

## MODELAREA BIOMECANICA A PRELUARII SI RIDICARII DIN VOLEI

lect. univ. dr. Mircea BARBUCEANU, conf. univ. dr. Sorin Anghel,  
lect. univ. dr. Daniela GIOSANU, prof. univ. dr. Ion IORGA-SIMAN

Universitatea din Pitesti, Facultatea de Stiinte, ROMÂNIA

**Keywords:** biomechanics, volleyball, bump

### Abstract

The actual development and evolution in sports, imposes new training methods. It is about scientifically methods, based on biomechanical studies of the every phase of motion and the motion on the whole. Our study subscribes to this trend; it offers a biomechanical model of one of the action in volleyball names "bump", a common term for forearm passing. The model is not complex; it approximate that all the inferior parts of sportive is a fixed rigid and the ensembles body-arm and arm-ball have a viscoelastic nonlinear interaction. We consider that the experimental confirmation of the model was acceptably.

### 1. SARCINILE ACTUALE ALE BIOMECANICII SPORTIVE

În prezent, nivelul extrem de ridicat al performantelor sportive impune eforturi din ce în ce mai mari în ceea ce privește atât latura financiară cât și cea a numeroaselor aspecte implicate de selecție și antrenament. Considerarea simultană a acestora conduce la bine-cunoscutul principiu de eficiență: obținerea de rezultate cât mai bune cu efort cât mai mic (de timp și bani).

În acest context, în fața antrenorilor din toate disciplinele sportive se ridică o *problema inițială fundamentală*: depistarea în fază cât mai precoce a celor mai dotați indivizi în ceea ce privește posibilitatea atingerii cât mai rapide a performanței în domeniul respectiv. Rezolvarea acestei probleme în țara noastră, în prezent, înregistrează un mare grad de empirism; de bază se iau câteva teste sportive cu suport științific extrem de firav (tot în majoritate empirică) și, mai ales, "flerul" selecționarilor "cu experiență". În cele mai multe cazuri însă acesta nu funcționează, consecințele fiind de la pagubitoare la dramatice:

- neselecționarea unor sportivi cu adevărat talentați, dar care în perioada efectuării selecției nu au prezentat capacități sportive depline din diverse motive obiective (boala, bioritm etc.);
- selecționarea unor sportivi nedotați, dar care în perioada selecției au prins o formă "de vârf", cu evidențierea acestui fapt mult mai târziu și renunțarea la aceștia; astfel, se pierde întregul timp (al sportivilor și antrenorilor) și sumele investite în antrenamentul acestora;
- selecționarea unor sportivi nedotați cu evidențierea după o perioadă de timp medie a acestui fapt dar, în speranța recuperării investițiilor financiare și temporale făcute în aceștia, fortarea lor în scopul obținerii performanței; rezultatele cele mai probabile ale acestor aspecte sunt producerea în scurt timp a numeroase traume fizice (acute sau cronice) ori psihice ale sportivului supus unui astfel de antrenament, cu consecințele dramatice pe care le vedem zi de zi în mass media.

Din oricare din aceste puncte de vedere s-ar privi deci problema fundamentală a selecției sportive inițiale rezulta că, în condițiile zilelor noastre, nu se mai pot accepta soluții empirice.

Este necesar ca în fiecare ramură sportivă să se construiască, pe baza unei analize cât mai profunde și complete, atât teoretică cât și experimentală, IDEALUL SPORTIV. Acesta reprezintă individul înzestrat cu optimul posibil de calități sportive corespunzătoare

ramurii respective. Odata pus la punct acest optim, el va functiona ca un adevarat manual al "detectivului sportiv". Un selectioner dotat cu o astfel de "macheta" a sportivului ideal va cauta pe acei indivizi ce se apropie cât mai mult de aceasta. Astfel, erorile ce le poate face în sensul celor amintite anterior putem fi siguri ca vor fi reduse la minimum, ducând la avantaje financiare si temporare rapide, dar, mai ales, salvând numerosi sportivi, ce nu sunt capabili de performanta, de la traume fizice si psihice care îi pot marca pe viata.

## 2. TEHNICA PRELUARII SI RIDICARII DE SUS A MINGII DE VOLEI

**Preluarea** este o actiune de joc specifica apararii si consta în interceptarea mingii sosite de la adversar (direct sau indirect) si transmiterea acesteia unui coechipier pentru construirea atacului, prin intermediul unei miscari unice.

Aceasta actiune se poate realiza, în functie de contextul jocului, în mai multe variante. În aceasta lucrare vom studia numai preluarea de sus cu doua mâini (fig. 1).



Fig. 1

Acest tip de preluare se utilizeaza în cazul interceptarii unor mingi cu viteza superioara de zbor în raport cu media înregistrata. Este necesar ca sportivul sa mareasca durata contactului pentru a o încetini. Pentru aceasta se observa câteva elemente specifice în toate fazele actiunii:

- *faza initiala – joasa:*

- unghiul dintre trunchi si brate este de  $50^\circ$ , antebrațele fiind ridicate la circa  $40^\circ$  fata de orizontala (determinat de traiectoria mingii de serviciu);
- muschii mâinilor au un tonus crescut: bicepsii bratelor, muschii extensori si flexori ai palmelor; tonusul tricepsilor este nesemnificativ.

- *faza pregatitoare:*

- se întind picioarele si mâinile; se va înregistra, ca urmare, ridicarea centrului de greutate al corpului;
- trunchiul se înclina;
- membrele se deplaseaza înapoi-sus, viteza de miscare marindu-se treptat;
- se înregistreaza desprinderea corpului de punctul de sprijin, ca rezultat al întinderii din articulatiile soldului, genunchiului si gleznelor.

- *faza de executie:*

- unghiul dintre brate si trunchi se mareasce de circa 2 ori, iar cel dintre palma si antebraț creste, ajungând la  $30..35^\circ$ ;
- mâinile se întind din articulatiile coatelor; cresterea unghiului dintre brat si antebraț, deplasarea în sus a articulatiilor pumnului si palmei confirma lipsa miscarii de întâmpinare a mingii cu suprafata de contact a mâinilor, pe parcursul întregii faze de lovire;

- în momentul contactului degetelor cu mingea viteza de deplasare a mâinilor se reduce foarte mult, palmele și degetele sunt ușor orientate înapoi;
  - întinderea energică a palmelor și degetelor transmit mingii o nouă mișcare și deci o nouă traiectorie.
  - *faza de revenire:*
    - se continuă deplasarea suprafeței de lovire a mâinilor și a întregului trunchi în sus-spate, care este determinată de desprinderea de sol din faza pregătitoare;
    - ca rezultat al tuturor acestor mișcări, viteza medie de zbor a mingii pe noua traiectorie scade față de cea inițială;
    - picioarele se întind.
- Ridicarea** este o acțiune de joc care aparține construcției atacului, ce se desfășoară după preluarea din serviciu sau atac. Aceasta constă în transmiterea (pasarea) mingii unui coechipier pentru a efectua atacul.
- În general este utilizată tehnica de ridicare de sus cu două mâini, motiv pentru care va fi descrisă numai aceasta.
- *faza inițială:*
    - trunchiul jucătorului se află în stare verticală, unghiul dintre trunchi și brațe fiind de circa  $95^\circ$ , picioarele fiind îndoite din articulația gleznelor;
    - mișcarea trunchiului este redusă la maximum.
  - *faza pregătitoare:*
    - ca rezultat al flexării picioarelor, centrul de greutate coboară, mâinile se pregătesc pentru contactul cu mingea;
    - deplasarea mâinilor în întâmpinarea mingii se corelează cu picioarele și trunchiul care se destind;
  - *faza de execuție:*
    - la contactul degetelor cu mingea, unghiurile dintre braț, antebrat și palma se măresc;
    - urmează îndreptarea picioarelor și mișcarea de întâlnire a degetelor cu mingea;
    - simultan, se mărește esențial flexarea spre înapoi a palmei – crește unghiul dintre palma și antebrat;
    - sub acțiunea mingii, degetele aratător și mijlociu trec la contactul cu mingea, în poziția de îndoire spre înapoi (amortizare);
    - viteza mâinilor continuă să crească treptat, ca rezultat al întinderii segmentelor corpului din articulații;
  - *faza de revenire:*
    - mingea se urmărește cu mâinile, picioarele continuă să se întindă aproape până la limită, trunchiul și mâinile se deplasează spre sus-înainte;
    - tonusul muscular scade treptat și se apropie de nivelul inițial;
    - mișcarea de urmarire a mingii încetează, voleibalistul duce mâinile în jos și trece în poziția fundamentală de joc.

### 3. MODELAREA BIOMECANICĂ A PRELUĂRII ȘI PASĂRII

Scopul studiului a fost, inițial, cel de obținere de date esențiale pentru predarea preluării mingii de deasupra capului în volei. Ulterior, s-a pus problema generalizării obiective a studiului, procedându-se la modelarea biomecanică prezentată în continuare.

Pentru simularea numai a preluării efective, în care să nu intereseze alte mișcări auxiliare (care ar “voala” întrucâtva aspectele esențiale ale acestei acțiuni motrice și ar face de nescris orice sistem de ecuații) s-a ales un model alcătuit numai din brațele sportivului și mingea. După cum vom vedea, modelul a permis estimarea aproximativă a

accelerației mingii în decursul contactului cu palmele. Compararea valorilor obținute cu cele achiziționate prin analiza videocomputerizată a arătat că modelul este valabil și coeficienții de elasticitate și viscozitate au fost estimați adecvat.

În figura 2 sunt schematizate condițiile experimentului biomecanic realizat în vederea analizei analizei videocomputerizate a acțiunii motrice modelate, atât calitativ – urmărindu-se posibilitățile de simplificare ale biosistemului în concordanță cu realitatea – cât și cantitativ – în vederea verificării ulterioare a concordanței dintre model și realitate (validarea modelului).



Fig. 2

În vederea obținerii datelor specifice modelului propus în discuția anterioară, adică pentru a-l forța pe sportiv să-și folosească numai brațele, acesta a fost așezat pe un scaun obișnuit. Înregistrarea video s-a realizat cu o cameră de luat vederi obișnuită (Panasonic), frecvența de înregistrare a imaginilor de către aceasta (36 frame/s) fiind suficientă studiului de față. Mingea folosită în experiment a fost cea aprobată oficial (masă: 0,273 kg, circumferința: 0,655 m, presiune internă a aerului: 0,31 hp/cm<sup>3</sup>).

S-au înregistrat două tipuri de încercări. Unul a fost pasarea unei mingi aruncate de la o înălțime de 1,2..1,5 m (preluare înaltă). Cealaltă a fost pasarea mingii lăsată să cadă de la o înălțime de 1,2 m până la 0,6..0,8 m (preluare joasă). Au fost aleși inițial doi subiecți, unul masculin și unul feminin, ambii jucători experimentați din echipele de volei a universității. În partea a doua a experimentului, s-au ales doi subiecți neexperimentați de sexe diferite, care au practicat voleiul cel mult în orele de sport din școală.

Imaginile înregistrate cu camera video au fost digitizate cu ajutorul unui card de captură video și apoi analizate pe un PC cu ajutorul softului specializat "World in motion", marcându-se pe imagine cu ajutorul mouse-ului mai multe puncte succesive ale traiectoriei mingii care să permită calculul accelerației acesteia. La faza de contact, viteza verticală și accelerația verticală a mingii au fost calculate prin diferențierea componentei verticale a coordonatelor pozitionale ale mingii.

Analiza videocomputerizată a acestei acțiuni motrice a relevat faptul că se poate considera existența a două componente mecanice relativ distincte în preluarea și pasarea mingii de deasupra capului: una ar fi componenta care absoarbe direct momentul mingii și controlează astfel direcția acesteia; cealaltă este cea care controlează accelerația mingii.

Toate acestea au condus la simplificarea adecvată a sistemului biomecanic prin intermediul unui sistem mecanic bicomponent, format din două puncte materiale cuplate între ele și cu reazemul prin elemente elastice armonice și elemente viscoase liniare. Acest sistem simplificat este prezentat în figura 3. Corpul 1 reprezintă mingea în interacțiune viscoelastică cu brațele subiectului, iar corpul 2 reprezintă brațele acestuia în interacție viscoelastică cu restul corpului, fixat în scaun.

Ca notatii, coordonatele generalizate  $y_1$  si  $y_2$  au semnificatia fizica a elongatiilor corespunzatoare fata de corp. Asa cum am afirmat apar elementele viscoelastice. Liniaritatea acestora impune considerarea, pe lânga fortele elastice a fortelor viscoase de frânare, proportionale prin coeficientii de viscozitate  $C$  cu vitezele corpurilor:  $F_{vy} = -C\dot{y}$ .

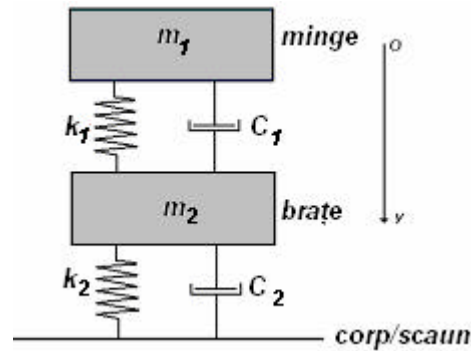


Fig. 3

Prin urmare, ecuatiile diferentiale corespunzatoare miscarilor celor doua corpuri vor fi:

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{y}_1 &= -k_1(y_1 - y_2) - C_1(\dot{y}_1 - \dot{y}_2) - m_1 g \\ m_2 \ddot{y}_2 &= -k_2 y_2 - C_2 \dot{y}_2 - m_2 g - m_1(\ddot{y}_1 + g) \end{aligned} \quad (1)$$

Se impune, în vederea verificarii corespondentei cu realitatea, rezolvarea prin metode numerice, pe cazul real concret implicat de experimentul realizat.

#### 4. VALIDAREA MODELULUI PRELUARII CU PASARE

- rezultatele experimentale

Rezultatele privind valorile reale ale vitezei si acceleratiei verticale ale mingii obtinute prin analiza videocomputerizata pentru un subiect masculin experimentat în preluarea de tip înalt sunt prezentate în tabelul 1:

Tabel 1

Nr. înreg.	Timpul (s)	Viteza (m/s)	Acceleratia (m/s <sup>2</sup> )
1	3	-4.85	7
2	6	-4.78	23
3	9	-4.69	56
4	12	-4.25	112
5	15	-3.82	160
6	18	-3.41	195
7	21	-2.4	223
8	24	-1.72	235
9	27	-1.18	229
10	30	-0.7	205
11	33	0.12	175
12	36	0.65	151
13	39	1.37	141
14	42	1.91	136
15	45	2.32	139
16	48	2.65	145
17	51	3.14	143
18	54	3.52	130
19	57	3.8	109
20	60	4.07	93
21	63	4.42	70

22	66	4.69	50
23	69	5	30
24	72	5.2	18
25	75	5.3	10
26	78	5.34	7

Reprezentarea grafica a acestora este prezentata în figura 4.

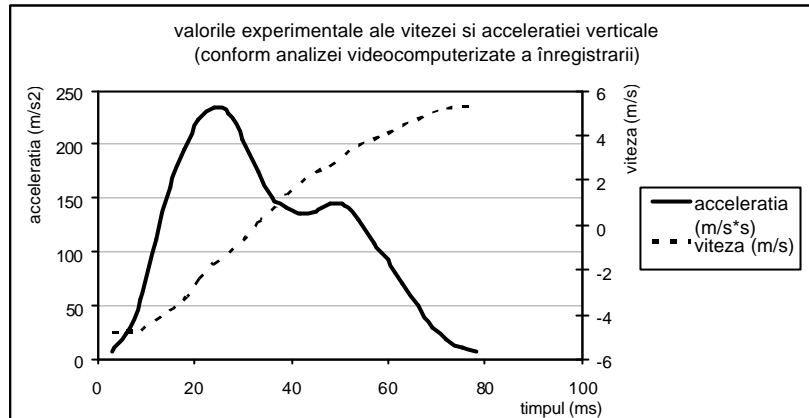


Fig. 4

• rezultate teoretice conform modelului biomecanic

Pentru rezolvarea numerică a sistemului de ecuații diferențiale (1) s-au luat aceleași condiții inițiale rezultate din analiza video-computerizată. Astfel, viteza inițială a mingii a fost  $v_1[0] = \dot{y}_1[0] = -4,85 \text{ m/s}$ . Pentru corpul 2, care modelează bratele, conform imaginii video, viteza inițială s-a considerat nulă.

Tot din înregistrările video a rezultat că influența viscozității legăturii brate-corp este nesemnificativă. Aceasta presupune că în biomodelul nostru să considerăm constanta de viscozitate  $C_1$  neglijabilă, putând elimina întregul termen corespunzător acesteia.

Constantele de elasticitate și viscozitate sunt cele oferite de literatura de specialitate internațională; ulterior, fiind vorba de un model, acestea au fost modificate astfel încât diferența între curba de analiză video-computerizată a mișcării și cea de simulare teoretică să fie minimă. Acestea sunt prezentate în tabelul următor, împreună cu estimările pe imagine ale deplasărilor inițiale:

Tabel 2

	subieci masculin				subieci feminini			
	experimentat		neexperimentat		experimentat		neexperimentat	
	p. înalta	p. joasa	p. înalta	p. joasa	p. înalta	p. joasa	p. înalta	p. joasa
$C_2 \text{ (Ns/m)}$	250	200	100	160	10	100	150	50
$k_1 \text{ (N/m)}$	10000	500	60000	10000	3500	1500	5000	2000
$k_2 \text{ (N/m)}$	160000	100000	280000	280000	150000	90000	120000	110000
$y_1 [0] \text{ (m/s)}$	-0,058	-0,28	-0,034	-0,12	-0,15	-0,21	-0,13	-0,21
$y_2 [0] \text{ (m/s)}$	-0,04	-0,08	-0,014	-0,021	-0,026	-0,038	-0,03	-0,023

Ca metodă numerică de rezolvare a sistemului de ecuații diferențiale (1) a fost aleasă metoda *Runge-Kutta* de ordinul *IV*, datorită largii sale utilizări și marii precizii; pentru a putea efectua comparația teorie-experiment, pasul de integrare a fost ales același cu intervalul de timp dintre două imagini consecutive înregistrate de camera video (*timpul de tragere*):  $\Delta h = 0,315 \text{ s}$ . Calculele corespunzătoare au fost efectuate cu ajutorul unui program propriu de calcul scris în limbaj Pascal.

Comparatia rezultatelor obtinute pentru acceleratie – ca parametru de validare principal - obtinuta în mod experimental si cele rezultate din calculele conforme cu modelul biomecanic construit sunt prezentate în tabelul 3 si graficul din figura 5.

Tabel 3

Nr. înreg.	Timpul (s)	Acceleratia teoretica ( $m/s^2$ )	Acceleratia reala ( $m/s^2$ )
1	3	6	7
2	6	20	23
3	9	45	56
4	12	80	112
5	15	125	160
6	18	162	195
7	21	194	223
8	24	228	235
9	27	243	229
10	30	239	205
11	33	221	175
12	36	190	151
13	39	162	141
14	42	147	136
15	45	136	139
16	48	134	145
17	51	136	143
18	54	137	130
19	57	127	109
20	60	108	93
21	63	72	70
22	66	48	50
23	69	24	30
24	72	11	18
25	75	5	10
26	78	2	7

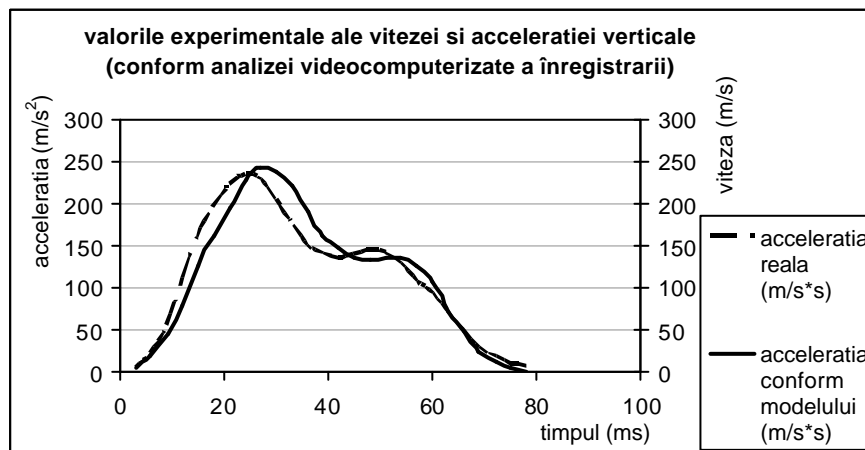


Fig. 5

## 5. CONCLUZII

Modelul biomecanic construit de noi pentru simularea (teoretica) a coliziunii dintre minge si extremitatea superioara a corpului jucatorului de volei în preluarea mingii de deasupra capului - model de tip masa-elasticitate-viscozitate - este, cel puțin din punct de vedere calitativ, corespunzator fenomenului real.



Acest model poate fi folosit deci pentru un studiu experimental mai aprofundat ce vizeaza evidentierea caracteristicilor specifice sportivilor de performanta, comparativ cu al unor sportivi neexperimentati. Din datele de care dispunem din literatura internationala de specialitate se pare ca rezultatele obtinute vor trebui - tot ca o conditie de validare a modelului construit - sa indice faptul ca jucatorii experimentati (cu îndemânare) își pot schimba elasticitatea palmei prin încordarea corespunzătoare și treptata a muschilor antebrațului, în funcție de înălțimea de la care vine mingea. Acesta este și motivul pentru care jucatorii experimentati pot controla mingea cu ușurință.

#### Bibliografie

- [1] Barbuceanu M., Iorga-Siman I., Barbuceanu D., Popescu A., *Determination of forces responsible for the motion of biomechanism using the inverse mechanic method*, ANNALS of the ORADEA UNIVERSITY, Fascicle of Management and Technological Engineering, 2005
- [2] Berne N., Cappozzo A., Meglan L., *Rigid body mechanics as applied to Human movement studies*, Biomechanics of Human Movements, 1990, p. 89-107, Worthington, Ohio
- [2] Donskoi D., *Biomecanica. Bazele tehnicii sportive*, Editura stadion, Bucuresti, 1973
- [3] Fântâneau E., *Volei. Mica enciclopedie*, Editura Sport-Turism, Bucuresti, 1981
- [4] Frohner B., *Tehnologie actuala asistata de aparatura video si computer, utilizata în cercetarea sistematica a actiunilor tehnico-tactice în volei, din perspectiva individuala si colectiva*, Leistungssport, Munchen, 4/1995
- [5] Hanavan E. P., *A mathematical model of the human body*, Aerospace Medical Research Lab., Wright-Paterson bases, 1964
- [6] Serban M. H., Gheorghe M., *Modelarea matematica a eficientei actiunilor de atac si aparare în jocul de volei*, E. F. S., Bucuresti, 6/1984
- [7] Zatsiorsky. V. M., *Biomechanics in sport. Performance and injury prevention*, Vol. IX of the ENCYCLOPEDIA OF SPORTS MEDICINE, Blackwell Science Published, London, 2000