

*Dr Grujo Bjeković, prodekan  
Fakultet fizičke kulture, Pale*

## **ELEKTRIČNE METODE MJERENJA BIOMEHANIČKIH PROMJENA**

### **UVOD**

Mjerenje predstavlja osnovni dio naučnog eksperimenta i cilj mu je objektivizacija naučnog saznanja. Za fizičku kulturu kao i za neke oblasti medicine najznačajnije su one oblasti biomehanike koje se bave pokretima čovjeka.

U biomehanici je predmet mjerenja, predmet direktnog mjerenja mehaničke veličine koja opisuje kretanje cijelog tijela ili njegovih segmenata.

U mehaničkom smislu čovjekovo tijelo predstavlja sistem izuzetne složenosti. Uzrok tome je veoma veliki broj pokretnih i polupokretnih zglobova koji istovremeno predstavljaju i spoj i centre pokreta pojedinih segmenata tijela.

Sa tehnološkim razvojem stvoreni su uslovi za eksperimentalna istraživanja složenih mehaničkih i biomehaničkih sistema. Eksperimentalne metode u biomehanici dijele se u dvije grupe:

- U prvu grupu spadaju metode mjerenja parametara kretanja kod kojih se mehančke veličine mjere tokom kretanja.

- U drugu grupu spadaju metode parametara konačnog rezultata kretanja i kod njih se koristi jednostavna oprema.

Druga podjela biomehaničkih mjerenja zasniva se na mehaničkim veličinama koje se direktno mjere.

To je podjela na mjerenje kinematičkih veličina i dinamičkih veličina. Izuzetak čine elektromiografska mjerenja kod kojih se informacija o stepenu mehaničke aktivnosti mišića dobiva mjerenjem njihove električne aktivnosti.

Ova metoda skraćeno se naziva i EMG metoda a zasniva se na mjerenju bioelektričnih signala koji nastaju protokom jona kroz membrane mišićnih

ćelija. Dok klasična biomehanička mjerenja mogu da pokažu koliko rezultirajući mišićni moment djeluje u zglobu, EMG metoda utvrđuje koji su mišići aktivni pri određenom pokretu i koliko je vrijeme njihovog mehaničkog djelovanja.

Električne metode mjerenja su metode zasnovane na promjeni izmjene mehaničke veličine u električni signal u kasnijem mjerenju i njegovoj analizi.

Uređaj koji pretvara izmjerenu veličinu u električni signal naziva se početni mjerni transformator (predajnik). Ovaj transformator se za vrijeme sportskih istraživanja obično postavlja na tijelo sportiste. Električni signal uzet sa mjernog transformatora predaje se na uređaje za registracije električnog signala. Danas se u praksi sportskih mjerenja primjenjuju sljedeći mjerni transformatori:

1. Tenzopredajnik je mjerni transformator malih deformacija koji mjeri napore sportista u najvećoj brzini i na sportskim spravama.
2. Akselerometar je mjerni transformator linijskih ubrzanja.
3. Goniometar je mjerni transformator zglobnih uglova.

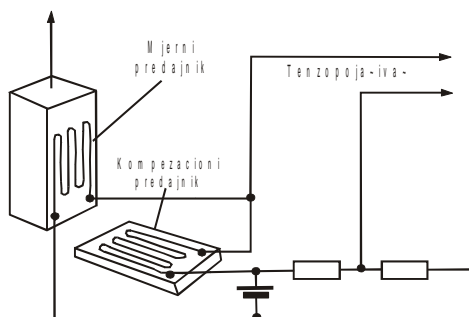
Uporedo sa ovim metodama, korištenim propisanim mjerilima u biomehanici se pri izučavanju kretanja primjenjuje registracija i analiza električne aktivnosti mišića tzv. elektromiografija.

Međutim, najrasprostranjenija metoda električnog mjerenja u sportu smatra se tenzodinamometrija.

## TENZODINAMOMETRIJA

U toku sportske aktivnosti mehaničko djelovanje sa tijela sportiste prenosi se na sportske sprave pri čemu se ta tjela deformišu. Veličina deformacije proporcionalna je sili djelovanja. Za određivanje deformacije, kao mjere sile uzajamnog djelovanja sportiste na vanjskim tijelima u praksi biomehaničkih istraživanja najčešće se koristi tenzoprijemnik. On predstavlja dva komada papira ili mjerne trake i cik-cak položene žice (žičani tenzorezistor). Tenzorezistor se lijepi na element koji prima napor koji čini sportista. Za vrijeme deformacije elementa dolazi i do deformacije nalijepljenog tenzorezistora pri čemu se mijenjaju geometriske veličine provodnika tenzorezistora i njegov električni otpor.

Pri mjerenju tenzorezistori se obično uključuju u takozvanu mostnu šemu. (Slika 1)



Sl. 1. Električna šema termokompezacionog tenzometričkog mosta

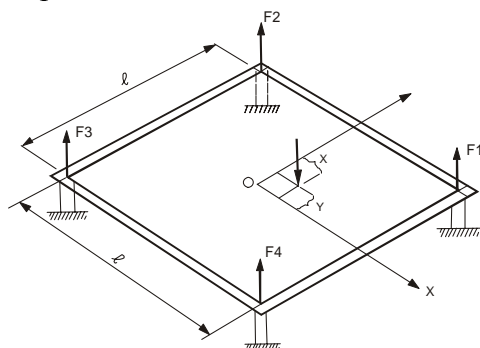
Snimljeni električni signali sa mostne šeme obično se ne mogu registrovati pa se koriste specijalna tenzometrička pojačala. Ostupanje aparata za registrovanje proporcionalna su naporu sportiste. U većini slučajeva tenzometrička aparatura neposredno se koristi za određivanje energetskih karakteristika sportskih kretanja i karakteristika dinamičke strukture pokretačkog čina i efikasnosti kretanja u cjelini.

Za izučavanje uzajamnog djelokruga sportise na podlogu primjenjuju se specijalni mjerni aparati tzv. tenzometričke platforme. Platforma predstavlja ploču položenu na četiri elementa (podloge) koje su snabdjevene tenzopredajnicima.

Tenzopredajnici su spojeni tako da im se signali sabiraju.

## STABILOMETRIJA

Sa tenzometričkom aparaturom može se istražiti premještanje tačke napora na tenzoplatformu.



Sl. 2. Šema dinamometrijskog stola

Premještanje može proizaći kako zbog pokretanja ispitanika tako i zbog promjene položaja njegovog centra teže. Za ta mjerenja se upotrebljava tenzo-platforma pomoću koje se mjere posebno reakcije svih podloga postavljenih pod uglovima platforme.

Ako uvodni sistem koordinatora Oxy, koji leže u ravni platforme sa početkom koordinata u njenom centru pod uslovom ravnoteže dobija se međuodnos sila koje djeluju na platformu, gdje je  $I$  rastojanje između podloga platforme ustanovljeno na jednoj njenoj strani.

Iz toga proizilazi formula za koordinate tačke napora na platformu, snage  $R$  težine ispitanika.

Parametri  $I$  i  $R$  su stalne veličine a  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  i  $F_4$  su izlazni signali tenzometričke aparature izraženi u jedinicama sile (snage). Mjerenje tih premještanja sportiste i održavanje vertikalne poze naziva se stabilometrija.

## AKSELEROMETRIJA

Jedna od najvažnijih kinematičkih karakteristika kretanja je linijsko ubrzanje. Liniska ubrzanja tačke tijela čovjeka mijenjaju se u veoma širokom dijapazonu. U početnoj fazi zamaha noge ili ruke, prije udarca, ubrzanje može dostići do  $200 \text{ m/sek}^2$  a u fazi kontakta sa loptom za hiljadite dijelove sekunde ono pada do  $-1000 \text{ m/sek}^2$ . Ubrzanje težišta tijela sportiste pri lokomotornim kretanjima mijenja se u granicama  $\pm 100 \text{ m/sek}^2$ . Akselerometri se uzimaju za mjerenje konkretnih vrsta kretanja i postiyanje maksimalne tačnosti.

Ubrzanja se mjere akselerometrima. Princip rada akselerometra sastoji se u tome, da se ispitivanom objektu pričvršćuje neka mala masa određene tvrdoće.

Kretanje objekta sa ubrzanjem uslovljava pojavu sile inercije u akselerometru, koja je usklađena sa pričvršćenim elementom.

Masa predajnika i tvrdoća su postojane veličine i premještanjem mase objekta (prijemnik) je proporcionalno linijskom ubrzanju. Ako je odnos premještanja mase prijemnika ravan deformaciji, mjerenjem te deformacije moguće je odrediti traženo ubrzanje. Pretvarnje mehaničkog premještanja mase prijemnika u električni signal proizvodi se pomoću tzv. sekundarnih mjernih transformatora.

Razlikuju se indikaciono, induktivni i rezistorni sekundarni transformatori. Najčešće se upotrebljavaju transformatori rezistornog tipa-električni tenzometri otpora.

## GONIOMETRIJA

Mjerenje uglova u zglobovima čovječijeg tijela naziva se goniometrija.

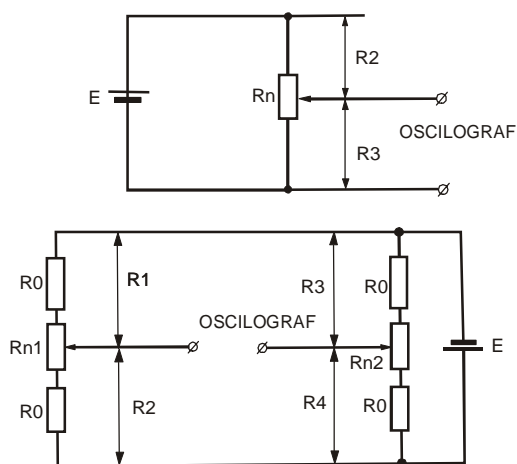
Zglobni ugao je važna biomehanička karakteristika i koristi se za analizu sportskih kretanja, pokretnosti zglobova tijela i njihovom položaju u različitim pozama. Pokretljivost tijela uslovljava ugaoni prenos odnosno ugaono premještanje. U zavisnosti od oblika zglobova pokreti se mogu ostvariti na jednoj ili više površina. Od položaja zglobnog ugla zavisi i veličina mišićne težine. Što je duži mišić u predelima automatske pokretljivosti veći je napor koji se razvija među ostalim jednakim uslovima. Na primjer razlika u sadržaju zglobnih uglova kod vrhunskog sportiste prilikom trčanja u maksimalnoj brzini i u momentu stavljanja noge na podlogu razlikuje se od početnika od 4-6 stepeni.

Ugaona premještanja čovječijeg tijela mogu se mjeriti različitim metodama fotografijom, kinegramom ili mjerenjem. Za mjerenje zglobnih uglova koriste se aparati koji se zovu goniometri ili mjeraci zglobnih uglova. Postoje dva tipa goniometara:

- mehanički i
- elektromehanički.

Zglobni ugao u statičkom položaju moguće je izmjeriti mehaničkim goniometrom.

Za mjerenje promjene zglobnih uglova prilikom kretanja koristi se elektromehanički goniometar.



Sl. 3. Principijelne električne šeme priključivanja goniometra na mehanizam za registrovanje

## ELEKTROMIOGRAFIJA

EMG je metod registracije analize i električne aktivnosti mišića i primjenjuje se u izučavanju sportskih kretanja. Ova metoda omogućuje dobijanje značajne informacije o radu mišića pred fizičku vježbu. EMG koristi se ne samo u svojsstvu pokazatelja funkcionalnog stanja mehanizma, koordinacije kretanja, već i u svojsstvu ekvivalenta mehaničkih pojava (naprezanje, vuča) koje se javljaju u mišićima.

Za izučavanje čovjekove pokretačke aktivnosti moguće je izdvojiti tri osnovna pravca korišćenja EMG-je:

- karakteristika aktivnosti određenih mišića u različitim pokretačkim postupcima,
- određivanje aktivnosti određenih mišića u različitim pokretačkim postupcima,
- karakteristika usklađivanja aktivnosti mišića u jedinjenih zajedničkim učešćem u kretanju.

Električna aktivnost mišića javlja se kao rezultat hemijskih procesa u organizmu. Izvor elektroenergije odlikuje se izmjenom amplitude i frekvencije elektropokretačke sile a takođe i njegovim unutrašnjim otporom.

Za snimanje električne aktivnosti mišića najčešće se koriste svjetlosni oscilografi, koji obezbjeđuju višekanalnu registraciju to jest kompleksnu registraciju biomehaničkih karakteristika kretanja.

## LITERATURA

1. Jarić, S. (1993) Biomehanika, Fakultet fizičke kulture Univerziteta Beograd
2. Jarić, S. (1994) Praktikum iz biomehanike, Fakultet fizičke kulture Univerziteta Beograd
3. Kozlov, I. M. (1980) Praktikum po biomehanike, filzkuljtura i sport Moskva
4. Lukman, L. (1967) Praktikum iz biomehanike, Fakultet za fizičko vaspitanje Beograd
5. Opavski, P. (1976) Osnovi biomehanike (III izdanje), Naučna knjiga, Beograd
6. Zahorjević, A. (1991) Osnovi biomehanike plivanja