea faptului că două dintre formule populare implementate în software-ul ultrasonografului în mod A BodyMetrix, respectiv, formulele Parillo-9 (P9) și Biceps-1 (B1) supraestimează nivelul de grăsime corporală la fotbaliștii profesioniști.
- Propunerea unei noi metode pentru a converti o formulă antropometrică a procentului de grăsime corporală calculat din grosimile pliurilor cutanate într-o formulă care prezice procentul de grăsime corporală din grosimile derivate ale țesutului adipos subcutanat necomprimat, măsurat prin metoda ultrasonografică în aceleași locații anatomice.

#### V. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

- Precizia evaluărilor compoziției corporale ar putea fi îmbunătățită prin combinarea mai multor tehnici aplicate modelelor multicompartimentale. Prin utilizarea tehnicilor impedanței bioelectrice multi-frecvență sau a spectroscopiei de impedanță bioelectrică poate fi determinată cantitatea de apă din organism (total body water - TBW). Utilizarea tehnicii ADP de înaltă precizie, permite măsurarea volumului corporal. Pe baza acestor rezultate, compoziția corporală a subiectului va fi descrisă cu ajutorul modelului 3C al lui Siri.
- Investigarea acurateței ultrasonografiei în modul A utilizând modelul 3C ca tehnică de referință.

- Pe lângă înlocuirea pliurilor cutanate cu grosimi măsurate ultrasonografic ale țesutului adipos subcutanat înmulțite cu valorile experimentale ale raportului lor, constantele implicate în formulele antropometrice ar putea fi, de asemenea, modificate pentru a crește precizia formulărilor. În acest scop, algoritmi de optimizare globală vor putea fi utilizați.
- Estimarea stratului de țesut adipos subcutanat la sportivi de elită poate fi realizată și prin ecografie în modul B de înaltă rezoluție, așa cum recomandă Comisia Medicală a Comitetului Internațional Olimpic. Aceasta implică o analiză semiautomată a imaginilor cu ultrasunete măsurate la nivelul a 8 locații standard (diferite de locațiile tipice ale pliurilor cutanate), locații cunoscute pentru a furniza imagini cu ultrasunete evident stratificate. Un aspect problematic, interesant, încă nerezolvat, este acela al predicției conținutului total de grăsime corporală al subiectului pornind de la grosimea stratului adipos subcutanat (obținut prin măsurarea la nivelul acestor locații standard cu tehnica ultrasonografiei).

## XII. PUBLICAȚII ȘTIINȚIFICE

1. **Muntean P.**, Micloș-Balica M., Popa A., Neagu A., Neagu M. *Reliability of Repeated Trials Protocols for Body Composition Assessment by Air Displacement Plethysmography*, **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 2021:18(20), 10693; **ISI Journal (IF – 3.390)**
2. **Muntean P.**, Popa A., Micloș-Balica M., Schick F., Munteanu O., Pupăzan V., Neagu A., Neagu M. *Learning Effects in Air Displacement Plethysmography*, **Life** 2023, 13, 1315. **ISI Journal (IF – 3.253)**
3. **Muntean P.**, Neagu M., Amăricăi E., Hărăguș H.G., Onofrei R.R., Neagu A. *Using A-Mode Ultrasound to Assess the Body Composition of Soccer Players: A Comparative Study of Prediction Formulas*, **Diagnostics** 2023, 13(4), 690. **ISI Journal (IF – 3.992)**
4. **Muntean P.**, Miclos-Balica M., Macavei G.A., Munteanu O., Neagu A., Neagu M. *Anthropometric formulas repurposed to predict body fat content from ultrasound measurements of subcutaneous fat thickness*, **Symmetry** 2024, 16(8), 962. **ISI journal (IF – 2.2)**