**Multisenzorski sustavi i lokomocija – 1. predavanje - Povijest**

BIOMEDICINSKO INŽENJERSTVO:

* tehnički pristup se rabi za MODELIRANJE I SIMULACIJU, dakle za bolje razumijevanje funkcioniranja bioloških sustava i za realizaciju TEHNIČKIH UREĐAJA I POSTUPAKA, namijenjenih medicinskoj dijagnostici, terapiji i prevenciji.
* izrazito propulzivno (napredujuće), inter- i multi- disciplinarno područje

⇒ interdisciplinarno područje karakterizirano PRIMJENOM METODOLOGIJE EGZAKTNIH I TEHNIČKIH ZNANOSTI na rješavanje problema BIOLOŠKIH I BIOMEDICINSKIH SUSTAVA.

**Područja BM inženjerstva:**

* biomedicinska instrumentacija
* biomehanika
* biomaterijali
* sustavska fiziologija
* kliničko inženjerstvo
* rehabilitacijsko inženjerstvo

**Biomehanički laboratorij**

* mjesto koje se rabi za prikupljanje eksperimentalnih podataka o ljudskom kretanju izvođenom pod uvjetima bliskim prirodnim, s raspoloživim tehničkim uređajima (mjernim instrumentima)
* prikupljeni podatci zatim omogućuju **kvantitivnu analizu i karakterizaciju** mjerne kretne strukture, i po mogućnosti, njenu dijagnostiku

**Povijest:**

**ANTIKA**

ARISTOTEL:

* jedini mjerni uređaj – PAŽLJIVO PROMATRANJE
* prvi pokušaj **geometrijske analize lokomocije** ('De motu animalium')
* kvantitativna analiza životinjskog kretanja – dublje razumijevanje funkcije mišića i zglobova u pokretu, te prvo razmatranje postojanja i utjecaja reakcije podloge

GALEN:

* liječnik rimskih gladijatora – prvi 'sportski', tj. 'timski' liječnik
* napredak u razumijevanju rada mišića – začetnik razvoja MIOLOGIJE

→ otkrio put prenošenja podražaja do mišića

→ razlikovao je vrste mišića (agonisti i antagonisti), kao i živaca (motorički, osjetilni)

**RENESANSA**

da VINCI

* precizni crteži skeletnih mišića čovjeka i način njihova pripajanja na kosti
* mehaničku akciju prikazao je djelovanjem sile uz mišićne filamente

VESALIUS:

* krenuo Galenovim stopama, kasnije izvršio korekcije nekih njegovih zaključaka → začetak moderne anatomije

**ZNANSTVENA REVOLUCIJA**

GALILEI

* mehanička analiza životinjskog pokreta (neki ga smatraju **ocem biomehanike**)

NEWTON

* uveo aspekt djelovanja sile na daljinu → sila akcije i reakcije – osnova kinetičke i kinematičke analize pokreta

Zajedno, postavili teorijske i eksperimentalne osnove za analizu pokreta (i prikazali ih kao komplementarne), temeljene na fiziološkim principima + Newtonova mehanika – potpuno novi način mehaničke analize

BORELLI

* uveo inženjerski pristup u proučavanje ljudskog tijela → s njim započinje objektivnija i kvantitativna analiza lokomocije
* zbog djela 'De motum animalium', isto se često naziva **ocem biomehanike**
* glavni reprezentant IATROMEHANIKE – medicinske teorije koja ljudski organizam gleda kao stroj, zanemarujući fiziološki i patološki aspekt
* kosti je promatrao kao mehaničke poluge pomicane mišićima prema matematički određenim principima
* prvi je pomoću znanja matematike, fizike i anatomije odredio centar mase tijela

REDI

* prvi prepoznao povezanost mišića s generiranjem elektriciteta (pokusi s električnom ribom)

SWAMMERDAM

* otkrio da djelovanjem mehaničke sile može doći do kontrakcije mišića → prvi eksperiment električne stimulacije (prije Galvanija 134 god.)

CROONE

* signal za stezanje mišića dolazi iz mozga

GALVANI

* smatra se **ocem neurofiziologije** zbog eksperimenata s žabljim kracima
* pokazao da električna stimulacija mišićnog tkiva proizvodi kontrakciju i silu na mišiću
* zbog ograničene instrumentacije, njegov je rad prihvaćen tek 40 godina kasnije

(VOLTA – u sljedećem razdoblju)

* napravio uređaj za proizvodnju elektriciteta koji je mogao biti korišten za stimulaciju mišića – galvanska ćelija

značaj razdoblja:

* jasniji koncept sile
* početak razvoja koncepta momenta i pohrane energije
* matematički opis mehaničkih zakona
* kontrakcija i akcija mišića pod utjecajem mehaničkih, bio-kemijskih ili elektičkih sila

**STOLJEĆE HODA**

MATTEUCCI

* dokazao povezanost bioelektriciteta s mišićnom kontrakcijom korištenjem galvanometra
* pokazao postojanje akcijskog potencijala u žabljim mišićima
* početak ELEKTROBIOKEMIJE

DU BOIS-REYMOND

* postulirao postojanje razlike potencijala između unutrašnjosti i vanjštine mišića, pa posljedično i membranskog potencijala
* otkrio **živčani impuls**, osnovni mehanizam prijenosa informacije živčanim sustavom

W. i E. WEBER

* prva značajnija analiza ljudskog hoda temeljena na teorijskim i opservacijskim principima, koristeći opservacijske tehnike dostupne u tome vremenu (kronograf – sat/štoperica, metar, diopter – optički astronomski uređaj, preteča teleskopa, za mjerenje kutova)
* prvi su proučavali potpornu i odraznu fazu hoda kao i odnos između dužine i trajanja koračaja
* mnoge njihove pretpostavke bile su neispravne, primjerice: lokomocija je optimalan proces s minimalnom potrošnjom energije – „princip najmanjeg mišićnog napora“
* utvrđivanje agende (djelokrug rada) za daljnja istraživanja ljudskog hoda

Daugerre i epohalna otkrića

-otkriće fotografije – dagerotipija

- diorama – preteča kinematografskih metoda

- otkriće jednoblicne ekspozicije

MAREY

* transformirao je proučavanje lokomocije iz znanosti temeljene na promatranju u znanost temeljenu na kvantifikaciji → inspiracija za razvoj i unaprjeđenje uređaja za mjerenje pokreta
* češće se smatra pionirom fotografije, nego li biomehanike
* prvi biomehanički laboratorij – Station Physiologuique u Parku prinčeva u Parizu

osnova eksperimentalne metodologije i korištenja instrumentacije:

* + - dinamometri, spirometri, pedometri i druga aparatura (pneumografi, sphygmografi i kardiografi) koji omogućuju proučavanje efekata atletskog vježbanja, kao i napredovanja određenih fizičkih i fizioloških tjelesnih svojstava uslijed treninga

uređaji za registraciju i pripadna korištena aparatura:

* + - dinamometarski stol – prva podloga za mjerenja reakcije sile podloge
    - ODOGRAF – uređaj za registraciju vremenske promjene određene veličine (fizikalne ili fiziološke) putem rotirajućeg valjka i pisaljke

(A device for recording the length and rapidity of stride and the number of steps taken by a walker.)

* + - KYMOGRAPH – uređaj i aparatura za bilježenje ponašanja pneumatike između stopala i podloge

(is a device that gives a graphical representation of spatial position over time in which a spatial axis represents time.)

* + - fotografski pištolj
    - kronofotografija – preteča kinematografske kamere
* prvi je kombinirao kinetičke i kinematičke mjere, te dinamometarske i mehaničke mjere, kroz fotografiju

MUYBRIDGE (+Stanford)

* u početku, napravio emulziju koja je omogućavala snimanje brzinom 1/1000 sekunde, a kasnije čak i 1/6000 s
* za snimanje konjskog trka/hoda, koristio je sustav sinkroniziranih kamera
* doprinos analizi lokomocije postigao je velikim brojem fotografija pokreta
* za razliku od Mareya, nedostajalo mu je znanstvene metodologije, kao i interpretacije fotografija

BRAUNE & FISHER

* precizna matematičke 3-D analiza ljudskog hoda
* da bi matematički modelirali tijelo, bilo je potrebno izračunati centre ravnoteže i momente inercije tijela i svih dijelova tijela od interesa → eksperimentalno određeno temeljem sekcija tijela i snimanja kamerama, hoda vojnika
* prvi su opisali točne, analitičke rekonstrukcije 3D trajektorije karakterističnih točaka tijela
* značajno metodološki – prvi su uveli inverzni dinamički pristup
* primjena fotografije, uvođenje stereometrije
* otkrili su da je tijekom faze zamaha, pri hodu, muskulatura aktivna (za razliku od Webera)

ELFTMAN

* kvantificirao je unutarnje sile u zglobovima i mišićima, a djelovanje vanjskih sila mjerio je plohom za mjerenje sile reakcije podloge

PLATO SCHWARTZ

* 1930-ih prvi primijenio mjerenje hoda u medicinsko-kliničke svrhe
* postulirao osnovne zahtjeve za mjernu metodu hoda
* primjenjivao ELEKTROBAZOGRAF – uređaj za mjerenje s tri sklopke: na peti, petoj i prvoj metatarzalnoj glavi

JASPER

* koristio prvi elektromiogram (1942.-1944.)
* izumio unipolarnu iglenu elektrodu

BERKELEY grupa (Saunders, Inmann, Sutherland)

* istraživanje vezano uz ortopedsku rehabilitaciju ozljeđenika II. svjetskog rata, koji su trebali proteze ekstremiteta
* razvili su različite mjerne tehnike – kinetičke, kinematičke i elektromiografske

stereoskopska fotografija s višestrukom ekspozicijom i kinematografija – dominantne tehnike mjerenja ljudske kinematike do 1970-ih

**Multisenzorski sustavi i lokomocija – 2. predavanje – Metodologija lokomotornog mjerenja (biomehanika lokomocije i inverzni dinamički pristup)**

\* **Dinamika** - područje [klasične mehanike](http://hr.wikipedia.org/wiki/Klasi%C4%8Dna_mehanika) koja proučava djelovanje [sila](http://hr.wikipedia.org/wiki/Sila) na [gibanje](http://hr.wikipedia.org/wiki/Gibanje) tijela

**Statika** - proučava samo sile

[**Kinematik**](http://hr.wikipedia.org/wiki/Kinematika)**a** - proučava samo gibanje.

[**Kinetics** (physics)](http://en.wikipedia.org/wiki/Kinetics_(physics)), the study of motion and its causes

[Human kinetics](http://en.wikipedia.org/wiki/Human_kinetics) or kinesiology, the study of human biomechanical movement

**Kinematics** is not to be confused with another branch of classical mechanics:

[**analytical dynamics**](http://en.wikipedia.org/wiki/Analytical_dynamics) (the study of the relationship between the motion of objects and its causes), sometimes subdivided into **[kinetics](http://en.wikipedia.org/wiki/Kinetics_(physics)" \o "Kinetics (physics))** (the study of the relation between external forces and motion) and [statics](http://en.wikipedia.org/wiki/Statics" \o "Statics) (the study of the relations in a system at equilibrium). Kinematics also differs from [dynamics](http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamics_(physics)" \o "Dynamics (physics)) as used in modern-day physics to describe time-evolution of a system.

Osnovni pristup ljudskom kretanju – 'logo' lokomocije:

* PROMATRANJE, MJERENJE, ANALIZA, DIJAGNOSTIKA
* kombinacijom kinematike, sile reakcije podloge i antropometrijskih podataka, moguće je procijeniti sile u zglobovima, no ono što bi bilo poželjno je odrediti mišićne i skeletne sile

Općenita blok-shema mjernog sustava



mjerenje – mehanička sila, geometrijski kvantiteti, bioelektrični signal – ovisno o manifestaciji lokomocije koja se želi mjeriti

A/D pretvorba kinematičkih mjernih veličina:

* klasična A/D pretvorba kinematičkih mjernih veličina rabi se samo kod nekih tehničkih rješenja, dok načelno, pretvorba ulazne informacije (3D zapisa gibanja tijela u pokretu) u digitalni oblik je tehnički složenija i ovisi o tehničkom rješenju mjernog postupka

**Mjerenje kinematike lokomocije:**

**Mjerenje kinematičkih veličina**

**INVERZNI DINAMIČKI PRISTUP** – kombiniranje kinematičkih, kinetičkih ili EMG izmjerenih veličina, s onima koje proizlaze iz inercijskih svojstava tjelesnih segmenata i tijela u cjelini, moguće je matematički procijeniti unutrašnje sile i momente sila koji djeluju u zamišljenim središtima zglobova

fundamentalni pristup

mjeri se samo sila u dodiru s podlogom, ostale sile se modeliraju na temelju matematičkih i fizikalnih zakona

ukratko: računanje kvantiteta kinetičkog (dinamičkog) pokreta, sila i momenata sila u zglobovima, temeljem kinematičkih podataka dobivenih mjerenjem

* **EGZOSKELETNI SUTAVI** (klasična A/D pretvorba)
  + ELEKTROGONIOMETAR – rotacijski potenciometar
    - mjeri relativne kutove zglobova

prednosti: - daju direktan izlaz, proporcionalan kutu zgloba (stvarnovremenski prikaz kuta zgloba)

nedostatci: - daje informaciju o relativnom kutu između segmenata tijela, ali ne daje informaciju o općem položaju u prostoru

* **STEREOMETRIJSKE METODE**
  + - omogućuju 3D rekonstrukciju trenutnih pozicija u globalnom koordinatnom sustavu tijekom kretanja
    - potrebne barem dvije kamere za 3-D rekonstrukciju
    - za analizu makar 6 stupnjeva slobode (translacije u tri smjera i rotacije u tri smjera), potrebna su minimalno tri nekolinearna markera na svakom segmentu (markeri mogu biti aktivni ili pasivni)
    - implicitne lokomotornim mjerenjima su pojednostavljene i idealizirane reprezentacije – modeli (cilj: izdvojiti ključna mehanička svojstva tijela i ukloniti nebitna)
  + ANALITIČKA FOTOMETRIJA – izračun 3D koordinata položaja tjelesnih oznaka iz 2D koordinata njihovih projekcija u kamerama

podjela:

* FOTOGRAFSKA METODA (ručna digitalizacija)
  + - high-speed fotografija – pouzdan, ali vremenski dugotrajan proces
* OPTOELEKTRONIČKE METODE (automatska digitalizacija)
  + - različiti fizikalni principi – najčešće: CCD ili MOS kamere s automatskom detekcijom položaja oznake u slici
    - postupak:
      * utvrđivanje praga svjetlo/tamno i pohranjivanje točaka u memoriju kada se prag premaši
      * prepoznavanje oblika oznake: prethodno se memorira oblik oznake u obliku 6x6 pikselnog predloška, te se međukorelacijom dijelova slike i predloška određuje oblik oznake
      * automatsko slijeđenje oznaka u vremenu i pohranjivanje vrijednosti koordinata u memoriju
* METODE SKENIRANJA SVJETLOM (ručna digitalizacija)
  + - tri jednodimenzonalna niza senzora
* **AKCELEROMETRIJA** (klasična A/D pretvorba)
  + - pretvarači mjere linearnu akceleraciju u točki pričvršćenosti
    - za mjerenje centra zgloba, potrebno je više pretvarača

**Kretna struktura i njeni kinematički signali:**

kao rezultat mjernog postupka, određena se kretna struktura opisuje skupom kinematičkih signala (krivulja)



* hod nije simetričan – postoji razlika lijeve i desne strane
* prikazan je relativan (%-tan odnos u vremenu) da bi se duljina ciklusa svela na istu vremensku skalu.



**Mjerenje kinetičkih veličina:**

* **MJERENJE REAKCIJE SILE PODLOGE**
  + **platforma za mjerenje sile reakcije podloge**:
    - kompleksni pretvornici koji daju podatke vezane za tri komponente sile reakcije podloge, vertikalni moment sile i poziciju centra pritiska (hvatište vektora sile reakcije podloge)
  + mjerni pretvornici sile i momenta sile
  + tehnike koje se koriste za dizajniranje podloga:
    - * RASTEZNE MJERNE TRAKE
    - uređaj za mjerenje promjene u udaljenosti između točaka u čvrstim tijelima, koje se javljaju kada se tijelo deformira.

Engl. strain gauges, koristi se za dobivanje, ili informacija iz kojih se mogu izračunati naprezanja (unutarnje sile) ili se mogu ponašati kao indikativni elementi na uređajima za mjerenje sile, pritiska, akceleracije

* + - * PIEZOELEKTRIČNI PRETVORNICI
    - uređaj koji mehanički pritisak pretvara u strujni ekvivalent

 okomita sila reakcije podloge pri hodu

****

Sila reakcije podloge pri hodanju (najgornje) i različitim tehnikama trčanja, pri različitim brzinama (Fx – vodoravno: lijevo-desno, Fy – vodoravno: naprijed-natrag, Fz – okomito)

** **

zdravi hod (g), cerebralna ataksija (d) ukočeni kuk (lijevo), zdravi kuk (desno)

patološki hod – drugačija morfologija + rasap

* **MJERENJE RASPODJELE TLAKA IZMEĐU TIJELA I PODLOGE**
  + sustav koji smo vidjeli u onoj ordinaciji Peharec

**Mjerenje mioelektričnih veličina:**

obrada informacija u neuralno-muskularno-skeletnom sustavu

shematski prikaz generiranja i formiranja ukupnog mioelekričnog signala



**Analiza hoda:**

* analiza hoda je postupak mjerenja i procjene biomehanike hoda primjenjiv u kliničkoj praksi u svrhu detekcije, praćenja i vrednovanja promjena funkcije lokomotornog sustava
* ovim postupkom prikupljaju se informacije o biomehanici mišićno-koštanog sustava čovjeka tijekom hoda (kinetika, kinematika, EMG), u standardnim laboratorijskim uvjetima



period hoda

Kinetičke krivulje gibanja

* sila reakcije podloge mjeri se pomoću platforma
* rezultante sile i momenti sila u zamišljenim središtima zglobova procjenjuju se primjenom inverznog dinamičkog pristupa

Postupak u laboratoriju:

* zaprimanje podataka
* rekonstrukcija trajektorija (2D)
* izračun (3D)
* analiza podataka

Izvještaj objedinjuje:

* osnovne vremenske parametre hoda (L, D)
* osnovne dužinske parametre hoda (L, D)
* kinematičke parametre hoda (L, D)
* kinetičke parametre hoda (L, D)

Dodatne mogućnosti:

* vizualizacija i animacija hoda:
  + Manal i Stanhope - zone promjena komponenata boje za promjene u rasponu -3 do 3 standardne devijacije (-3 do -1 – crveno, -1 do 1 zeleno, 1 do 3 plavo)

Ovakve informacije klinički su primjenjive kao objektivni pokazatelj funkcioniranja lokomotornog sustava.

Iste mogu pomoći liječniku pri odabiru operativnog zahvata (odnosno odgovarajuće metode izbora liječenja), te kasnije u praćenju, usmjeravanju i možebitnim korekcijama rehabilitacijskog programa.

Analiza hoda – središnje područje studija ljudskog kretanja:

Kliničke primjene u medicini:

- prethodno i nakon kirurškog zahvata

- razvoj i prilagodba proteza i ortoza

- diferencijalna dijagnostika i praćenje neuroloških poremećaja lokomocije

Težnja ka neinvazivnosti mjernog postupka

Ostale mogućnosti:

Pored klasičnog (standardnog) pristupa gdje se 3D kinematika tijela u kretanju mjeri s pomoću neke od metoda koje koriste oznake (sustav ELITE, primjerice), nakon čega slijedi izračun inverzne dinamike, mogući su i drugi pristupi.

VIFOR – jednostavna analiza hoda

* + kombiniranje video zapisa i vektora sile reakcije podloge
  + pojednostavljena kinetička analiza: za normalan ili spori hod, sile u središtu zglobova mogu se smatrati kvazistacionarnima, što je osnova za sustave s vizualizacijom vektora sile

aproksimacije: GRF (reakcija sile podloge) ≈ BW (tjelesna sila)

mišićna sila ≈ 2BW

skeletna sila ≈ 3BW

A-vision – praćenje i analiza gibanja bez markera (VIFOR – previše informacija)

* + automatsko prilagođavanje 3D modela video zapisu
  + uključivali bi samo detektirajuću podlogu i video iz čega bi se generirao 3D model

Nove instrumentacijske mogućnosti:

Sustav sa apsolutnim 3D položajnim senzorima

* + - * sustav VR tipa
      * sustavi tipa mjerenja raspodjele pritiska

Tijek informacija u laboratoriju za biomehaniku:



**Multisenzorski sustavi i lokomocija – 3. predavanje – EMG**

ELEKTROMIOGRAFIJA – def:

* detekcija, pojačanje i registracija promjena bioelektričke aktivnosti skeletne muskulature
* bavi se fiziološkim signalima koji imaju izvor u ljudskom tijelu, stoga je potrebno identificirati funkcionalno anatomsku osnovu njihova generiranja
* da bi se razumjela geneza EMG-a, primjereno je početi s opisom živčanih akcijskih potencijala – nositelja informacije u živčanom sustavu

Akcijski potencijal živčane stanice:

* akcijski su potencijali standardnog valnog oblika.
* informacija koja se prenosi živčanim putovima sadržana je u vremenskim

razmacima između susjednih akcijskih potencijala, što se može nazvati pulsno-frekvencijskom modulacijom, a što je termin posuđen iz komunikacijske tehnike.

- živčani akcijski potencijali šire se brzinom od 0.5 do 120 m/s (Guyton 1987).



Mišićni akcijski potencijal:

* mišićni akcijski potencijali su “pratioci” kemijskih procesa pri kojima se oslobađa mehanička i toplinska energija.
* prema Katzu (1979): “Mišićni akcijski potencijal ostvaruje brzu mobilizaciju kontrahilnog aparata u unutrašnjost mišićne stanice.”
* brzina širenja mišićnih akcijskih potencijala kreće se u rasponu od 2 do 6 m/s, dok je trajanje (širina) impulsa 1 do 5 ms.

Motorička pločica – prijenos informacije iz živca na mišić – jedan motorni neuron i sva mišićna vlakna koja pobuđuje

Detekcija signala – geometrijski problem → diferencijalna detekcija (umanjuje utjecaj elektromagnetnih zračenja) i problem pozicioniranja elektroda:

Opća problematika:

* odnos signal-šum
* distorzija signala – za točniju reprezentaciju, signal mora biti što manje izmijenjen postupkom mjerenja

Karakteristike električkog šuma:

* inherentni šum elektroničke opreme (ima ga sva elektronička oprema i ne može se u potpunosti eliminirati)
* okolinski šum (dolazi od elektromagnetskih izvora u okolini)
* artefakti uslijed pokreta (na spoju koža-elektroda i elektroda-kabel)
* inherentna nestabilnost signala (stohastička priroda)

De Luca – faktori utjecaja na EMG signal

* utjecajni faktori – izravan utjecaj na signal
  + vanjski – struktura i razmještaj elektroda
  + unutarnji – fiziološki, anatomski, biokemijski
* neposredni faktori – fizički i fiziološki utjecaji proizašli iz utjecajnih faktora
* deterministički faktori – proizašli iz neposrednih

Tipovi elektroda:

* površinske 'plivajuće' elektrode – gel smanjuje utjecaj kontrakcija
* potkožne (iglene) i intramuskularne elektrode (fine wire):
  + Adrian i Bronk razvili su 1929. koncentričnu iglenu elektrodu i koristili je u prvom redu za istraživanje motoričkog upravljanja i mišićnih sustava
  + omogućuje detekciju kod pojedinačnih i malih grupa mišićnih vlakana
* princip aktivnih elektroda
  + aktivne elektrode imaju vrlo malu izlaznu impedanciju, pa eliminiraju sve utjecaje kapacitivnog preslušavanja i artefakata u slijed pomicanja.
  + postižu razine šuma u razini termalnog šuma impedancije same elektrode
* Blue Sensor :
  + visoko vodljiv gel
  + dobro prianjanje
  + visoko kvalitetni Ag/AgCl senzor
  + oblikovane za lako pozicioniranje

Fine wire elektrode:

* prednosti:
  + iznimno osjetljive
  + omogućuju snimanje aktivnosti jednog mišića
  + omogućuju pristup dubljoj muskulaturi
  + smanjuju utjecaj preslušavanja
* nedostatci:
  + iznimna osjetljivost
  + zahtjeva medicinsku stručnost
  + premještanje gotovo nemoguće
  + područje u kojem mjere nije reprezentant cjelokupne mišićne aktivnosti

Površinske elektrode:

* prednosti:
  + brza i laka primjena
  + za postavljanje nije nužna medicinska stručnost
  + minimalna neugoda
* nedostatci:
  + generalno se koriste samo za mišiće blizu površini
  + povećan utjecaj preslušavanja
  + nema standardiziranog razmještaja elektroda
  + može utjecati na paterne pokreta subjekta
  + ograničene na snimanje dinamičke mišićne aktivnosti

Udaljenost elektroda:

* trade off između povećane amplitude i neravno postavljenih elektroda
* (De Luca) – mišićna vlakna motornih pločica jednoliko su raspoređena, pa nije potrebna velika pokrivenost mišića

Smještanje elektroda:

* dalje od motorne pločice
  + MUAP (Multiple motor unit action potentials) putuju u različitim smjerovima → simultani + i – akcijski potencijali
* dalje od tetive
  + malobrojna i tanka mišićna vlakna
  + blizu početcima drugih mišića – veći utjecaj preslušavanja
* dalje od ruba mišića
  + blizina ostalih mišića
* orijentacija paralelna mišićnim vlaknima
  + veća provodljivost
  + veća vjerojatnost detekcije signala



Nekoliko stupnjeva izometrijske kontrakcije (kontrakcija tijekom koje se duljina mišića ili položaj zgloba ne mijenjaju)

Karakteristike izvornog površinskog EMG-a:



* amplitudni raspon: 0-10mV (+5 do -5) prije pojačanja
* frekvencijski raspon: 6-500Hz, s inherentnom nestabilnošću i artefaktima u rasponu 0-20 Hz
* većina snage: 20-150 Hz
* periodi odmora niske amplitude, bez artefakata, upućuju na dobru utreniranost – dobra sposobnost relaksacije između kontrakcija

Problemi i utjecaji kod kineziološke elektromiografije:

* S izvorom unutar ljudskog tijela, i putujući tkivom prema njegovoj površini (oba procesa se događaju tijekom pokreta) EMG signali su podložni velikom broju utjecajnih činitelja koji se mogu superponirati na, pa čak i maskirati, proučavanu

pojavu (funkciju pojedinog mišića).

Shema mjernog lanca EMG-a:



Informacija u EMG signalu sadržana je u koordinacijskom uzorku:

Hess: “Tijek gibanja nije ništa drugo nego projekcija prema van uzorka ekscitacije koji se događa na odgovarajućem mjestu u središnjem živčanom sustavu”

**Metode obrade površinskog EMG signala u vremenskoj domeni:**

najpopularnija metoda:

* usrednjeni (punovalno ispravljeni i niskopropusno filtrirani) signal
  + linearna envelopa usrednjenog signala oblikom je slična kinetičkim silama (izometrijskoj mišićnoj sili)





Primjer – procjena uvježbanosti pokreta – salto u natrag:

Pred-obrada signala sile i EMG-a:

Ekstrakcija parametara:

- Fzmax, gradijent, impuls,

- EMG signal je bio usrednjen: takva je krivulja bila pogodna za

računanje koeficijenta korelacije između različitih izvedbi

Statistička obrada podataka:

* izračun osnovne statistike za svaku grupu parametara signala
* izračun koeficijenta korelacije između signala koji proizlaze iz višestrukih izvedbi (pokazatelj koordinacije povezanosti dvaju mišića: 1- izravna povezanost, 0- nema povezanosti, -1 – obrnuta povezanost)

Zaključak:

Kvalitetne izvedbe bile su karakterizirane sa:

Fzmax /BW ≥ 3 i

k.k. usrednjenih EMG signala dva m. Ga-i (Gastrocnemius) ≥ 0.8

Ti kvantitativni biomehanički pokazatelji su, pretpostavlja se, valjani empirijski kriterij vještine izvođenja studirane kretne strukture. Pristup je potencijalno primjenjiv i na druge kretne strukture gdje je moguće identificirati odgovarajuće relevantne mišiće.

Primjer - usporedba izvođenja plužnog zavoja pomoću strukiranih (carving) skija i skija

standardne izvedbe

Cilj:

* utvrditi da li postoje biomehaničke razlike u izvođenju dvije varijante plužnog zavoja, standardne i carving, na dva različita tipa skija, skijama standardne izvedbe i strukiranim (carving) skijama
* koncipirati i testirati mjerni protokol koji će u daljnjim biomehaničkim mjerenjima na terenu dati podatke o elementima škole skijanja

Metode rada:

* mjerna oprema:
  + EMG uređaj – 4 kanala, diferencijalna detekcija, holterski tip
  + uređaj za mjerenje reakcijske sile podloge (tenziometarska pločica – dvije mjerne pločice s po 2 senzora) i video sustav
    - na temelju mjerenja tenzorske pločice, moguće je odrediti ukupnu vertikalnu silu, momente zakreta oko x i y osi, odnosno hvatište vektora sile u x-y ravnini
* mjerena muskulatura
  + m. rectus femoris
  + m. vastus medialis
  + m. vastus lateralis
  + m. biceps femoris - caput longum
* ispitanik
  + dugogodišnji učitelj skijanja
  + demonstrator Zbora učitelja i trenera skijanja Hrvatske (CRO Ski Demo Team)

Mjerni postupak:

* pripremljena staza nagiba između 15° i 17° (mjereno teodolitom), padina 50m
* prvi set mjerenja korištene carving skije
* pluženje ravno u dužini od deset metara
* izvođeni plužni zavoji standardne varijante, a zatim odmah u nastavku, plužni zavoji carving varijante i to od četiri do pet zavoja svake varijante, ovisno o mjernom pokušaju
  + zadatak ponovljen tri puta
* na istoj stazi ponovljen zadatak sa skijama standardne izvedbe
  + zadatak ponovljen tri puta
* tijekom izvođenja gibanje je bilo snimano VHS video kamerom

⇒ 8 plužnih zavoja – 4 jedne varijante i 4 druge x3 (tri ponavljanja) x2 (za svaki tip skija)

⇒ u svakom video zapisu postoje tri faze u vremenu:

1. ulazak u zavoj
2. vođenje skije kroz zavoj
3. izlazak iz zavoja

Obrada signala:

podaci dobiveni EMG mjerenjem mišića obrađeni su u

* podatci dobiveni mjerenjem EMG-a obrađeni su u vremenskoj domeni
  + signal je filtriran i punovalno ispravljen
  + vrijeme uzorkovanja usrednjenog signala je 10 ms
  + za izračun EMG signala koristio se princip integriranja signala
* podaci dobiveni mjerenjem reakcijske sile podloge uzorkovani su u vremenu od 50 ms

Statističko vrednovanje rezultata:

deskriptivna statistika

* aritmetička sredina usrednjenih podataka dobivenih EMG mjerenjem [μV]
* aritmetička sredina podataka dobivenih mjerenjem reakcijske sile podloge [N] te njihova maksimalna vrijednost za svaku fazu izvedbe
* aritmetička sredina vremena trajanja svakog zavoja zasebno
* aritmetička sredina: vremena trajanja, reakcijske sile podloge te usrednjenih EMG podataka II faze zavoja ( u drugoj fazi najuočljivija razlika dvaju tehnika izvođenja) za svaki tip skije te svaku varijantu izvedbe zavoja zasebno

neparametrijska statistika (nehomogen set u smislu prirodne raspodjele)

* Wilcoxonov test ekvivalentnih parova

Razmatranja rezultata:

* Razlike u izvođenju vidljive su u kinetičkom zapisu:
  + standardna varijanta zavoja – vanjska noga je najviše opterećena
  + carving – obje noge su jednako opterećene
* Mišićna sila, procijenjena iz EMG-a gotovo je jednaka za m. b. f. za obje varijante zavoja i oba tipa skija, ali je vertikalni pomak tijela, pa i aktivnost m. b. f., pri izvođenju plužnog zavoja općenito mala
* veća napetost za m. r. f. za standardnu varijantu i ravne skije
* m. r. l. je najviše opterećen za standardnu varijantu i carving skije
* nešto veće aktivnosti primijećene su za m. v. l. i m. r. f. kod carving varijante na oba tipa skija – budući da je kod ove varijante centar sile teže bliži centru zavoja pa su ovi mišići ključni u ravnanju koljena pri ovoj varijanti zavoja

Sažetak studije:

* kada se plužni zavoj izvodio na carving skijama izmjerena su manja opterećenja lokomotornog aparata za obje varijante izvedbe plužnog zavoja
* kada se plužni zavoj izvodio pomoću skija standardne izvedbe izmjerena opterećenja lokomotornog aparata su najmanja kada se zavoj izvodio na skijama standardne izvedbe
* stvoren je mjerni protokol koji će poslužiti kao osnova slijedećim biomehaničkim istraživanjima u kojima će se pomoću ovakve mjerene opreme istraživati elementi škole skijanja – praktična primjena

**Metode obrade površinskog EMG signala u frekvencijskoj domeni:**

* prvenstveno vezane uz izometrična mjerenja (statička)
  + FFT (analiza frekvencijskog spektra signala – zahtjeva pretpostavku široke stacionaranosti signala)
  + parametarska autoregresivna estimacija spektra
* posljednje desetljeće radi u dinamičkim uvjetima
  + wavelet metoda pokazala se najuspješnijom

→ veliki problem predstavlja pomak elektroda

* + nedavno razvoj realnih metoda – RQA – Reccurence Quantification Analysis (metoda analize nelinearnih podataka u domeni kaosa)

Fiziološki, dinamički i statički i umor su različiti

Procjena mišićnog umora:

povećana koncentracija laktoze povećava unutarstanični pH i smanjuje (CV – conduction velocity) brzinu provođenja mišićnog vlakna

* brze motorne jedinice brzo se umaraju i brzo isključe
* dolazi do vremenske sinkronizacije u kontrakcijama motornih jedinica

⇒tkivo postaje LP filter i više energije prodre do površine

* spektralni parametri EMG signala osjetljivi na umor
* PARAMETRI SPEKTRA SNAGE: - korištena intenizvno 1970-ih
  + spektralni parametri EMG signala osjetljivi na umor:
    - MDF – median frequency
    - MNF – mean frequency
  + indeks mišićnog umora – nagib opadanja je mjera umora
    - s umorom, mijenja se frekvencijska slika signala (usporavanje) ⇒ pomak prema nižim frekvencijama i povećanje amplitude
    - jedan od prvih načina detekcije umora mišića (de Luca)
    - kompresija spektra
  + ZERO CROSSINGS ( metoda u vremenskoj domeni)
    - mjeri se broj prolazaka kroz nulu u jedinici vremena sirovog EMG-a
    - slična svojstva kao kod pomaka parametara snage