



TARTU RIIKLIK ÜLIKOOL

KEHALISTE HARJUTUSTE
BIOMEHAANIKA

TARTU  1972

TARTU RIIKLIK ÜLIKOOL

KEHALISTE HARJUTUSTE
BIOMEHAANIKA

Loengukonspekt Kehakultuuriteaduskonna
üliõpilastele

Koostanud A. V a i n

Tartu 1972

Kinnitatud Kehakultuuriteaduskonna nõukogus
23. detsembril 1971.

S i s s e j u h a t u s .

Materia ja liikumine on lahutamatud, kusjuures elav loodus on tihedamini seotud liikumisega kui eluta loodus. Kui ei ole liikumist, siis lakkab elusorganism eksisteerimast. Liikumine on ka inimese üks elutegevuse avaldusvorme.

Biomehaanika uurimisobjektiks on inimese ja looma liikumine. Kehaliste harjutuste biomehaanika uurib inimese liikumisaparaadi tegevust kehaliste harjutuste sooritamisel.

F. Engelsi väljenduse järgi on materia elementaarseks liikumise vormiks mehaaniline liikumine, s. o. kehade omavaheline asukoha muutus ruumis.

Mehaanika uurib kehade liikumist ruumis ning põhjusi, mis kutsuvad esile nende omavahelise asukoha muutuse. Kõigi materiaalsete kehade, ka inimese liikumine ruumis ja ajas allub eranditult mehaanika seadustele.

Anatoomia uurib inimese ehitumust. Selleks, et analüüsida inimese liikumist, peame detailselt tundma kõike seda, mis võtab liikumisest osa.

Füsioloogia ülesandeks on elusorganismi elutegevuse protsesside uurimine. Inimese liikumisel on "ajamiteks" lihased. Lihaste kontraktsiooni füsioloogiliste mehhanismide ning lihastes toimuvate ainevahetusprotsesside tundmine on vajalik eeldus inimese liikumise biomehaaniliseks analüüsiks.

Inimese liikumine erineb looma liikumisest. Inimesele on iseloomulik liigutuste teadlik juhtimine (töö, kehali- sed harjutused). Inimese liigutuste juhtimise seaduspära- suste selgitamiseks kasutab biomehaanika küberneetika mõis- teid ja meetodeid.

Käesolevas loengukonspektis on kokku võetud kehaliste harjutuste biomehaanikat käsitlevate õpikute materjal vas- tavalt õppeprogrammis toodud teemadele.

Biomehaanika kursuse eesmärgiks on varustada tulevasi spordipedagooge teadmistega, mis võimaldavad neil orientee- ruda inimese liigutusakti keerukuses. Spordipedagoog peab õppima neid seaduspärasusi, mille alusel toimub spordiala- de optimaalse tehnika väljakujunemine ning lõpuks omandama elementaarsed oskused nimetatud tehnika biomehaaniliseks analüüsiks.

Õppevahendis kasutatud anatoomiaalne terminoloogia ei pretendeeri täiuslikkusele, sest puudub eestikeelne sel- lealane ühtne terminoloogia.

Autor on tänulik kõigi tähelepanekute eest, mis puu- dutavad terminoloogiat.

Avaldan tänu retsensentidele A. Virule, G. Karule, K. Ulbile ja J. Ungerile väärtuslike nõuannete eest.

I p e a t ü k k .

1. SISSEJUHATUS KEHALISTE HARJUTUSTE BIOMEHAANIKASSE.

Paljudel spordialadel realiseerib sportlane oma kehalised võimed sportlikuks resultaadiks liikumise ja liigutuste abil.

Ka oma igapäevast tööd, ükskõik millisel erialal, teeme me mitmesuguste liigutuste ja liikumiste abil.

Inimese liikumine toimub kogu organismi osavõtul. Liikumisprotsessi täideviijaks on liikumisaparaat, mis koosneb skeleti luudest, liigestest, sidemetest, kõõlustest ja lihastest. Lihased kindlustavad liikumisaparaadi liikumise vajaliku mehaanilise energiaga. Lihaste süsteemi talitluseks vajalikud tingimused kindlustatakse siseelundite kooskõlastatud tööga. Liigutuste juhtimine toimub kesknärvisüsteemi kaudu. Kesknärvisüsteem saab pidevalt informatsiooni keha asendi kohta Maa raskusväljas ning talle mõjuvate kiirenduste suurusest ja suunast nägemis- ja vestibulaaranalüsaatori kaudu. Kehaosade asendite kohta saab informatsioon lihastes, kõõlustes ja liigesekapslis asuvate retseptorite kaudu. Väliskeskkonna mõjudest signaliseerivad kesknärvisüsteemi kuulmis-, puute- jt. analüsaatorid.

Inimese kui töömehhanismi uurimine on sellise teadusliku distsipliini nagu biomehaanika ülesanne.

Biomehaanika on teadus elavatel organismidel avalduvatest mehaanilistest liikumisnähtustest ning neid põhjustavatest jõududest.

K e h a l i s t e h a r j u t u s t e b i o m e -
h a a n i k a uurib inimese liigutusi kehaliste harjutus-
te sooritamisel.

Liigutuste funktsionaalset süsteemi ja selle struktuuri, mille abil sportlane realiseerib oma kehalised ja vaimsed võimed sportlikuks tulemuseks mingi sportliku liigutusülesande lahendamisel, nimetatakse selle sportliku liigutusülesande tehnikaks.*

Optimaalse tehnika all mõistame aga sportlase sellist liigutuste funktsionaalset süsteemi ja selle struktuuri, mis võimaldab kõige otstarbekohasemalt realiseerida tema kehalised ja vaimsed võimed sportlikuks tulemuseks. Liigutuste funktsionaalse süsteemi all tuleb siin mõista sportlase kõiki liigutusi, mis on vajalikud liigutusülesande täitmisel ning liigutusliku eesmärgi saavutamisel nende ajalises ja ruumilises kulgemises. Liigutuste funktsionaalse süsteemi struktuuri all mõistame seoseid ja seaduspärasusi, mis iseloomustavad süsteemi osade omavahelist koostööd liigutusliku eesmärgi saavutamisel.

Sportliku tehnika uurimisel peavad biomehaanilised uurimismeetodid andma vastuse kolmele põhiküsimusele:

- 1) kuidas toimub liikumine?
- 2) mispärast nii, aga mitte teisiti?
- 3) milleks, mis on liikumise eesmärk?

Esimese küsimuse vastuse annab liigutusülesande (sportlase liigutuste funktsionaalse süsteemi) kirjeldus. Teise küsimuse vastus peab andma liigutuste otstarbekohasuse tõetuse biomehaaniliste tunnuste ja tunnusjoonte alusel.

Kolmanda küsimuse vastuses põhjendame liigutuste funktsionaalse süsteemi eesmärgi suunitlust. Näiteks võimlemis-elementide tehnika on seda parem, mida enam nad muudavad harjutuse nauditavamaks ja efeksemaks. Seega kolmandale küsimusele vastamisel tuleb lahendada liigutuste funktsio-

* Sporditehnika mõistet selgitatakse loengukonspekti III peatükis.

naalse süsteemi ja selle struktuuri optimumi probleem. Seda saab teha biomehaaniliste tunnusjoonte ja tunnuste analüüsi kaudu.

Kehaliste harjutuste tehnika biomehaaniline analüüs võimaldab:

- 1) hinnata iga harjutuse mõju organismile;
- 2) igal sportlasel leida oma individuaalsetele iseärasustele vastav optimaalne tehnika, mis võimaldab tal kehalised ja vaimsed võimed kõige otstarbekohasemalt realiseerida sportlikuks tulemuseks;
- 3) leida ratsionaalsemat moodust kehaliste harjutuste tehnika õppimisel ja täiustamisel;
- 4) leida olemasolevatele liigutusülesannetele uusi biomehaanilisi lahendusmooduseid (uusi tehnikavariante), mis eelmistega võrreldes võimaldavad nii kvantitatiivset kui kvalitatiivset edasiminekut kogu kehalise kasvatusesüsteemis;
- 5) kindlaks määrata puudujääke sportlase tehnika-alastes oskustes ja kehalistes võimetes.

Biomehaanika on tihedalt seotud selliste teaduslike distsipliinidega nagu mehaanika, anatoomia, füsioloogia ja küberneetika. Koos anatoomia, füsioloogia, biokeemia, psühholoogia, pedagoogika, hügieeni jt. teadustega peab biomehaanika andma kehalise kasvatuses teooriale ja praktikale teaduslikud alused.

2. KEHALISTE HARJUTUSTE BIOMEHAANIKA LÜHIKE AJALOOLINE ÜLEVAADE.

Kehaliste harjutuste biomehaanika on välja arenenud sellistest teaduslikest distsipliinidest nagu inimese anatoomia ja füsioloogia. See õppeaine loodi möödunud sajandi 70-ndatel aastatel P.F. Lesgafti poolt nimetuse all kehaliste liikumiste teooria.

Elusorganismi liikumine on huvitanud inimest juba alates iidsetest aegadest. Kuulus itaalia teadlane Leonardo da Vinci (1452-1519) pühendas oma töödes palju tähelepanu inimese kehaasendite ja liikumise kirjeldamisele anatoomiliste andmete ja mehaanika seaduste alusel.

Esimene, kes määras eksperimentaalselt inimese raskuskeskme asukoha, oli itaalia arst ja matemaatik G. Borelli (1608-1679). Tema poolt on kirjutatud ka esimene raamat biomehaanikast "Loomade lokomotsioonidest", milles on antud lokomotoorsete aktide klassifikatsioon. G. Borelli eraldas kolm edasiliikumise moodust: äratõukamisega toetuspinna-st (käimine, jooks, hüpped); äratõukamisega ümberitsevast keskkonnast (ujumine, lendamine) ja ligi tõmbamisega (ronimine).

Saksa füsioloogid vennad Weberid (1836) uurisid inimese käimist eksperimentaalsete meetoditega.

Inimese liikumise objektiivsete registreerimismeetodite alal on suuri teeneid prantsuse füsioloogil E. Marey'1 (1830-1904). Liikumise jäädvustamiseks lõi ta 1880. aastal kronotsüklofotograafia ning võttis kasutamisele pneumaatilisel põhimõttel töötava dünamograafilise anduri.

1877. a. aetas ameeriklane E. Muybridge järjestikku kõrvuti mitu fotoaparaati ning jäädvustas selliselt liikumise mitmesuguste faaside üksikud hetked. Marey täiustas seda meetodit kuni kinematograafiavõtete kasutamiseni ning sealt kinotsüklograafiani.

XIX sajandi lõpul täiustasid saksa teadlased W. Braune ja O. Fischer liikumise jäädvustamise meetodeid veelgi ning alustasid saadud tulemuste põhjal liikumise dünaamikat kajastavate biomehaaniliste tunnuste arvutamist. Nende poolt määrati esmakordselt eksperimentaalsel teel inimese kehaosade massi jaotus ning kehaosade massikeskme asukohad. Nende poolt määratud koefitsiente kasutatakse käesoleva ajani.

O. Fischeri aastatepikkuse uurimistöö kokkuvõte on avaldatud 1906. aastal ilmunud raamatus "Inimese liikumise mehaanika teoreetilised alused". Selles töös esitatakse esmakordselt inimese liikumist kirjeldav matemaatiline mudel.

Suurt tähtsust biomehaanika kui teaduse arengus on etendanud vene ja nõukogude teadlased. I.M. Setšenov (1820 - 1905) oli esimene, kes uuris ja kirjeldas inimese liigutuste koordineerimise ja juhtimise reflektorset mehhanismi. Alates 1899. aastast luges I.M. Setšenov Moskva ülikoolis inimese tööliigutuste füsioloogia kursust. 1901. a. ilmus tema sulest monograafia "Inimese tööliigutustest".

Inimese liigutuste biomehaanikaalaseid uuringuid jätkasid peale I.M. Setšenovi nõukogude teadlased A.A. Uhtomski, N.A. Bernštein, M.I. Vinogradov, S.A. Kosilov, V.F. Sorokin jt.

Kehaliste harjutuste biomehaanika isaks võib lugeda P.F. Lægafiti (1837 - 1903). Tema poolt 1877. a. alustatud kursuse lugemist jätkasid tema õpilased A.A. Krassuskaja ja E.A. Kotikova. E.A. Kotikova juhtimisel koostati esimene kehaliste harjutuste biomehaanika õpik (1939).

N.A. Bernštein täiustas biomehaanilisi uurimismeetodeid ja võttis kasutusele nn. peegel-tsüklograafia. See meetod võimaldab ühe kinokaameraga jäädvustatud tasapinnalistelt fotodelt mõõta liikuva punkti kolm koordinaati. N.A. Bernšteini loomingu tähtsamateks saavutusteks tuleb pidada küberneetilise lähenemisviisi kasutusele võtmist füsioloogiliste probleemide lahendamisel ja aktiivsuse füsioloogia loomist.

1938. a. avaldas M.F. Ivanitski raamatu "Inimese keha liigutused", kus kirjeldati kehaasendeid ja liigutusi anatoomilisest aspektist.

Mitmete biomehaanikaalaste õpikute, raamatute ja artiklite autoriks on olnud Moskva Kehakultuuri Keskinstituudi professor D.D. Donskoi.

3. INIMESE LIIKUMISAPARAADI EHTUMUS JA BIOMEHAANILISED ISEÄRASUSED.

Kehaliste harjutuste biomehaanilisel analüüsil on tähtis teada inimese keha iseärasusi ja omadusi, mis võimaldavad ja ka mõjutavad liigutuse sooritamist.

Inimese liigutused nõuavad kogu organismi kooskõlastatud tegevust. Igasugune liigutusülesanne täidetakse tugi-liikumisaparaadi liigutuste funktsionaalse süsteemi abil. Inimese tugi-liikumisaparaati võime vaadelda kui omapärast ja keerulist luukangide süsteemi, mis pannakse tööle lihaste abil. Lihaste kontraktsioon toimub kesknärvisüsteemist lihasesse saabuvate närviimpulsside mõjul. Ta tekib vastavalt kesknärvisüsteemi ja väliskeskkonna mõjule.

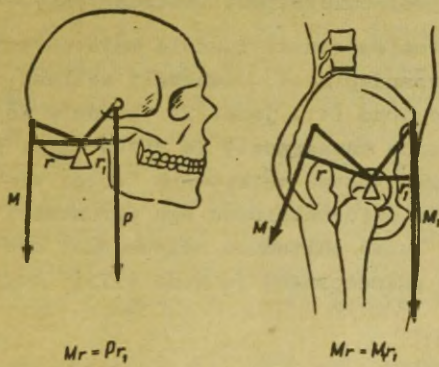
3.1. Luud ja liigesed.

Luud moodustavad inimese liikumisaparaadis aksiaalse skeleti. Luud on omavahel ühendatud liigete abil. Liigete ehitumus määrab ära üksikute kehaosade omavahelise liikumisvõimaluse ja -ulatuse.

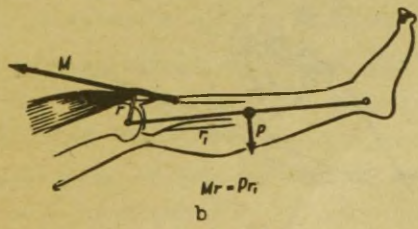
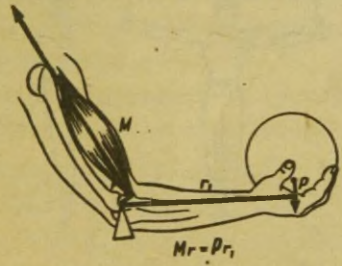
Ruumis vabalt asetseval kehal on kuus liikumisvõimalust ehk vabadusastet. Need on: kulgev liikumine mööda kolme ristiasetsevat telge ning pöörlemine ümber nende telgede. Inimese liikumisaparaadi liigesed ei võimalda kulgevat liikumist mööda liigese telgi ning seetõttu kõige suurem vabadusastmete arv liigeses võib olla kolm. Sellisteks liigesteks on näiteks õlaliigese (articulatio humeri). Liigutuste ulatus liigeses oleneb liigese ehitusest ning liigest ümbritsevate sidemete ja lihaste elastsusest. Liigest ümbritsevate sidemete ja lihaste elastsusomadusi võib muuta vastava treeninguga. Kehaosa liikumine ümber liigese telje toimub liigest ületava lihase kontraheerumisel. Lihase üks ots kinnitub tavaliselt luukangile liigesepinna läheduses. Sellest tingituna tekib olukord, kus lihase lühene-

misel mõne millimeetri võrra liigub selle kehaosa distaalne ots mitme sentimeetri võrra ja lihases tekkiv jõud on palju suurem kui liikumapandav raskus.

Inimese skeletis võime leida kolme liiki luukange (vt. joon. 1):



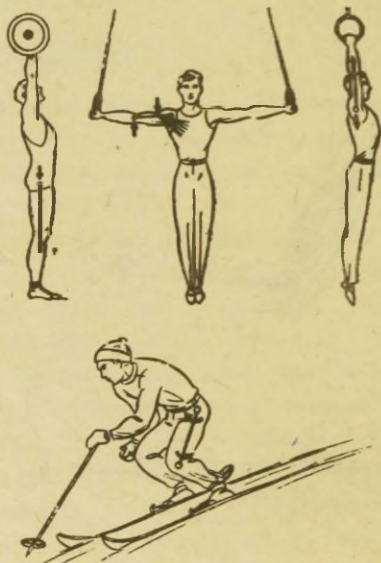
a



Joonis 1.

- 1) kahepoolne (tasakaalukang);
- 2) ühepoolne, kus lihasjõud mõjub kangi kaugemale osale, arvates pöörlemisteljest (jõukang, näiteks roided);
- 3) ühepoolne, kus lihasjõud mõjub kangi ligemale osale, arvates pöörlemisteljest (kiirusekang).

Inimese liikumisaparaadi luudele mõjuvad surve-, tõmbe-, painde- ja väändepinged, olenevalt sellest, kuidas paiknevad mõjuvad jõud (vt. joon. 2). Luudele mõjuvad jõud võivad esile kutsuda samaaegselt ka mitut liiki pingeid. Kui tekkinud pinged jäävad väiksemaks luukoe vastupanuvõimest, siis jäävaid deformatsioone ega purunemisi ei esine. Liikumisaparaadi luude ehitumuse seisukohast osutuvad kõige ohtlikumateks paindepinged ja seda eriti löögilise koormuse korral.



Joonis 2.

Liikumisaparaadi osad võivad moodustada kas kinniseid või lahtisi kinemaatilisi ahelaid. Kinemaatilise ahela all mõistame liigete abil ühendatud üksikute kehaosade süsteemi, mis on võimeline liikuma ruumis. Nii moodustavad inimese alumised jäsemed maapinnale toetudes kinnise kinemaatilise ahela, vaba ülajäse aga avatud kinemaatilise ahela (vt. joon. 3 lk. 22). Kinemaatilise ahela liikuvust iseloomustatakse vabadusastmete arvuga. Nii näiteks on labakäel abaluu (scapula) suhtes seitse vabadusastet (õlaliigese 3 vabadusastet pluss küünarliigese 2 vabadusastet ning randmeliigese 2 vabadusastet). Eespool näitasime, et ruumis vabalt asetsev keha võib omada maksimaalselt 6 vabadusastet. Antud juhul on tegemist olukorraga, kus ühe vabadusastme kõrvaldamine ükskõik millises ülal loetletud kolmes liigese ei piira labakäe liikumisvõimalusi ruumis.

Kinemaatilise ahela iga lüli võib esineda ajamina (ta on varustatud lihasega) ning muutuda ka paigalseisvaks. Sellest tingituna võib avatud kinemaatilise ahela lülide arv vabalt varieeruda. Viimasel lülil kinemaatilises ahelas võib olla suur liikuvus.

Inimese liikumisaparaadi olulisemateks biomehaanilisteks iseärasusteks tuleb pidada järgmist.

1. Liikumisaparaat on ehitatud elusatest kudetest ja organitest, kus vahetpidamatult toimuvad ainevahetusprotsessid. Liikumisaparaadi töötamisele kaasneb tema morfoloogiline ja funktsionaalne täiustumine. Tegevuseta olekuga kaasneb taandarenemine.
2. Inimese keha liikumisaparaadi ühed ja samad osad võivad moodustada erinevaid mehhanisme konkreetse tööülesande täitmisel.
3. Liikumisaparaadi tegevus põhineb inimese kogu organismi, esmajärjekorras kesknärvisüsteemi, aktiivsel koostööl.

4. Liikumisaparaadi osad saavad liigese telje ümber teha ainult pöördeid. Kehaosade pöörete järjestus võib anda omavahelises liikumises ka kulgeva liikumise. Künarvare künarliigese frontaaltelje ümber saab võnkuda ainult teatud amplituudiga.
5. Liikumisaparaadi "ajamitena" esinevad lihased võivad kinnituskohdades esile kutsuda ainult tõmbepingeid.

Liigutuste biomehaanilisel analüüsil tuleb selgitada sooritatud liigutuste biomehaanilist otstarbekohasust, arvestades kõigi ülalloetletud iseärasustega.

3.2. Lihaste üldine iseloomustus. Ehitus. Kuju.

Kõik inimese keha liigutused toimuvad vöötlihaste kontraktsiooni tulemusena. Neid võivad tekitada üksikud lihased või lihaste rühmad. Iga lihas kujutab endast elundit, millel on lihasedine kõht ja otstes kõõlused.

Lihasedine kõht koosneb vöötlihasekiudude kimpudest, mida üksteisega ühendavad õhukesed kohevast sidekoest vahed, nn. e n d o m ü ü s i u m i d . Väljastpoolt on lihas kaetud sidekoelise ümbrisega, mida nimetatakse p e r i m ü ü s i u m i k s . Perimüüsiumi kiud lähevad pidevalt üle endomüüsiumiks ja moodustavad lihase toestiku. Lihased kinnituvad luudele (liikumiselundite süsteemi kangidele) kõõluste abil. Kõõlus koosneb tihedast sidekoest ja tal ei ole kontraktsioonivõimet. Kõõlused on läikivalt valged ja erinevad selgelt lihase kõhust, millega koos nad moodustavad ühtse terviku - lihase. Kõõlus omab suuremat vastupanu venitusele kui lihas ning võtab seetõttu pärast väljavenitust kiiresti tagasi algasendi, andes kinnituskohaks olevale luukangile täiendava kiirenduse.

Iga lihasekiud kujutab endast silindrilist moodustist, mille läbimõõt on 0,01-0,10 mm. Kiudude pikkus sõltub lihase suurusest ja kujust, ulatudes mõnest sentimeetrist 10

sentimeetrini. Lihase kiud on lihase struktuuriühik ja lihase kui terviku kokkutõmbumine on üksikute kiudude kimpude kokkutõmmete kombineeritud efekt. Seega lihase funktsionaalseks struktuuriühikuks nimetame ühe närviraku poolt innerveeritud lihaskiudude kimpu koos teda innerveeriva närviga.

Lihase kontraktsiooni elastsusteooria kohaselt on lihase kontraktsiooniaktis põhiliseks nähtuseks lihaskiu loomuliku pikkuse muutumine, erutatud lihases on kiud lühem kui puhkeasendis olevas lihases. Selle tagajärjel tekib lihases pinget ja ta omandab potentsiaalse energia, mille arvel raskuse tõstmisel toimub mehaaniline töö.

Potentsiaalne energia on mehaanilise energia üks liik. Elastsed kehad võivad suuruselt muutuda deformeerivate jõudude mõjul, mis toimivad vastupidiselt lihaskoe molekulaarsele kohesioonile. Elastne keha annab niisugusele jõule järelle, kuid selle tulemusena tekib molekulaarjõudude vastumõju, mis püüab häiritud tasakaalu taastada. Deformeerunud keha omandab potentsiaalse energia, mis põhjustab lihases pinget. Pinget on aga molekulaarjõudude resultant, mis püüab deformeeritud keha esialgset loomulikku pikkust taastada. Lihaskoe kontraheerumisel on pikkus ja pinget funktsionaalses seoses.

3.2.1. Lihaste kujud ja ehitus.

Vaatamata lihaste kujud ja suuruse mitmekesisusele, mis on tihedalt seotud liikumisaparaadi kangide asetuse ning mõjuvate jõudude suuruse ja suuna erinevustega, võib lihaseid jaotada järgmistesse tüüpidesse.

A. Mitmeosalised ja komplekslihased.

Need lihased omavad palju kinnituskohi, hargnedes lühikesteks kõõlusimpudeks. Viimased kinnituvad üksikutele luukangidele. Lihaseline keha on neil koondunud kas ühte tervikusse, nagu näiteks selja süvad lihased, või moodustavad ühesuguseid kimpusid, nagu näiteks ristluu oga-

jätkede lihas (m. sacrospinalis). Selliste lihaste asukohas leidub palju luukange, kuhu kinnituvad kõõluskimbud. Näiteks eespool nimetatud ristluu ogajätkede lihas, mis on lülisamba sirutajalihas. Lihase all lülisambalülide küljes on kogu lülisamba ulatuses arvukalt lühikesi lihaseid, mis pööravad lülisid.

B. Lamedad e. laiad lihased.

Need lihased ühendavad kere jäsemetega või asetsevad õõnsuste seintel (selja ja rinna pindmised lihased, kõhu-seina lihased). Mõned neist on lehvikutaolised, näiteks selja ülilai lihas (m. latissimus dorsi). Teised kinnituvad laias ulatuses paljudele üksteise ligi asetsevatele luustiku kangidele, näit. eesmine saaglihas (m. serratus anterior). Lamedad lihased võivad olla ka kuplikujulised, näiteks diafragma. Viimased algavad ja kinnituvad ulatuslikul alal. Nende kõõluseline osa, mis on samuti lai ja lame, kujutab endast õhukest lestet. Neid nimetatakse kilekõõlusteks ehk aponeuroosideks. Sellised lihased osutuvad väga vastupidavateks nii staatilistel kui ka dünaamilistel pingutustel. See seletub nende osade kaupa tööse lülitumisega.

C. Sõõr- ja sulgurlihased.

Need on sellised lihased, mis asetsevad avade ümber ja on rõngakujulised.

D. Mitmesugused käävjad lihased, nagu värtna-, koonuse- ja silindrikujulised lihased.

Pikkadel käävjalatel lihastel on keskosa, nn. lihasekõht, mis aheneb otste poole ja läheb üle kõõlusteks. Seda liiki lihased esinevad tavaliselt jäsemetel.

Käävjate lihaste keskmise osa, s. o. lihasekõhu, ehitus iseloomustab nende töövõimet.

3.2.2. Lihaste ehitus.

Kõige lihtsam ehitus on paralleelkiulistel lihastel (lihaskiud on paralleelsed lihase pikiteljega). Sellistel lihastel suureneb kiudude arvu kasvuga ka kõõluste kinnituspind luukangidele. Sulgjatel lihastel moodustub tugev, kuid mitte mahukas lihasekõht. Sellistel juhtudel lihaskiudude suund ei ole paralleelne lihase pikiteljega, vaid mingi nurga all kaldu. Kõõluse kuju võib sel juhul sarnaneda lihasekõhuga või siis jaguneda üksikuteks lindikujulisteks moodustisteks, mis kinnituvad luukangide erinevatele kohtadele.

Lihaseid, kus kõõlus asetseb pikuti peaaegu kogu lihase ulatuses ning lihaskiud suunduvad kõõluse juurde ühest küljest mingi nurga all, nimetatakse ü h e l i s s u l g j a t e k s l i h a s t e k s . Kui lihaskiud suunduvad sellisel viisil kõõluse juurde kahelt poolt, nimetatakse lihast k a h e l i s s u l g j a k s l i h a s e k s . Sellisel kõõluste asetusel on suur tähtsus lihase funktsionaalsete omaduste suurendamisel, sest ta annab lihasel võimaluse suurendada lihaskiudude kinnituskotade arvu ja lihaskiudude arvu suurenemisega kaasneb ka lihase poolt arendatav jõud. Sellised lihased töötavad hästi nii staatiliste kui ka dünaamiliste koormuste juures, kuid nende energiatarvidus on suhteliselt suur. Pikaajalistel pingutustel nõuavad nad organismilt suurt energiavaru. Sellistel lihastel on hea elastsus, kusjuures ka puhkeolukorras on nad kergelt pingestatud.

3.3. Lihaste töö.

Lihaskoe omaduseks, millel põhineb lihase töö, on kontraheerumisvõime. Erutusprotsessi levikul tekib rida keemilisi reaktsioone, mille tulemusena vabaneb energia soojuse ja mehaanilise töö näol. Kontraheerumisel lihasekõht pakseneb. Selle tagajärjel võivad lihase kinnituskohad läheneda üksteisele ning koos nendega liiguvad siis ka vastavad skeleti

kangid. Real juhtudel võime vaadelda üht lihase kinnituspunkti liikumatuna ja teist liikuvana. Liikuv kinnituspunkt paneb liikuma mingi kehaosa ja sooritab seega mehaanilist tööd. Kinnise ja liikuva punkti määratlemine on suhteline. Vaadeldes näiteks niude-nimme lihase (m. iliopsoas) tööd kere painutusel ette, kus alajäsemed on liikumatud, ning teisel juhul reie liikumist liikumatu kere suhtes, näeme, et niude-nimme lihase kinnis- ja liikuv punkt vahetavad kohad, kuigi liigutus toimub ühes ja samas puusaliigeses ning ümber ühe ja sama telje. Samuti ei saa eristada lihase algust ja lõppu sõõrlihaste korral, näiteks suu ja silma sõõrlihased. Vaadeldes lihase kinnituskohti võime aga kindlaks määrata, millised kehaosad hakkavad liikuma vaadeldava lihase kontraheerumisel. Lihase poolt arendatava jõu suurus oleneb lihaskõhu lihaskiudude arvust ning nende paksusest, mis omakorda sõltub lihaskius leiduvate kontraktiilsete valkude hulgast. Liigutuse ulatus oleneb lihase lihaskiudude pikkusest, samuti ka kangi õla pikkusest, kuhu lihase kõõlus kinnitub.

Kinnituses luudele, lihased ulatuvad üle ühe, kahe või mitme liigese. Vastavalt sellele võime lihaseid jaotada ühe-, kahe- või mitmeliigeseliseks.

Igas liigeses võib liikumine toimuda vähemalt kahes vastupidises suunas (painutus, sirutus, lähendamine, eemaldamine jne.), s. o. võnkuva liikumisena. Sellise liikumise esilekutsumiseks on tarvis vähemalt kaht lihast, mis asuksid üks ühelt pool, teine teiselt pool liigest. Kui ühelteljelisel frontaalse teljega liigesel asetseb lihas vertikaalselt, s. o. risti teljega ja liigese ees, siis ta sooritab painutuse (flexio); kui lihas asetseb liigesest tagapool, siis ta sooritab sirutuse (extensio). Kui lihas asetseb risti sagitaalteljega ja temaga mediaalselt, siis ta sooritab lähendamise keskjoonele (adductio), lateraalse asendi korral sooritab lihas eemaldumise (abductio). Kui liigesel on ka pikitelg ja lihased lõikuvad sellega risti või kaldu, siis kontraheerumisel sooritavad nad kehaosa

pöörde (rotatio). Teljest seespool algavad lihased sooritavad pöörde sissepoole (jäsemel - pronatio). Lihased, mis algavad väljaspool pikitelge, sooritavad pöörde väljaspoole (jäsemel - supinatio).

Lihaste tööd vaadeldes näeme, et painutuse korral ei tööta liigeses ainult üks lihas, vaid tööle on rakendatud kaks või enam lihast. Painutuse korral kontraheerub ka sirutajalihas. Pikenedes teatud pinge juures, töötab ta painutajalihassele vaadeldud juhul antagonistina. Selline antagonistlik tegevus kindlustab liigutuse sujuvuse ja kooskõlastatuse. Lihaseid, millel tegevuse suund langeb kokku, nimetatakse sünergistideks. Olenevalt liigutuste iseloomust, liigutusest osavõtivate lihaste kombinatsioonidest, võib üks ja sama lihas täita sünergisti kui ka antagonist-i funktsioone.

Keha liikumisel ruumis või siis üksikute kehaosade omavahelisel liikumisel, on liigutuste põhjustajaks vastavate lihasgruppide kontraktsioon, kusjuures samaaegselt venitatakse välja antud lihasgrupile vastav antagonistlike lihaste rühm. Keha või tema osa liikumisel tagasi algasendisse saavad eelmises liigutuses antagonist-i funktsiooni täitvad lihased närviimpulsi ja, kontraheerudes, viivad keha (või tema osa) tagasi algasendisse, täites sünergistlikku funktsiooni, ning eelmise liigutuse sünergistid venitatakse passiivselt välja ja nad töötavad kui antagonistid.

3.3.1. L i h a s t e a b i a p a r a a d i d .

Kõiki lihaseid ümbritsevad õhukesed sidekoelised lestmehed, need on sidekirmed ehk fastsiad. Sidekirmeid, mis ümbritsevad kas iga lihast omaette, lihaste rühmi või eri kehaosade lihaseid, nimetatakse päris-sidekirmeteks. Need erinevad nahaalustest sidekirmetest, mis koosnevad kohevast sidekoest. Päris-sidekirmed on tunduvalt tihedamad kui nahaalused sidekirmed ja nad võivad hargneda mitmeks lestmeks, ümbritsedes lihaseid ja moodustades nende jaoks kotjaid mahuteid. Sidekirmete jätkeid, mis tungivad sügavale lihaste

vahela, nimetatakse süvadeks sidekirmeteks. Mõnedes kehaosades, iseäranis jäsemetel, eraldub sidekirmest jätke lestme näol, mis ulatub kuni luuni ja kasvab kokku luuümbrise-ga. Niisugust lihaste rühma eraldavat jätket nimetatakse lihastevaheliseks vaheseinaks. Sidekirmed moodustavad jätkeid üksikute lihaste või nende rühmade vahel, mistõttu lihaste paigaltnihkumine on takistatud. Sidekirmete tihedus ja tugevus on keha eri osades erinev ja sõltub nende poolt kaetavate lihaste jõust. Iseäranis hästi on sidekirmed arenenud jäsemetel. Suuremad närvid, vere- ja lümfisooned, mis kulgevad enamasti lihaste vahel kimbuna, on ümbritsetud sidekirmetega.

3.4. Lihaste töörežiimid.

Lihase töörežiim, kus lihase pikkus muutub, kuid temas tekki pinge ei muutu, nimetatakse lihase isotooniliseks tööks. Inimese keha liigutuste juures esineb selline režiim harva.

Kui lihase töötamisel lihase poolt arendatav pinge muutub, kuid tema pikkus ei muutu, siis on tegemist isomeetrilise režiimiga.

Kolmandat inimese keha liigutuste juures esinevat režiimi nimetatakse aüksotooniliseks. Siin lihase jõud kasvab kontraktsiooni kestel ning muutub ka lihase pikkus. Sellist töörežiimi esineb kõige sagedamini.

Lihase pikenemine toimub aga ainult siis, kui esineb jõud, mis lihast venitab. Lihase venitamisel võib lihas olla passiivne või ka aktiivne. Lihase lüheneb aga alati erutusprotsessi esile kutsunud närviimpulsi mõjul.

Lihase pikkuse muutus võib olla seotud ka lihase poolt arendatava jõu muutusega. Inimese liigutuste juures esinevat lihaste tööd võime klassifitseerida nelja varianti.

1. Lihase lüheneb ja tema poolt arendatav jõud kasvab pidevalt mingi piirini (näiteks jõu mõõtmisel dünamomeetri-ga). Seda nimetame lihase tööks suutlikkuse piirini.

2. Lihase lüheneb ja tema jõud on kõige suurem liikumise alguses, hiljem jõud hakkab vähenema ning muutub liikumise lõpus nulliks. Selline lihaste töö esineb kõigi hooliigutuste juures. Liikumise algul antakse vastavale kehaosale liikumapanemiseks vajalik kiirendus ning hiljem liikumapanev jõud muutub nulliks.
3. Lihase pikkus suureneb ning tema kontraktsiooniprotsessis tekkiv jõud pidevalt suureneb. See on lihase pidev töö.
4. Lihase pikeneb ja tema pinged pidevalt väheneb. See on lihase reguleeriv töö.

Kõigil neil juhtudel lihas töötab dünaamiliselt, muutes liikumise iseloomu. Ühe ja sama lihaste rühma juures võib üks lihase töö liik muutuda teiseks, näiteks kangi tõstmisel maast üles ja laskmisel tagasi.

Lihaste staatilisel tööl lihase pikkus ja pinged lühikese ajavahemiku vältel oluliselt ei muutu.

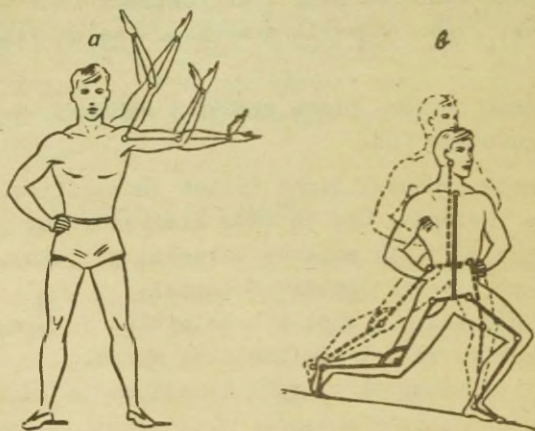
Lihaste tugevdamisel ei tohi lihast muuta lühikeseks, sest sel juhul, töötades antagonistina, vähendab ta kehaosa liikuvuse ulatust liigeses. Järelikult on väga suur tähtsus lihaste venitusharjutustel.

3.5. Liigutuste amplituudid liigestes.

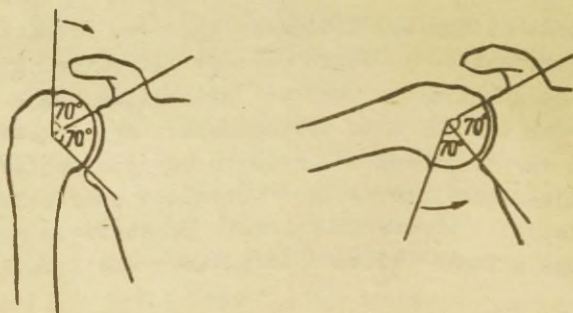
Kehaosade liikumisel libisevad kahe luu otsad liigeses teineteise suhtes ja tekib pöörlev liikumine. Liikumine võib toimuda kas ümber ühe või siis mitme telje. Liigesel on seega üks või mitu vabadusastet. Et liigese pea enamasti on kujult pöörkeha, siis toimub pöörlemine ümber ühe telje. Ainult keraliiges võimaldab pöörlemist ümber kolme telje. Liigese abiaparaadi moodustavad sidemed. Tervikuna aga piiravad sidemed liigutuste amplituuti liigeses.

Liigese liigutusamplituudi all mõistame pöördenurga ulatust, mis vaadeldava liigese korral on võimalik kindlas liikumissuunas ja ühes tasapin-

nas. Amplituudi suurus oleneb paljudest teguritest. Mingi antud liigese liigutuse võimaliku amplituudi saame teada, kui arvutame mingis tasapinnas asuva liigese liigesepindmike nurkade vahe (joon. 4). See on liigese nn. luuline liikuvus.



Joonis 3.



Joonis 4.

Arvutuse teel saadud liikumise ulatus võib olla tege-
likust suurem liigest ümbritsevate sidemete ja pehmete osa-
de tõttu. Mõõduandvaks võib siin olla ka liigutuse korral
venitatava lihase tõmme. Kehaosa liikuvust liigese telje
ümbär, ilma et rakendataks välist jõudu, nimetatakse
p a s s i i v s e k s l i i k u v u s e k s. Kui keha-
osa liikumisel lähenetakse liigese piirasendile suure kii-
rusega, siis võivad tekkida vigastused (sidemete rebestus,
kõõluste venituse või isegi luumurd). Selliste nähtuste väl-
timiseks on inimesel välja kujunenud kaitserefleksid. Liigese
piirasendites on lihased-antagonistid tugevasti pingu-
tatud ja takistavad liikumist.

Näiteks sügava küki korral on põlve- ja puusaliigeses
sirutajalihased tugevasti välja venitatud. Püüdes selili-
asendis saavutada sama asendit, osutub see küllaltki raskeks,
sest siin tuleb sirutajalihaste poolt (mis antud juhul an-
tagonistidena mõjuvad) arendatav vastujõud ületada lihaste
jõu abil. Küki korral tegi seda raskusjõud. Kehaosa liiku-
vuse ulatust liigese telje ümbär, kus kasutatakse kaaslaste
või välisjõu abi, nimetame a k t i i v s e k s l i i -
k u v u s e k s. Treening suurendab liigutusamplituude
liigeste telgede ümbär tunduvalt.

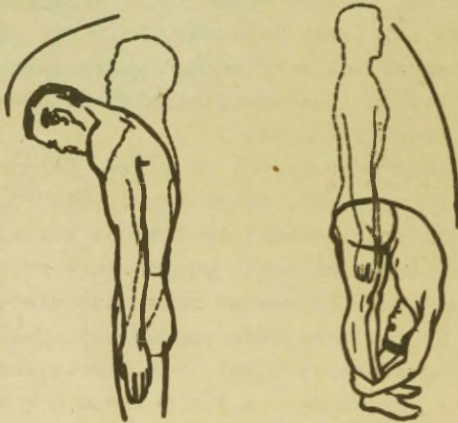
4. LIHASTE TEGEVUS LIIGUTUSTE SOORITAMISEL.

4.1. Lüüisamba ja pea liigutused.

Lüüisamba ja pea liigutused toimuvad lüüisamba lüüide-
vahelistes liigestes (art. intervertebrales) ja kandelüü-
kuklaluu liigeses (art. atlantooccipitalis), mis on moodus-
tatud ülemise lüüi alumiste liigesejätmete ja alumise lüüi
ülemiste liigesejätmete poolt lüüidevahelise vahekiudkõhre-
de piirkonnas. Kaela ja rinna osas on nad kujult tasapinna-
lised, silindrilised nimmeosas, kolmeteljelised (üksikliige-
sed väga väikese liikuvusega).

Võimalikud liigutused:

- a) painutus (ümber frontaaltelje), (joon. 5);
- b) sirutus (ümber frontaaltelje), (joon. 6);
- c) kallutus kõrvale (ümber sagitaaltelje), (joon. 7);
- d) pööre (ümber vertikaaltelje), (joon. 8);
- e) ringliikumine ümber vahepealsete telgede kuni 360°.



Joonis 5.

Liigese sidemete aparaat: vahekiudkõhred, kollased sidemed, ogadevahelised sidemed, ristijätkete vahelised sidemed, eesmine pikiside, tagumine pikiside, ogadepealne side, kandelüli - kukla eesmine kile, kandelüli-kukla tagumine kile, katuskile, kandelüli ristiside, tiibside, hambakujulise tipu side, ristluu-õndra külgmise side, ristluu-õndra kõhtmine side, ristluu-õndra selgmise pindmine side, ristluu-õndra selgmise süva side.

Painutust

teostavad

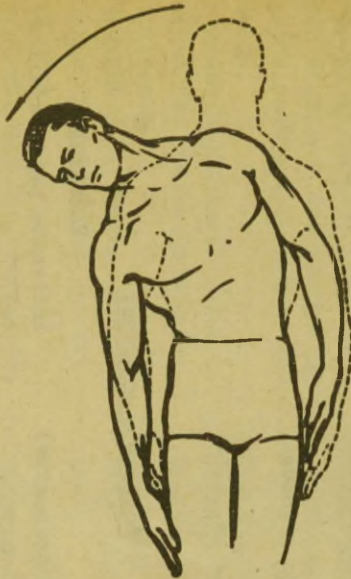
rinnaku-rangluu-nibu-
jatke lihas (m. sternoleido-
mastoideus),

pidurdavad

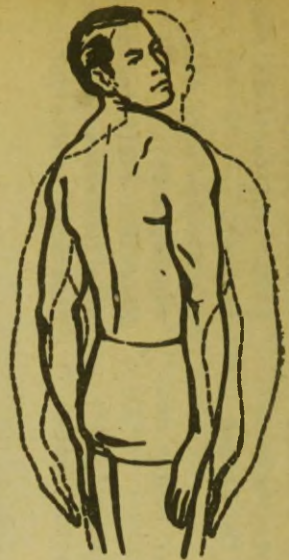
lülisamba sirutajalihased,
vahekiudkõhred,



Joonis 6.



Joonis 7.



Joonis 8.

astriklihased (mm. scaleni)
(eesmine, keskmine, tagumine),
kaela pikk lihas (m. longus
colli),
pea pikk lihas (m. longus ca-
pitis),
pea eesmine sirglihas (pea
rihmlihhas) (m. rectus capi-
tis anterior),
kõhu välimine põikilihas
(m. obliquus externus abdo-
minis),
kõhu sisemine põikilihas
(m. obliquus internus abdo-
minis),
kõhu sirglihas (m. rectus
abdominis),
niude-nimme lihas (m. ili-
opsoas).

tagumine pikiside
(lig. longitudinale pos-
terius),
ogadepealne side (lig.
supraspinale),
kandelüli-kukla tagumine
kile (membrana atlantooc-
cipitalis posterior).

Lülisamba sirutust

teostavad

trapetslihas (m. trapezius),
rihmlihhas (m. splenius),
ülemine tagumine saaglihas
(m. serratus posterior su-
perior),
alumine tagumine saaglihas
(m. serratus posterior inferior),
lülisamba sirutajalihas
(m. erector spinae),
rinnaku-rangluu-nibujätke
lihas (m. sternocleidomastoideus),
abaluu tõsturihas (m. levator
scapulae),

pidurdavad

lülisamba painutajaliha-
sed,
vahekiudkõhred,
eesmine pikiside (lig.
longitudinale anterior),
kandelüli-kukla eesmine
kile (membrana atlantooc-
cipitalis anterior),
katuskile (membrana
tectoria).

nimme ruutlihas (m. quadratus lumborum),
ristijätke-ogalihas (m. transversospinalis),
pool-ogalihas (m. semispinalis),
pea suurem ja väiksem tagumine sirglihas (mm. recti
capitis posterior major et minor),
pöörajad lihased (mm. rotatores),
roiete tõsturlihased (mm. levatores costarum),
ogajätkete vahelised lihased (mm. interspinales),
mitmeosalised lihased (mm. multifides).

Lülisamba kallutust kõrvale

teostavad

kaela ja pea pikad lihased
(m. longus capitis et colli),
suurem ja väiksem tagumine
pea sirglihas (m. rectus ca-
pitis posterior major et mi-
nor),
rinnaku-rangluu-nibujätke
lihas (m. sternocleidomas-
toideus),
eesmine ja keskmine astrik-
lihas (mm. scalenus anterior
et medius),
trapetslihas (m. trapezius),
rihmlihas (m. splenius),
lülisamba sirutajalihas
(m. erector spinale),
ristijätke-ogalihas
(m. transversospinalis),
abaluu tõsturlihhas (m. leva-
tor scapulae),
pool-ogalihas (m. semispinalis),
ogajätkete vahelised lihased
(m. interspinales),
pöörajad lihased (mm. rotatores),

pidurdavad

samanimelised lihased
vastaspoleel, lisaks
vahekiudkõhred,
kollased sidemed
(ligg. flava),
ristijätkete vahelised
sidemed (ligg. inter-
transversarii),
kandelüli ristside
(lig. cruciformeatlan-
tis),
tiibsidemed (ligg.
alararia).

roiete tõsturihased (mm. levatores costarum),
 mitmeosalised lihased (mm. multifidi),
 kõhu välimine põikilihas (m. obliquus abdominis externus),
 kõhu sisemine põikilihas (m. obliquus abdominis internus),
 kõhu sirglihas (m. rectus abdominis),
 nimme ruutlihas (m. quadratus lumborum),
 niude-nimme lihas (m. iliopsoas),
 ristijätkete vahelised lihased (mm. intertransversarii),
 romblihas (m. rhomboideus),
 tagumised saaglihased (ülemine, alumine)
 (mm. serrati posteriores superior et inferior).

Lülisamba pööramist

teostavad

rinnaku-rangluu-nibujätke
 lihas (m. sternocleidomastoideus),
 astriklihased (eesmine, keskmine, tagumine) (mm. scaleni),
 suurem ja väiksem rinnalihas
 (m. pectoralis major et minor),
 eesmine saaglihas (m. serratus anterior),
 kõhu välimine põikilihas
 (m. obliquus externus abdominis),
 kõhu sisemine põikilihas
 (m. obliquus internus abdominis),
 trapetsilihas (m. trapezius),
 romblihas (m. rhomboideus),
 ülemine ja alumine tagumine
 saaglihas (m. serratus posterior superior et inferior),
 rihmlihas (m. splenius),

pidurdavad

vastaspoole samanimelised
 lihased, lisaks
 vahekiudkõhred,
 kollased sidemed
 (ligg. flava),
 ogajätkete vahelised sidemed
 (ligg. interspinalia),
 ristijätkete vahelised sidemed
 (ligg. intertransversaria),
 eesmine pikiside (lig. longitudinale anterius),
 ogadepealne side
 (lig. supraspinale),
 kandelüli-kukla eesmine
 kile (membrana atlantooccipitalis anterior),
 kandelüli-kukla tagumine
 kile (membrana atlantooccipitalis posterior),
 katuskile (membrana tectoria),

lülisamba sirutajalihas (m. erector spinae), ristijätke ogalihas (m. transversospinalis), pööravad lihased (mm. rotatores), niude-nimne lihas (m. iliopsoas).	• kandelüli ristside (lig. cruciforme atlantis), hambakujulise tipu side (lig. apicis dentis), tiibeidemed (ligg. alaria).
--	--

4.2. Alajäseme liigutused.

Reie liigutused toimuvad puusaliigeses (art. coxae), mille moodustavad puusanapp ja reieluue (kujult pähkelliiges, kolmeteljeline).

Võimalikud liigutused:

- a) painutus (ümbes frontaalteelje), (joon. 9);
- b) sirutus (ümbes frontaalteelje), (joon. 10);
- c) lähendamine (ümbes sagitaalteelje), (joon. 11);
- d) eemaldamine (ümbes sagitaalteelje), (joon. 12);
- e) pööramine väljapoole (ümbes pikitelje), (joon. 13);
- g) pööramine sissepoole (ümbes pikitelje), (joon. 14).

Liigese sidemeaparaat:

reieluue side (lig. capitis femoris),
sõõrvööde (zona orbicularis),
niude-reie side (lig. iliofemorale),
hübeme-reie side (lig. pubofemorale),
istmiku-reie side (lig. ischiofemorale),
puusanapa ristiside (lig. transversum acetabuli).

Reie painutatust

teostavad

niude-nimne lihas
(m. iliopsoas),
laia sidekirme pingutaja-
lihas (m. tensor fascie
latae),

pidurdavad

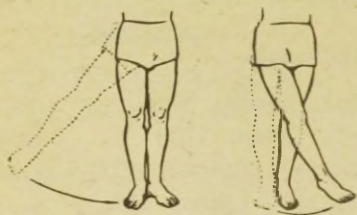
reie sirutajalihased,
kere eesmine pind,
istmiku-reieluu side
(lig. ischiofemorale),



Joonis 9.



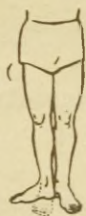
Joonis 10.



Joonis 11.



Joonis 12.



Joonis 13.



Joonis 14.

rätsepalihäs (m. sartorius), (sirutatud põlve puhul sää-
 reie sirglihas (m. rectus re tagakülje lihased).
 femoris),
 harjalihas (m. pectineus),
 pikk lähendajalihas (m. adductor longus),
 lühike lähendajalihas (m. adductor brevis),
 väike lähendajalihas (m. adductor minimus).

Reie sirutust

teostavad

suurim tuharalihas (m. gluteus
 maximus),
 poolkõõluslihas (m. semitendi-
 nosus),
 õrnlihas (m. gracilis),
 poolkilelihas (m. semimembra-
 nosus),
 reie kakspealihas (m. biceps
 femoris),
 pirnlihas (m. piriformis),
 kaksiklihased (mm. gemelli),
 suur lähendajalihas
 (m. adductor magnus).

pidurdavad

reie painutajad,
 niude-reie side
 (lig. iliofemorale).

Reie lähendamist

teostavad

harjalihas (m. pectineus),
 suur lähendajalihas
 (m. adductor magnus),
 väike lähendajalihas
 (m. adductor minimus),
 lühike lähendajalihas
 (m. adductor brevis),
 pikk lähendajalihas
 (m. adductor longus),

pidurdavad

reie eemaldajalihased,
 reieluuepea side
 (lig. capitis femoris),
 niude-reie side
 (lig. iliofemorale).

õrnlihas (m. gracilis),
niude-nimme lihas (m. iliopsoas).

Reie eemaldamist

<u>teostavad</u>	<u>pidurdavad</u>
keskne tuharalihas (m. gluteus medius), vähim tuharalihas (m. gluteus minimus), laia sidekirme pingutaja- lihas (m. tensor fasciae latae), pirnlihas (m. piriformis), sisemine toppelihas (m. obturator internus), kaksiklihased (mm. gemelli).	reie lähendajalihased, istmiku-reieluu side (lig. ischiofemorale).

Reie pööramist sissepoole

<u>teostavad</u>	<u>pidurdavad</u>
keskne tuharalihas (m. gluteus medius), vähim tuharalihas (m. gluteus minimus), laia sidekirme pingutaja- lihas (m. tensor fasciae latae), poolkõõluslihas (m. semitendinosus), poolkilelihas (m. semimembranosus), õrnlihas (m. gracilis), rätsepalihhas (m. sartorius).	reit väljapoole pööravad lihased (supinaatorid), istmiku-reieluu side (lig. ischiofemorale).

Reie pööramist väljapoole

<u>teostavad</u>	<u>pidurdavad</u>
niude-nimme lihas (m. iliopsoas),	reit sissepoole pööravad lihased (pronaatorid),

suurim tuharalihas	hübeme-reie side
(m. gluteus maximus),	(lig. pubofemorale).
keskne tuharalihas	
(m. gluteus medius),	
vähim tuharalihas (m. gluteus minimus)	
pirnlihas (m. piriformis),	
sisemine toppelihas (m. obturator internus),	
ülemine ja alumine kaksiklihas (mm. gemelli superior et inferior),	
reie ruutlihas (m. quadratus femoris),	
välimine toppelihas (m. obturator externus),	
rätsepalihas (m. sartorius),	
harjalihas (m. pectineus),	
suur lähendajalihas (m. adductor magnus),	
pikk lähendajalihas (m. adductor longus),	
väike lähendajalihas (m. adductor minimus),	
lühike lähendajalihas (m. adductor brevis),	
reie kakspealihas (m. biceps femoris).	

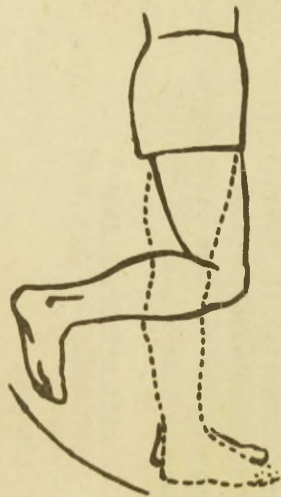
S ä ä r e liikumised toimuvad põlveliigeses (art. genus), mille moodustavad reieluu alumine ots ja sääreluupõntade ülemised pindmikud ja nende vahelised meniskid. Liigese moodustamisest võtab osa reie nelipealihase kôõluses paiknev põlvekeder. Kujult põntliiges. Funktsionaalselt plokk-ratasliiges, kaks liikumistelge.

Võimalikud liigutused:

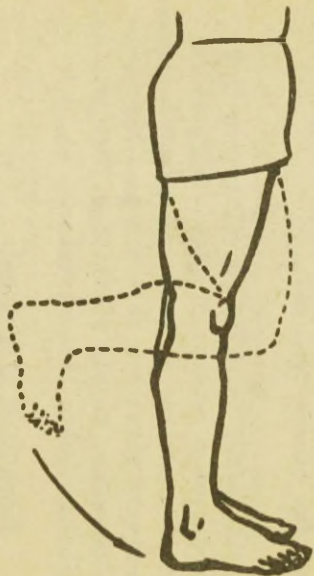
- a) painutus (ümbes frontaalteije), (joonis 15);
- b) sirutus (ümbes frontaalteije), (joonis 16);
- c) pööramine sissepoole (ümbes sääre pikitelje), (joonis 17);
- d) pööramine väljapoole (ümbes sääre pikitelje).

Liigese sidemeaparaat:

sääreluumine kaas-külgside
(lig. collaterale tibiale),



Joonis 15.



Joonis 16.



Joonis 17.

pindluumine kaaskülgside
 (lig. collaterale fibulare),
 põlvekedraside
 (lig. patellae),
 põiki-kindraside
 (lig. popliteum obliquum),
 kaar-kindraside
 (lig. popliteum arcuatum),
 eesmine ristside
 (lig. cruciatum anterius),
 tagumine ristside
 (lig. cruciatum posterius),
 põlve ristiside
 (lig. transversum genus),
 eesmine ja tagumine meniski-reieluuside
 (lig. menseofemorale anterius et posterius).

Sääre painutust

teostavad

rätsepalihas (m. sartorius),
 õrnlihas (m. gracilis),
 poolkõõluslihas (m. semitendinosus),
 poolkilelihas (m. semimembranosus),
 reie kakspealihas (m. biceps femoris),
 kaksik-sääremarjalihas (m. gastrocnemius),
 tallalihas (m. plantaris),
 õndlalihas (m. popliteus).

pidurdavad

sääre sirutajad,
 ristsidemed.

Sääre sirutust

teostavad

reie sirglihas, }
 külgmine pakслиhas, }
 keskmine pakслиhas, }
 vahepealne pakслиhas, }
 põlveliigese lihas
 (m. articularis genu).

reie neli-
 pealihas
 (m. quadri-
 seps femoris).

pidurdavad

sääre painutajalihased,
 kaas-külgsidemed
 (ligg. collateralia),
 eesmine ristside
 (lig. cruciatum ante-
 rius).

Sääre pööramist sissepoole

teostavad

õrnlihas (m. gracilis),
poolkõõluslihas (m. semitendinosus),
poolkilelihas (m. semimembranosus),
õndlalihas (m. popliteus),
rätsepalihase (m. sartorius),
kaksik-sääremarjalihase keskmine
pea (m. gastrocnemius caput mediale).

pidurdavad

sääre supinaatorid,
ristsidemed
(ligg. cruciata).

Sääre pööramist väljapoole

teostavad

reie kakspealihas
(m. biceps femoris),
kaksik-sääremarjalihase late-
raalne (kõlgmine) pea
(m. gastrocnemius (caput laterale)).

pidurdavad

sääre pronatorid,
kaas-kõlgsidemed
(ligg. collateralia).

P õ i a liigutused toimuvad

- a) kontsluu-sääre liigeses (art. talocruralis), mis ühendab sääre mõlemad luud põiaga. Liigesepindmikkudeks on ühel küljel sääreluu alumine pindmik ja sääre mõlema luu paksid, teisel küljel kontsluuplokk. Kujult plokkliiges, üheteljeline;
- b) kontsluu-kanna liigeses (art. talotarsalis), mille moodustavad kontsluu ja kandluu ning kontsluu, kandluu ja jala lodiluu vahelised liigesed. Funktsionaalselt silinderliiges, üheteljeline.

Võimalikud liigutused:

- a) painutus (ümber frontaaltelje), (joonis 18);
sirutus (ümber frontaaltelje), (joonis 19);
põia mediaalse serva laskumine allapoole ümber põiki-sagi-

taaltelje (pronatsioon), (joonis 20);
põia mediaanse serva tõusmine ülespoole ümber põiki-
sagitaaltelje (supinatsioon), (joonis 21);

- b) pööramine sissepoole ümber põiki-sagitaaltelje,
pööramine väljapoole ümber põiki-sagitaaltelje.

Liigese sidemeaparaat:

- | | |
|--|--|
| a) deltaside (lig. deltoideum),
kontsluu-pindluu eesmine side
(lig. talofibulare anterius),
kontsluu-pindluu tagumine side
(lig. talofibulare posterius),
kandluu-pindluu side. | b) kontsluu-kandluu
kõlgmiline side
(lig. talocalcaneum
laterale),
kontsluu-kandluu
keskmiline side
(lig. talocalcaneum
mediale). |
|--|--|

Põia painutust

teostavad

pikk pindluulihas
(m. peroneus longus),
lühike pindluulihas
(m. peroneus brevis),

sääre kolmpealihas
(m. triceps surae),

kaksik-sääremar-
jalihas (m. gast-
rocnemius), lest-
sääremarjalihas
(m. soleus), tal-
lalihas (m. plan-
tariis),

pikk varvastepainutajalihas (m. flexor digitorum longus),
pikk suurvarbapainutajalihas (m. flexor hallucis longus),
tagumine sääreluulihas (m. tibialis posterior).

pidurdavad

põia sirutajalihas, liigesekihid
(capsula articularis),
eesmine kontsluu-pindluu
side (lig. talofibula-
re anterius),
deltasideme eesosa.

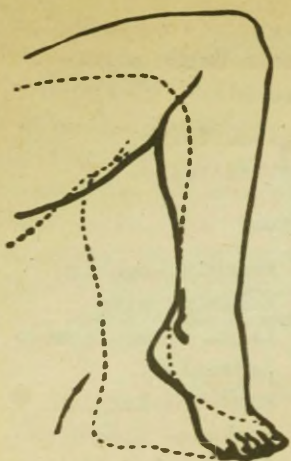
Põia sirutust

teostavad

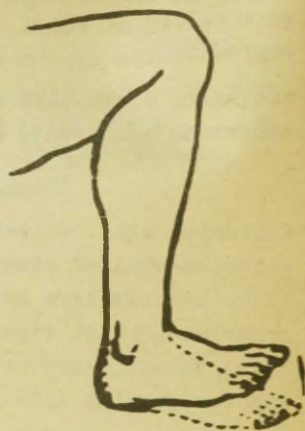
eesmine sääreluulihas
(m. tibialis anterior),

pidurdavad

põia painutajad,
kontsluuplokk (trochlea
tali),



Joonis 18.



Joonis 19.



Joonis 20.



Joonis 21.

pikk varvastesirutajalihas
(m. extensor digitorum longus),
pikk suurvarbasirutajalihas
(m. extensor hallucis longus).

tagumine kontsluu-pind-
luu side (lig. talofibu-
lare posterius),
deltasideme tagaosa,

Põia mediaanse serva laskumist allapoole
(pronatsioon)

teostavad

pikk varvastesirutajalihas
(m. extensor digitorum longus),
pikk pindluulihas
(m. peroneus longus),
lühike pindluulihas
(m. peroneus brevis),
kolmas pindluulihas
(m. peroneus tertius).

pidurdavad

põia supinaatorid,
deltaside (lig. deltoideum),
kõlgmise paks
(malleolus lateralis).

Põia mediaanse serva tõstmist ülespoole
(supinatsioon)

teostavad

eesmine sääreluulihas
(m. tibialis anterior),
pikk varvastepainutajalihas
(m. flexor digitorum longus),
pikk suurvarbapainutajalihas
(m. flexor hallucis longus),
tagumine sääreluulihas
(m. tibialis posterior),

pidurdavad

põia pronaatorid,
kandluu-pindluu side
(lig. calcancofibulare),
keskmise paks
(malleolus medialis).

V a r v a s t e liikumine toimub põialaba-varbalüli ning varbalülidevahelistes liigestes (art. interphalangeae). Põialuud on ühendatud keralligestena varvaste põhilülidega. Kõik varvaste lülidevahelised liigesed on plokkligesed ja nende liikuvus ümber frontaalteelje võimaldab varbaid painutada ja sirutada.

Võimalikud liigutused:

painutus (ümber frontaaltelje), (joonis 22);
sirutus (ümber frontaaltelje), (joonis 23);
lähendamine (ümber sagitaaltelje),
eemaldamine (ümber sagitaaltelje),
ringliikumine (ümber vahepealsete telgede).

Liigese sidemeaparaat:

talla-lisasidemed
(ligg. accessoria plantaria),
pähikute ristisidemed
(ligg. capitulorum transversa),
varvaste kaaskülgsidemed
(ligg. collateralia).

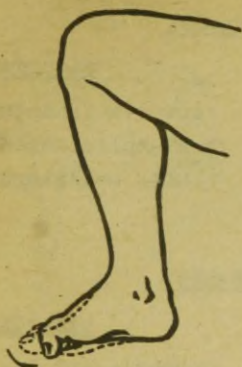
Varvaste painutust

teostavad

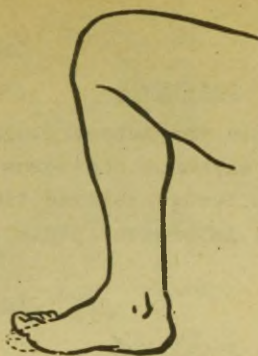
pikk varvastepainutajalihas
(m. flexor digitorum longus),
lühike varvastepainutajalihas
(m. flexor digitorum brevis),
pikk suurvarbapainutajalihas
(m. flexor hallucis longus),
lühike suurvarbapainutajalihas
(m. flexor hallucis brevis),
talla ruutlihas
(m. quadratus plantae),
pöia vihmausslihased
(mm. lumbricales pedis),
selgmised luudevahelised lihased
(mm. interossei dorsales),
taldmised luudevahelised lihased
(mm. interossei plantares),
suurvarbalähendajalihas
(m. adductor hallucis),

pidurdavad

varvastesirutajad.



Joonis 22.



Joonis 23.

väikevarbaemaldajalihas
 (m. abductor digiti minimi),
 lühike väikevarbapainutajalihas
 (m. flexor digiti minimi brevis).

Varvaste sirutust

teostavad

pikk varvastesirutajalihas
 (m. extensor digitorum longus),
 lühike varvastesirutajalihas
 (m. extensor digitorum brevis),
 pikk suurvarbasirutajalihas
 (m. extensor hallucis longus),
 lühike suurvarbasirutajalihas
 (m. extensor hallucis brevis),
 põia vihmausslihased
 (mm. lumbricales pedis),
 põia luudevahelised lihased
 (mm. interossei pedis).

pidurdavad

varvastepainutajad,
 pähikute ristisidemed
 (ligg. capitulorum
 transversa),
 talla-lisasidemed
 (ligg. accesoria plantaria).

Varvaste eemaldamist

teostavad

lühike varvastesirutajalihas
(m. extensor digitorum brevis),
põia luudevahelised lihased
(mm. interossei pedis).

pidurdavad

varvaste lähendajalihased
kesk-külgsidemed
(ligg. collateralia).

Varvaste lähendamist

teostavad

põia vihmausslihased
(mm. lumbricales pedis),
põia luudevahelised lihased
(mm. interossei pedis).

pidurdavad

varvaste eemaldajaliha-
sed,
kaas-külgsidemed
(ligg. collateralia).

4.3. Ülaäseme liigutused.

Õ l a v a r r e liigutused toimuvad õlaliigeses (art. humeri), mille moodustavad õlavarreluu pea ja abaluu liigese-
pind (kujult keraliiges, kolmeteljeline).

Võimalikud liigutused:

- a) painutus (ümb er frontaaltelje), (joonis 24);
- b) sirutus (ümb er frontaaltelje), (joonis 25);
- c) eemaldamine (ümb er sagitaaltelje), (joonis 26);
- d) lähendamine (ümb er sagitaaltelje), (joonis 27);
- e) pööramine väljapoole (ümb er vertikaaltelje), (joonis 28);
- f) pööramine sissepoole (ümb er vertikaaltelje), (joonis 29);

Kinnitatud ronganokkjätke-õlavarre sideme abil (lig. coraco-
humerale).

Õlavarre painutust

teostavad

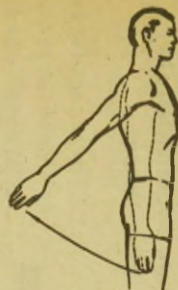
deltalihas (eesmine osa)
(m. deltoideus),

pidurdavad

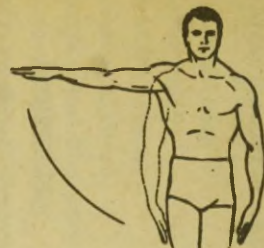
õlavarresirutajalihased,
abaluu õlanukk ja ronga-
nokkjätke,



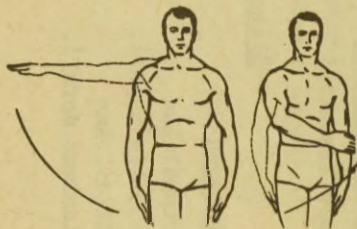
Joonis 24.



Joonis 25.



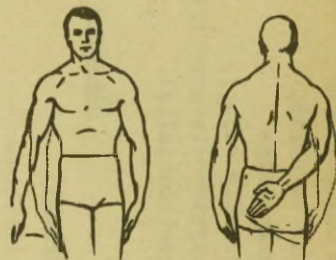
Joonis 26.



Joonis 27.



Joonis 28.



Joonis 29.

Õlavarre kakspealihas
(m. biceps brachii),
suurem rinnalihas
(m. pectoralis major),
ronganokkjätke-õlavarre lihas
(m. coracobrachialis).

ronganokkjätke-õlanurk-
side
(lig. coracoacromiale).

Õlavarre sirutust

teostavad

eelja ülilailihas
(m. latissimus dorsi),
deltalihas tagumine osa
(m. deltoideus),
väiksem ümarlihas
(m. teres minor),
suurem ümarlihas
(m. teres major).

pidurdavad

Õlavarre painutajaliha-
sed,
abaluu õlanukk,
ronganokkjätke-õlavarre
side
(lig. coracohumerale),
liigese kapsel.

Õlavarre eemaldamist

teostavad

deltalihas
(m. deltoideus),
harjaüline lihas
(m. supraspinatus),
õlavarre kakspealihas
(m. biceps brachii).

pidurdavad

Õlavarre lähendajali-
hased,
ronganokkjätke-õlanuki
side
(lig. coracoacromiale).

Õlavarre lähendamist

teostavad

suurem rinnalihas
(m. pectoralis major),
selja ülilailihas
(m. latissimus dorsi),

pidurdavad

Õlavarre eemaldajaliha-
sed,
kere külgmise pind.

harjaalune lihas
 (m. infraspinatus),
 väiksem ümarlihas
 (m. teres minor),
 suurem ümarlihas
 (m. teres major),
 abaluualune lihas
 (m. subscapularis),
 ronganokkjätke-õlavarrelihas
 (m. coracobrachialis),
 õlavarre kolmpealihase pikk pea
 (m. triceps brachii, caput longum).

Õlavarre pööramist väljapoole

<u>teostavad</u>	<u>pidurdavad</u>
deltalihas (m. deltoideus), harjaalune lihas (m. infraspinatus), väiksem ümarlihas (m. teres minor).	Õlavart sissepoole pöö- ravad lihased, liigese kapsel.

Õlavarre pööramist sissepoole

<u>teostavad</u>	<u>pidurdavad</u>
suurem rinnalihas (m. pectoralis major), selja ülilailihas (m. latissimus dorsi), deltalihase eesmine osa (m. deltoideus), suurem ümarlihas (m. teres major), abaluualune lihas (m. subscapularis), ronganokkjätke-õlavarre lihas (m. coracobrachialis).	Õlavart väljapoole pöö- ravad lihased, liigese kapsel.

K ü ü n a r v a r r e liigutused toimuvad küünarliigeses (art. cubiti), mille moodustavad õlavarreluuplokk ja pähik ning küünarluu plokisälg ja kodarluu pea.

Küünarliiges koosneb kolmest eri liigesest:

- a) õlavarreluu-kodarluu liiges (art. humeroulnaris), mille moodustavad õlavarreluupähik ja kodarluupähiku lohk; kujult sfääriline, kaheteljeline (liikumine ümber kolmanda telje on piiratud külgsidemetega ning luudevahelise membraaniga;
- b) õlavarreluu-küünarluu liiges (art. humeroradialis), mille moodustavad õlavarreplakk ja küünarluuploki sälg; kujult plakkliiges, üheteljeline;
- c) proksimaalne kodarluu-küünarluu liiges (art. radioulnaris proximalis), selle moodustavad kodarluupähiku ringpind ja küünarluu kodarluumine sälg; kujult silindriline, üheteljeline.

Kõiki neid kolme liigest ümbritseb ühine liigesekihh.

Võimalikud liigutused:

- a) painutus (ümber frontaaltelje), (joonis 30);
sirutus (ümber frontaaltelje), (joonis 31);
- b) kodarluu pööramine väljapoole (ümber vertikaaltelje), (joonis 32);
kodarluu pööramine sissepoole (ümber vertikaaltelje), (joonis 33).

Liigese sideme aparaat:

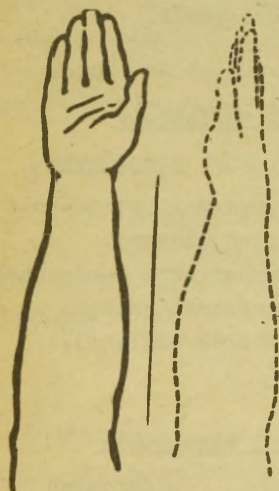
küünarluumine kaaskülgside, kodarluumine kaaskülgside ja võruside.



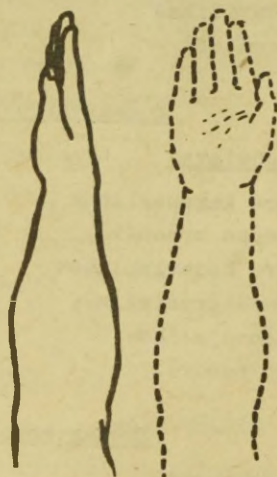
Joonis 30.



Joonis 31.



Joonis 32.



Joonis 33.

Küünarvarre painutust

teostavad

Õlavarre kakspealihas
(m. biceps brachii),
Õlavarrelihas
(m. brachialis),
ümar sissepöörajalihas
(m. pronator teres),
kodarmine randmepainutajalihas
(m. flexor carpi radialis),
Õlavarre-kodarluu lihas
(m. brachioradialis).

pidurdavad

küünarvarre sirutajaliha-
sed,
varesenokkjätke.

Küünarvarre sirutust

teostavad

Õlavarre kolmpealihas
(m. triceps brachii),
küünarnukilihas
(m. anconeus).

pidurdavad

küünarvarre painutaja-
lihased,
küünarnukk.

Küünarvarre pööramist väljapoole

teostavad

Õlavarre kakspealihas
(m. biceps brachii),
Õlavarre kodarluulihas
(m. brachioradialis),
väljapöörajalihas
(m. supinator).

pidurdavad

küünarvart sissepoole pöö-
ravad lihased,
küünarvarre luudevahelise
membraani paksend
(chorda oblique).

Küünarvarre pööramist sissepoole

teostavad

ümar sissepöörajalihas
(m. pronator teres),

pidurdavad

küünarvart väljapoole
pööravad lihased,

kodarmine randmepainutaja-
lihas (m. flexor carpi ra-
dialis),
ruut-sissepöörjalihas
(m. pronator quadratus),
õlavarre kodarluulihas
(m. brachioradialis).

küünarluu pihkmine pind.

K ä e liigutused toimuvad a) kodarluu-randme lii-
geses (art. radiocarpea). Selle moodustavad liigesepindmik
kodarluu distaalsel otsal ja randmeluude esimene rida, väl-
ja arvatud hernesluu; kujult ellipsoidliiges, kaheteljeli-
ne; b) randme keskses liigeses (art. mediocarpea), mille moo-
dustavad esimese ja teise rea randmeluud; kujult sfääriline
ne, kaheteljeline. Funktsionaalselt on see liiges seotud ko-
darluu-randme liigesega, millega koos moodustab käeliigese
(articulatio manus).

Liigese sideme aparaat:

küünarluumine randme kaaskülgside. kodarluumine randme kaas-
külgside, pihkmine kodarluu-randmeside ja selgmine kodarluu-
randmeside. Randmeluude vahelised selgmised ja pihkmised si-
demed, kodarluu-randme side, randme kiirjas side.

Võimalikud liigutused:

- a) painutus (ümbes frontaaltelje), (joonis 34);
- b) sirutus (ümbes frontaaltelje), (joonis 35);
- c) lähendamine (ümbes frontaaltelje), (joonis 36);
- d) eemaldamine (ümbes frontaaltelje), (joonis 37).

Käe painutust

teostavad

kodarmine randmepainutaja-
lihas (m. flexor carpi ra-
dialis),

pidurdavad

käe sirutajalihased,
kodarluu-randme selgmine
side (lig. radiocarpeum
dorsale).



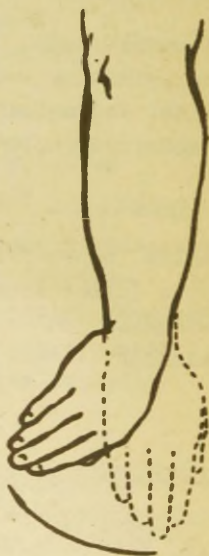
Joonis 34.



Joonis 35.



Joonis 36.



Joonis 37.

küünarmine randmepainutaja-
lihas (m. flexor carpi ulnaris),
pikk pihulihas
(m. palmaris longus),
pindmine sõrmepainutajalihas
(m. flexor digitorum superficialis),
süva sõrmedepainutajalihas
(m. flexor digitorum profundus),
pikk põidlapainutajalihas
(m. flexor pollicis longus).

Käe sirutust

teostavad

pikk kodarmine randmesirutaja-
lihas (m. extensor carpi radia-
lis longus),
lühike kodarmine randmesirutaja-
lihas (m. extensor carpi radialis
brevis),
küünarmine randmesirutajalihas
(m. extensor carpi ulnaris),
ühine sõrmedesirutajalihas
(m. extensor digitorum communis),
pikk põidlasirutajalihas
(m. extensor pollicis longus),
lühike põidlasirutajalihas
(m. extensor pollicis brevis),
päris nimetissõrmesirutajalihas
(m. extensor indicis proprius),
päris pisisõrmesirutajalihas
(m. extensor digiti minimi proprius).

pidurdavad

käe painutajalihased,
pihkmine kodarluu-rand-
me side
(lig. radiocarpeum pal-
mare).

Käe lähendamist

teostavad

küünarmine randmepainutajalihas
(m. flexor carpi ulnaris),
küünarmine randmesirutajalihas
(m. extensor carpi ulnaris).

pidurdavad

käe eemaldajalihased,
kodarluumine randme kaas-
külgside
(lig. collaterale carpi
radiale).

Käe eemaldemist

teostavad

kodarline randmepainutajalihas
(m. flexor carpi radialis),
lühike kodarline randmesirutaja-
lihas (m. extensor carpi radia-
lis brevis),
pikk kodarline randmesirutajalihas
(m. extensor carpi radialis longus),
pikk põidlaeemaldajalihas
(m. abductor pollicis longus),
lühike põidlasirutajalihas
(m. extensor pollicis brevis),
pikk põidlasirutajalihas
(m. extensor pollicis longus),
pikk põidlapainutajalihas
(m. flexor pollicis longus).

pidurdavad

käe lähendajalihased,
küünarluumine randme
kaas-külgside
(lig. collaterale car-
pi ulnare).

II p e a t ü k k .

1. MEHAANIKA PÕHIMÕISTED JA -SEADUSED.

Kui vaadeldavale kehale ei avalda mõju teised kehad, siis ta püsib paigal või säilitab ühtlase sirgjoonelise liikumise. Millised jõud võivad mõjuda inimesele? Jaotame need kahte rühma:

- 1) välised jõud,
- 2) sisemised jõud.

Välis te k s j õ u d u d e k s on raskus- e. gravitatsioonijõud, hõõrdejõud, aero- ja hüdrodünaamilised jõud (õhu ja vee takistusjõud liikumisel). Välisjõuna võib mõjuda ka vastase lihaste jõud, samuti ka teiste kehade inerts- ja reaktsioonijõud.

Sisemiste jõudude n a vaatleme lihaste jõudu (õigemini lihaste kontraktsioonist põhjustatud jõudu) ja üksikute kehaosade inertsijõudu ning kudede passiivset vastupanujõudu (lihased, sidemed).

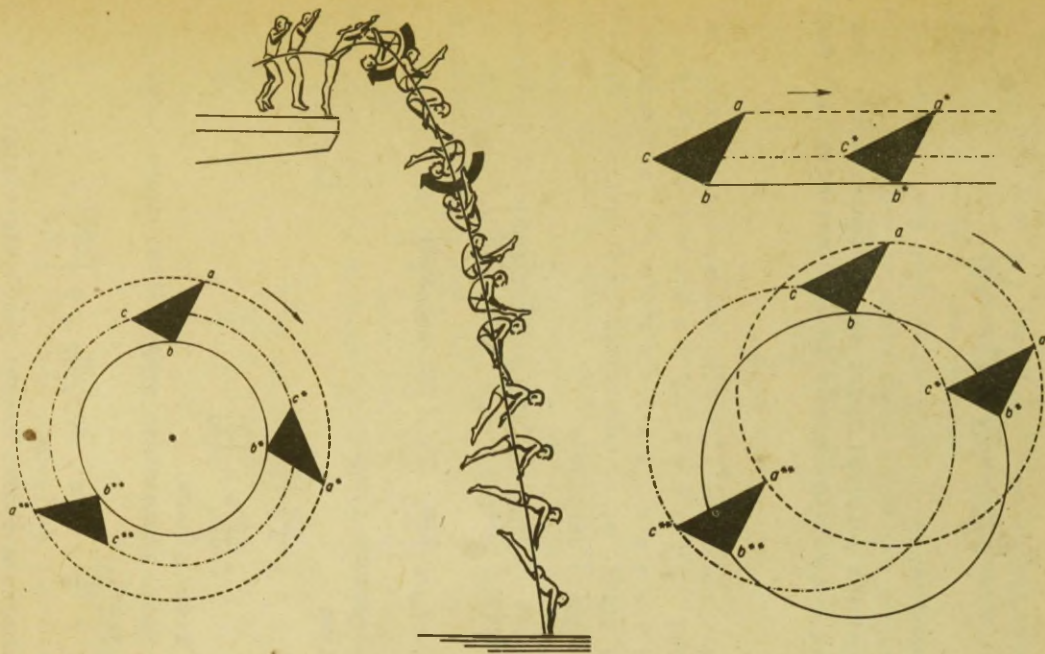
Enamik praktikas vaadeldavaid liikumise juhte kuuluvad d ü n a a m i k a valdkonda. Mingi keha liikumise vaatlemiseks peame kõigepealt kindlaks määrama t a u s t s ü s t e e m i , mille suhtes saame mõõta või arvutada vaadeldava keha poolt läbitud tee, liikumise kiiruse ja kiirenduse nii suunalt kui ka suuruselt. Näiteks oleme harjunud kujutama jalgratturi labajala trajektoori ringjoonekujulisena, kuid niisugune on see ainult siis, kui liigume samasuure kiirusega koos jalgratturiga. Paigalseisva vaatleja suhtes on jalalaba trajektooriiks tsükloid (vt. joonis 38).

Peale taustsüsteemi kindlaksmääramist tuleks määrata liikumise liik. Liikumised erinevad üksteisest nii trajektoori kuju kui ka ajalise kulgemise poolest. Liikumisi eristame geomeetrisest küljest translatoorseks (kulgliikumine) ja rotatiivseks (pöördliikumine) (vt. joonis 39). Translatoorset ja rotatiivset liikumist puhul kujul leiame spordis suhteliselt harva.



Joonis 38.

Kõige enam kohtame nn. keerulist liikumist, mis koosneb nii translatsioonist kui rotatsioonist. Iga keerulise liikumise analüüsil aga tuleb see lahutada kaheks lihtsamaks. Liikumise ajalise kulgemise järgi eristatakse ühtlast ja mitteühtlast liikumist. Mitteühtlase liikumise võime jaotada veel ühtlaselt kiirenevaks (aeglustuvaks) ja mitteühtlaselt kiirenevaks (aeglustuvaks) liikumiseks. Liikumise jagunemine ajalise kulgemise järgi kehtib nii translatoorse kui ka rotatiivse liikumise kohta. Järgmine, mida liikuva keha vaatlemisel tuleb kindlaks määrata, on liikumise kiirus. Siin kohtame jällegi kaht mõistet - keskmine kiirus ja hetkkiirus. Keskmist kiirust arvutame:



Pöördliikumine.

Joonis 39.

Külgliikumine.

$$\bar{v}_n = \frac{s_{n+1} - s_n}{t_{n+1} - t_n} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \left[\frac{m}{s} \right] .$$

Hettkiirus

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} = \dot{s} \left[\frac{m}{s} \right] ,$$

kus s - teepikkus,

t - aeg.

Hettkiirusest sellisel kujul saame rääkida siis, kui vaatleme keha kohamuutust ruumis ja ajas matemaatilise funktsioonina

$$s = f(t) .$$

Sellisel käsitelme liikumise kulgu, kui liikumine on registreeritud pideva funktsioonina.

Pöörelval liikumisel eristatakse kaht kiiruse liiki, s. o. nurkkiirus ja joonkiirus. Nurkkiirus analoogselt eelmisele

$$\bar{\omega}_n = \frac{\alpha_{n+1} - \alpha_n}{t_{n+1} - t_n} = \frac{\Delta \alpha}{\Delta t} \left[\frac{\text{rad}}{s} \right] ,$$

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \alpha}{\Delta t} = \frac{d\alpha}{dt} = \dot{\alpha} \left[\frac{\text{rad}}{s} \right] ,$$

kus α - pöördenurk [rad] .

Joonkiirus

$$\bar{u} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \left[\frac{m}{s} \right] ,$$

$$u = \frac{ds}{dt} = \dot{s} \left[\frac{m}{s} \right] ,$$

kus s - kaare pikkus.

Mõõtes nurka radiaanides saame lihtsa seose joon- ja nurkkiiruse vahel.

$$\text{Et } d\alpha = \frac{ds}{r} , \text{ siis } \omega = \frac{ds}{r \cdot dt} = \frac{u}{r} \left[\frac{\text{rad}}{s} \right] ,$$

kus r - vaadeldava punkti kaugus pöörlemisteljest.

Pöörleva liikumise iseloomustamiseks kasutatakse pöörlemise sageduse või pöörte arvu mõistet

$$n = \frac{\text{täispöörte arv}}{\text{ajadühik}}$$

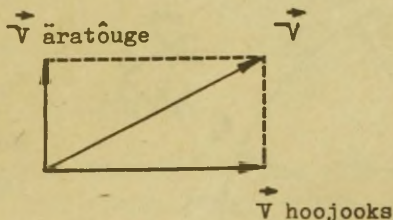
Kui pöörlemine toimub konstantse joonkiirusega, siis kasutame pöörleva liikumise iseloomustamiseks pöörlemise sageduse või pöörte arvu mõistet.

Kui on teada pöörlemise sagedus, siis saame määrata selle järgi joon- ja nurkkiiruse järgmiste seostega:

$$u = \frac{2\pi r}{T} = 2\pi r n \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right];$$

$$\omega = 2\pi n.$$

Et kiirus omab nii suurust kui ka suunda, siis nimetatakse teda vektoriaalseks suuruseks. Kiiruse tähtis vektoriaalkujul on \vec{v} . Kõverjoonelisel liikumisel on kiiruse vektor alati trajektoori puutujasuunaline. Näiteks vasaraheite korral lendab vasar lahtilaskmise momendil pöörlemisringi trajektoori puutuja suunas. Et kiirus on vektoriaalne suurus, siis liituvad kiirused geometriliselt. Nii liituvad heidete ja tõuge-tele hoovõtu ja tõuke või viske kiirused geometriliselt. Hüpote puhul saame tegeliku lennukiiruse suuruse ja suuna, kui liidame geometriliselt hoojooksu ja äratõuke kiirused.



Järgmisena tuleb määrata vaadeldava liikumise juures kiirendus. Analoogselt kiirusele avaldame

$$\bar{a}_n = \frac{v_{n+1} - v_n}{t_{n+1} - t_n} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \left[\frac{m}{s^2} \right],$$

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = \dot{v} \left[\frac{m}{s^2} \right].$$

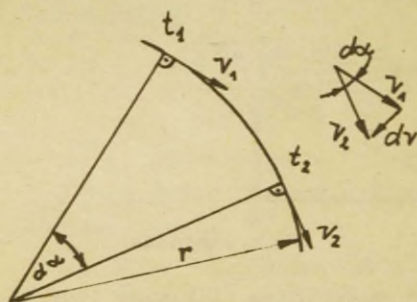
Aeglustuva liikumise korral on meil tegemist negatiivse kiirendusega. Et ka kiirendus on vektoriaalne suurus, siis tähistame kiirenduse \vec{a} .

Kiireneval või ka aeglustuval liikumisel mööda kõverjoonelist trajektoori on otstarbekohane jagada mõjuv kiirendus kaheks komponendiks: tangentsiaal- ja normaalkiirenduseks.

Tangentsiaalkiirendus esineb alati liikumise suunas puutujana trajektoorile ja seetõttu iseloomustab ta ainult liikumise kiiruse arvvaartuse muutumist.

Normaalkiirendus on suunatud alati risti trajektooriga ja moodustab seega puutujasuunalise kiirendusega täisnurga. Normaalkiirendus iseloomustab liikumise kiiruse suuna muutumist ja seega ka trajektoori kaju. Konstantse joonkiirusega pöörleval liikumisel on meil tegemist ainult normaalkiirendusega, tangentsiaalkiirendus võrdub siis nulliga.

Kiirenduse definitsiooni järgi



Joonis 40.

$$t_2 - t_1 \hat{=} dt,$$

$$v_1 = v_2 = v,$$

$$a_n = \frac{dv}{dt},$$

$$d\alpha = \frac{dv}{v}$$

ehk

$$dv = v d\alpha,$$

$$a_n = \frac{v d\alpha}{dt} = v\omega.$$

$$\text{Et } \omega = \frac{v}{r},$$

siis normaalkiirenduse valemile võime anda kuju

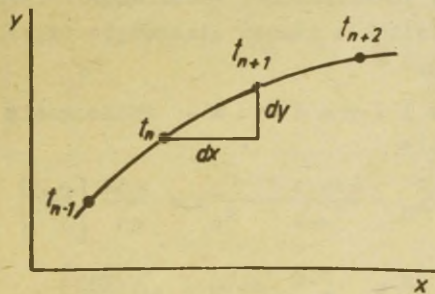
$$a_n = \frac{v^2}{r}$$

või siis

$$a_n = \omega^2 r .$$

Kui $a_n = 0$, siis on tegemist sirgjoonelise liikumisega.

Sellisel kujul on otstarbekohane analüüsida ainult ringliikumist. Kõige rohkem puutume aga tehnika analüüsil kokku tavalise kõverjoonelise liikumisega ning siin osutub kõige ratsionaalsemaks koordinaatide meetod. Koordinaate on otstarbekas kasutada järgmiselt. Esiteks: võtame kaks telge, millest x-telg on horisontaalne ja y-telg eelmisega risti, seega Maa raskuskiirendusega samasihiline. Vaatleme translatoorset liikumist kõverjoonelisel trajektoril.



Joonis 41.

Teiseks: lahutame vaadeldava kõverjoonelise liikumise kaheks sirgjooneliseks liikumiseks. Saadud nihete ja ajavahemike järgi saame arvutada vaadeldava punkti kiiruse komponendid:

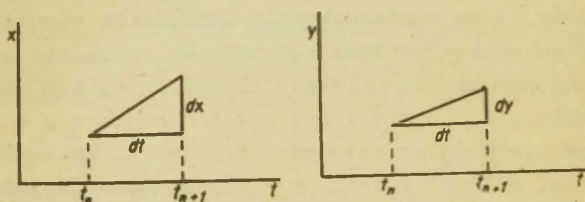
$$v_x = \frac{dx}{dt} = \dot{x} ,$$

$$v_y = \frac{dy}{dt} = \dot{y} .$$

Analoogselt ka kiirendused:

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = \ddot{x} ,$$

$$a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2} = \ddot{y} .$$



Joonis 42.

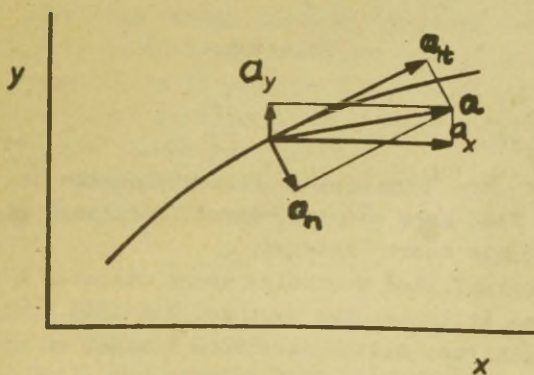
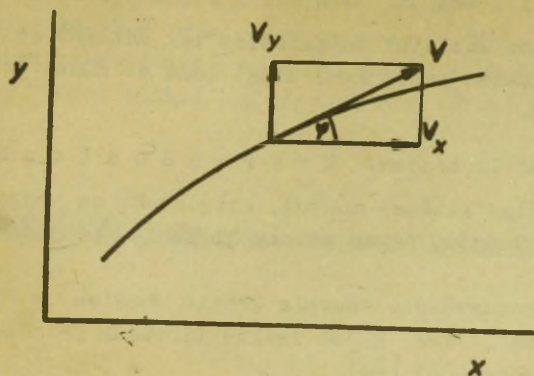
Kolmandaks: leiame saadud komponentide järgi vaadeldava punkti kiiruse ja kiirenduse resultandid. Käsitletud meetod nõuab suhteliselt täpset algandmete (x,y) määramist. (Vt. joonis 43.)

Nurkkiirendus. Analoogselt translatoorsele liikumisele

$$\bar{\epsilon}_n = \frac{\omega_{n+1} - \omega_n}{t_{n+1} - t_n} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \right] ,$$

$$\epsilon = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \dot{\omega} \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \right] .$$

Liikumiste uurimisel määrame kinemaatiliste funktsioonidena tee, kiiruse ja kiirenduse avaldised või graafikud ning leiame vaadeldava liikumise kinemaatilised seaduspärasused.



Joonis 43.

Dünaamika põhiseadused.

Dünaamikas tuleb seni vaadeldud mõistetele lisaks veel jõud. Jõu mõju võib olla dünaamiline või staatiline. Jõud on vektoriaalne suurus. Jõuvektori iseärasuseks on asjaolu, et teda võib piki mõjusirget nihutada. Jõuühikuks on njuuton (N). Oma kolme aksioomiga pani Newton (1643 - 1727) aluse klassikalisele mehaanikale.

Newtoni I seadus. I n e r t s i s e a d u s .

Iga keha säilitab paigalseisu või ühtlase ja sirgjoonelise liikumise seni, kuni mingi jõud ei sunni seda olekut muutma.

Newtoni II seadus. K i i r e n d u s l a u s e .

Liikumise kiiruse muutus, kiirendus, on proportsionaalne ja suunatud samas suunas liikumist põhjustava jõuga. $F = ma$.

Maa raskusväljas asuvale kehale massiga m mõjub jõud $G = mg$, kus g on raskuskiirendus ja meie laiuskraadil võrdne $9,81 \left[\frac{m}{s^2} \right]$.

Korrutades avaldise $F = ma$ mõlemat poolt ajaga t , saame

$$Ft = mat .$$

Kui $mat = mV$,

siis $Ft = mV$,

kus suurust mV nimetatakse liikumishulgaks ja Ft jõuimpulsiks. Need kaks mõistet omavad liigutuste biomehaanilises analüüsis suurt tähtsust.

Dünamograafilise meetodiga saame määrata $F = f(t)$ ning sellest liikumishulga muutuse. Kui meid huvitab aga ainult lõppkiirus, mitte kiirenduse muutus, on analüüs lihtsam.

Newtoni III seadus. V a s t a s t i k u s e m õ j u l a u s e .

Jõud, millega kaks keha mõjuvad teineteisele, on suuruselt võrdsed ja suunalt vastupidised.

Siit võime järeldada, et jõud iseloomustab alati kahe keha vastastikust mõju. Vastasel korral on tegemist vabalt liikuva kehaga. III seaduse abil saame lahendada ka enami-ku staatika ülesandeid.

Impulsslause: suletud süsteemi koguimpulss jääb alati konstantseks. See lause näitab impulsi jäävust. Impulsi ülekandumise näide (vt. joonis 44). Liikuma hakkab viimane kuul, sest teised andsid oma impulsi üle järgmisele.



Joonis 44.

Kui masspunktile mõjuvad üheaegselt mitu jõudu, siis masspunkti kiirendus võrdub nende kiirenduste vektoriaalse summaga, mida tekitab iga jõud üksikult mõjudes. Üsikiuid jõude saame liita ja neid ka lahutada.

Biomehaanilisel analüüsil kasutatakse sageli töö, kiineetilise energia ja võimsuse mõisteid.

Inimese poolt tehtud mehaanilist tööd mingi keha asukoha muutmiseks Maa raskusväljas võime arvutada valemiga

$$A = Ph + E + A_t ,$$

kus P - keha raskusjõud,

h - keha asukoha kõrguste vahe,

E - kineetiline energia keha liikumisel,

A_t - töö, mida tehakse keskkonna takistuse ületamiseks.

Jagades tehtud töö selleks kulutatud ajaga, saame võimsuse

$$N = \frac{A}{t} .$$

2. INIMESE KEHAASENDITE BIOMEHAANILISEL ANALÜÜSIL KASUTATAVAD MÕISTED.

2.1. Raskuskese.

Inimese keha raskuskeskmeks nimetatakse sellist punkti, kus inimese keha raskusjõuga võrdse jõu rakendamine tasakaalustab kõigi kehaosade raskusjõudude resultandi. Raskuskese on abstraktne mõiste. Olenevalt kehaasendist võib raskuskese ümber paikneda skeleti suhtes.

Inimese kehaosade raskusjõudude resultant on suunatud vertikaalselt maapinnaga, läbib raskuskeskme ning on suuruselt võrdne keha kaaluga.

Kui meid huvitavad liikumise analüüsil ainult kinemaatilised tunnused, siis võime kujutada inimese keha masspunktina, kuhu on koondatud kogu keha mass.

Massi jaotus inimese kehas on selline, et algseisus asub raskuskese 0,56 osa kaugusel aluspinnast keha pikkusest arvates, paiknedes teise sakraallüli kõrgusel ristluukanalis. Erinevate kehaasendite korral võib raskuskese asuda isegi väljaspool keha.

2.2. Raskuskeskme analüütiline määramine.

Raskuskeskme analüütiliseks määramiseks kasutame koordinaatide meetodit. Määrame raskuskeskme koordinaatide väärtused (X_0 ; Y_0) .

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^n p_i x_i}{P} ,$$

$$Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n p_i y_i}{P} ,$$

neis valemites P - keha kaal (N),

p_i - keha osa kaal (N),

x_i - keha osa raskuskeskme abstsiss (mm),

y_i - keha osa raskuskeskme ordinaat (mm).

Kõige mugavam on selliselt määrata inimese keha raskuskeskme asukohta kinogrammi kaadril. Seda teostatakse järgmiselt.

Esiteks, kanname kaadrile koordinaatteljed x ja y . Teiseks, leiame keha osade raskused.

Selleks korrutame kaadril kujutatud sportlase kaalu vastavate keha osade suhtelise kaalu protsendiga (Fircheri järgi)

pea	7,06 %	või teguriga	0,0706
kere	42,70 %	"	0,4270
õlavars	3,36 %	"	0,0336
küünarvars	2,28 %	"	0,0228
labakäsi	0,84 %	"	0,0084
reis	11,58 %	"	0,1158
säär	5,27 %	"	0,0527
labajalg	1,79 %	"	0,0179.

Kolmandaks, mõõdame keha osade pikkused (mm), mõõtes kaugusi liigeste telgedest, v. a. pea ja labakäsi.

Neljandaks, määrame kindlaks keha osade raskuskeskmed, korrutades keha osa pikkuse raskuskeskme asukoha suhtelise kaugusega, arvestades proksimaalsest otsast (vt. joonis 45). Kanname ristikesega joonisele keha osa raskuskeskme asukoha. Pea raskuskese asub profiilis väliskõrva kohal. Plaanis (eestvaates) aga nina nõgususel silmade vahel. Labakäe raskuskese asub pihus III sõrme all. Keha osade raskuskeskmete asukohad võib enne filmimist kanda inimese kehale, sellisel juhul kolmas ja neljas ülesanne jäävad ära.

Viiendaks, mõõdame keha osa raskuskeskme abstsissi (mm) ja korrutame selle vastava kehaosa kaaluga. Saame kehaosa raskusjõu momendi ordinaattelje suhtes.

Kuueandaks, mõõdame keha osa raskuskeskme ordinaadi (mm) ja korrutame selle vastava kehaosa kaaluga. Saame vastava kehaosa raskusjõu momendi abstsissitelje suhtes.

Seitsmendaks, liidame keha osade raskusjõudude momendid ja saame $\sum_{i=1}^n p_i x_i$ ja $\sum_{i=1}^n p_i y_i$. Et $X_0 \cdot P = \sum_{i=1}^n p_i x_i$ ja

$Y_0^P = \sum_{i=1}^n p_i y_i$, siit leiame X_0 ja Y_0 .

Kaheksandaks, kanname leitud koordinaadid kinogrammi kaadrile.

Praktilistes arvestustes võime kasutada lihtsamaid valemeid:

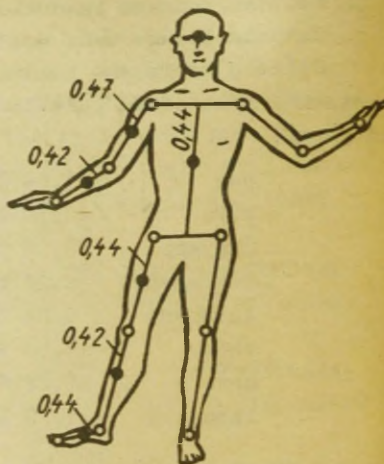
$$X_0 = \sum_{i=1}^n \mu_i x_i$$

ja

$$Y_0 = \sum_{i=1}^n \mu_i y_i,$$

kuna

$$\frac{p_i}{P} = \mu_i.$$

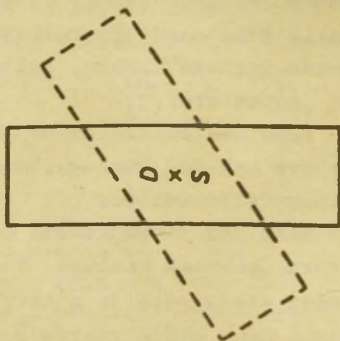


Joonis 45.

2.3. Tasakaal.

A. Indiferentne tasakaal.

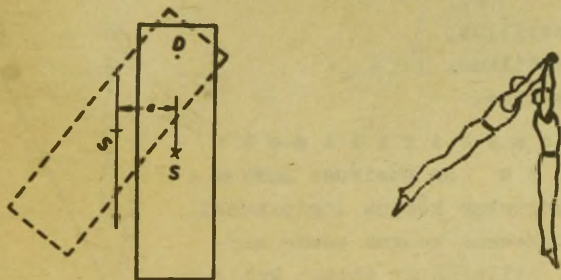
Sellisel juhul toetuspunkt asub raskuskeskmes. Kehale uue asendi andmisel keha jääb sellesse asendisse (vt. joonis 46).



Joonis 46.

B. Stabiilne tasakaal.

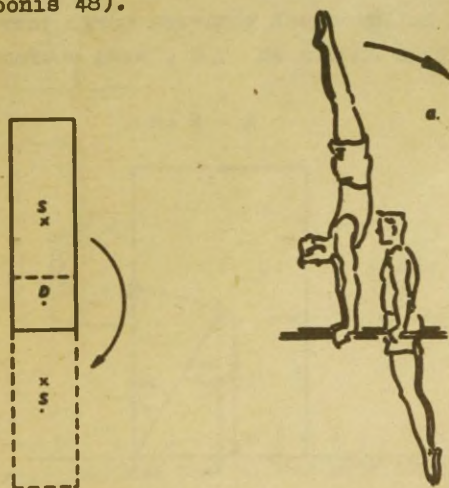
Siin toetuspunkt asub ülevalpool raskuskeset. Kehale uue asendi andmisel pöörduv see pärast kallutamist endisesse asendisse tagasi. Näiteks ripe (vt. joonis 47).



Joonis 47.

C. Labiilne tasakaal.

Toetuspunkt asub allpool raskuskeset. Näiteks kätelseis (vt. joonis 48).



Joonis 48.

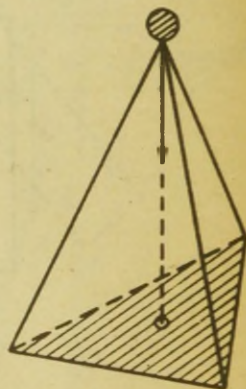
2.4. Püsivus.

Toetuspunktide poolt piiratud pinda nimetatakse tugipinnaks. Kui keha raskuskeskme projektsioon langeb tugipinnale, siis on tegemist püsiva tasakaaluga (vt. joonis 49). Püsivuse mõõte on kolm:

- geomeetriline,
- energeetiline,
- dünaamiline.

Geomeetriliseks mõõdukse on püsivuse nurk α .
 h - raskuskeskme kõrgus tugipinnast.
 S - raskuskeskme kaugus eseme servast, mille ümber toimub kallutus.

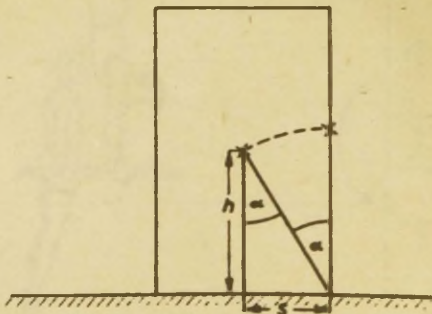
$$\alpha = \arctg \frac{S}{h}.$$



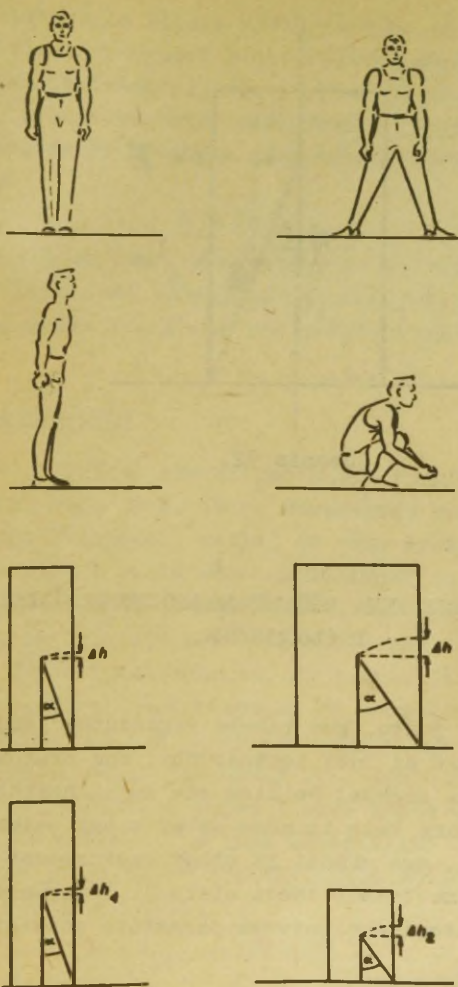
Joonis 49.

Energeetilise mõõdu all mõistetakse töö hulka, mida tehakse raskuskeskme tõstmiseks keha kallutamisel püsivuse nurga võrra (joonis 51).
 $\Delta h_2 > \Delta h_1$, mida suurem on Δh , seda suurem on ka püsivus.

$$A = P \Delta h.$$

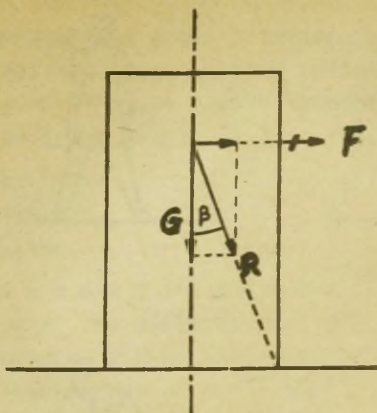


Joonis 50.



Joonis 51.

D ü n a a m i l i s e m ô ô d u a l l m ô i s t a m e k a l -
 l u t a v a j ô u s u u r u s t . K u i R o n s u u n a t u d t o e p i n d a , o n t e g s -
 m i s t t a s a k a a l u g a , k u i v ä l j a p o o l e , k a o b t a s a k a a l (v t . j o o -
 n i s 5 2) .



Joonis 52.

3. INIMESE KEHA PÖÖRLEMISLIIGUTUSTE ÜLDINE ISELOOMUSTUS.

Vaatleme juhtu, kus kehale rakendatud jõudude resultandi mõjusirge ei läbi toetuspunkti toe olukorras ja raskuskeset toeta olekus. Sellise jõu mõjul hakkab keha pöörlema. Pöörlemine võib toimuda ümber mingi paigalseisva telje või punkti, aga samuti ka ümber raskuskeset läbiva telje (kui pöörlemine toimub toeta olekus). Pöörlemisliigutuste olemuse selgitamiseks tutvume järgmiste mõistetega.

3. 1. Jõu moment.

Momendi mõistega oleme juba eespool käsitletud lõikes kokku puutunud. Selle all mõistame jõuvektori ja tema kauguse korrutist tugipunktist (pöörlemisteljest). Staaticas tähistatakse neid kui jõu - või paindemomente. Nad kutsuvad esile paindepingeid. Nn. pöördemoment tekib siis, kui

jõud vabalt liikuvale kehale mõjub ja tema mõjusirge raskuskeskmest mingil kaugusel asub. Pöördemoment annab jäigale kehale nurkkiirenduse, s. t. paneb keha kiirendatud pöörlevasse liikumisse ümber raskuskeset läbiva pöörlemistelje. Pöördemomendi arvutame jõumomendi valemile analoogilise valemiga

$$M = Fr$$

ja dimensiooniks on /Nm/. Kaks erineva suurusega jõudu võivad seega ka võrdse pöördemomendi esile kutsuda, kui nende õlad suhtuvad teineteisesse pöördvõrdeliselt jõu väärtustega.

3.2. Inertsmoment.

Vaatleme jooksjat, kes liigub mööda ringteed. Ringtee läbimõõduks olgu 10 m. Teine samasuguse massiga jooksja liigub teisel ringteel, millel on sama keskpunkt nagu esimesel, aga ainult poole väiksem läbimõõt (5 m). Mõlemad jooksevad pidevalt nii, et keskpunkt, sisemine jooksja ja välimine jooksja asuksid ühel sirgel. Seega omavad mõlemad jooksjad võrdset nurkkiirust, s. t. nad läbivad võrdse ajavahemiku vältel võrdse nurga. Et seda tingimust tagada, peab väline jooksja pikema tee tõttu suurema joonkiirusega jooksuma. Joon- ja nurkkiiruse vahelise seose järgi peab tema joonkiirus täpselt kaks korda suurem olema kui sisemisel jooksjal ja tema kineetiline energia omab, sisemisel rajal jooksjaga võrreldes, isegi neljakordset väärtust. See selgub võrrandist

$$E_{\text{kin}} = 1/2 mV^2.$$

See saab veelgi selgemaks, kui energiavõrrandit teisendada, et raadiuse mõju oleks selgemini näha.

Niisiis muutub kineetiline energia pöörleval liikumisel võrdeliselt ringtee raadiuse ruuduga. Mingi keha pöörlemisel (võimleja kangil) omandavad selle keha üksikud punktid erinevaid kaugusi (raadiusi) pöörlemisteljest ja seetõttu omavad need kehaosad ka suuri erinevusi energia väärtustega.

tustes. Kõigi masspunktide energiaväärtuste summa annab pöörleva keha kogu kineetilise energia. Kui kaks võrdse massiga keha pöörlevad võrdse nurkkiirusega, siis nende koguenergia võib olla täiesti erinev, sest nende kehade kuju ei ole sarnane. Translatoorsel liikumisel on võrdsete masside ja liikumiskiirustega kehad aga võrdse energiaväärtusega.

Keha kuju mõju pöörlevale liikumisele väljendatakse inertsmomenti kaudu.

Translatsioon

$$E_{\text{kin}} = 1/2 mV^2.$$

Rotatsioon

$$E_{\text{kin}} = 1/2 mr^2\omega^2.$$

Tähistame $mr^2 = I$, siis saame kineetilise energia avaldistele anda sarnase kuju

$$E_{\text{kin}} = 1/2 mV^2.$$

$$E_{\text{kin}} = 1/2 I\omega^2.$$

Masspunkti, mis asub pöörlemisteljest kaugusel r , inertsmomenti matemaatiline avaldis on $I = mr^2$.

Kogu pöörleva keha kohta

$$I_0 = \sum_{i=1}^n I_i = \sum_{i=1}^n \Delta m_i r_i^2,$$

kui

$$\Delta m \rightarrow 0,$$

siis

$$I_0 = \int r^2 dm \text{ ning } dm = \rho dx dy dz,$$

kus ρ - tihedus.

Dimensiooniks on $/\text{kgm}^2/$.

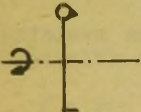

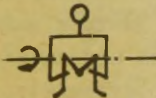

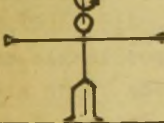
Kui keha pöörlemistelg asub raskuskeskmest kaugusel a ja mõlemad teljed on omavahel paralleelsed, siis arvutame inertsmomenti valemiga

$$I_{\text{pöörlemistelg}} = I_{\text{raskuskesk}} + a^2 m.$$

Seega inimese inertsmoment on väiksem, kui ta pöörleb ümber telje, mis läbib raskuskeset. Inimese inertsmoment on

kõige suurem siis, kui ta sooritab näiteks kangil suuri hõõre.

Korrapäraste geomeetriliste kehade korral, mis omavad konstantset tihedust, on inertsmomenti arvutamine lihtsam. Inimese keha inertsmomenti on matemaatiliselt väga raske arvutada, kuid rida eksperimentaalseid meetodeid võimaldavad seda teha küllaldase täpsusega.

Keha asend	Pöörlemistelg	Inertsmomenti väärtus (kg m ²)
	mediaantelg	12,0 ÷ 15,0
	frontaaltelg	10,5 ÷ 13,0
	frontaaltelg	4,0 ÷ 5,0
	püsttelg	1,0 ÷ 1,2
	püsttelg	2,0 ÷ 2,5

Joonis 53.

3.3. Liikumishulga moment.

Jõumoment paneb keha kiirendatud pöörlevasse liikumisse. Translatoorisel liikumisel mõjub kehale jõud, mis muudab keha liikumise iseloomu. Jõumomendi ja keha nurkkiirenduse vahelise seose võime konstantse jõumomendi korral avaldada kujul

$$M = I\mathcal{E} [\text{Nm}] .$$

Liikumishulga momendi saame siis, kui eelmist avaldist korrutame jõu momendi mõjumise ajaga

$$M t = I\omega [\text{Nms}] . \text{ Algnurkkiirus on null.}$$

Üldjuhul liikumishulga momendi muutuse saame avaldisest

$$\int_{t_1}^{t_2} M(t) dt = I(\omega_2 - \omega_1) ,$$

kusjuures peab olema teada jõumomendi muutumise seadus aja-funktsioonina.

Mingile kehale pöörlemiskiirusega ω_2 mõjus jõumoment ajavahemikul t_1 kuni t_2 ja keha sai uueks pöörlemiskiiruseks ω_2 . Liikumishulga momendi jäävuse seadus väidab, et kui kehale ei mõju välisjõude või nad on niisugused, et nende resultaat ei anna momenti pöörlemistelje suhtes, siis

$$I\omega = \text{const.}$$

Newtoni I seaduse järgi liigub iga keha ühtlaselt ja sirgjooneliselt, kui teda ei mõjusta mingi jõud. Pöörleval liikumisel ei liigu keha mitte mööda sirgjoont, järelikult peab olema mingi jõud, mis pidevalt mõjub pöörlevale kehale, hoides teda ringjoonelisel trajektoorigil. Seda jõudu nimetatakse kesktõmbe- e. tsentripetaal- jõuks. Matemaatiline avaldis selle jõu kohta oleks

$$\begin{aligned} F_n &= m a_n, \text{ kusjuures} \\ a_n &= \omega^2 r = \frac{v^2}{r} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right], \\ F_n &= m \frac{v^2}{r} [\text{N}] . \end{aligned}$$

Liikumistrajektoori puutuja suunas mõjub jõud

$$F_{\text{tan}} = m a_{\text{tan}},$$

$$a_{\text{tan}} = r \varepsilon \text{ ja } F_{\text{tan}} = m r \varepsilon.$$

Kogukiirenduse saame

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_{\text{tan}}^2} = r \sqrt{\varepsilon^2 + \omega^4}.$$

Jõud

$$F = m \cdot r \sqrt{\varepsilon^2 + \omega^4}.$$

Dünaamika põhiseadus

translatsioonil

$$F = m a$$

rotatsioonil

$$M = I \varepsilon$$

Võrdlev tabel

Translatsioon	Rotatsioon
S [m] teepikkus	α [rad] nurk
v [$\frac{m}{s}$] kiirus	ω [$\frac{rad}{s}$] nurkkiirus
a [$\frac{m}{s^2}$] kiirendus	ε [$\frac{rad}{s^2}$] nurkkiirendus
F [N] jõud	M [N m] jõumoment
m [kg] mass	I [kg m ²] inerts- moment
mv [$\frac{kg \cdot m}{s}$] liikumishulk	$I\omega$ [$\frac{kg \cdot m^2}{s}$] liikumis- hulga moment
S (N · s) jõuimpulss	S_z (N · m · s) jõumomendi impulss

4. VÄLIMISED JA SISEMISED JÕUD KEHALISTE HARJUTUSTE SOORITAMISEL.

4.1. Raskusjõud.

Maa raskusväli avaldub potentsiaalse funktsioonina. Maa raskuskiirendust võime väljendada järgmise valemiga

$$g = k \frac{M}{r^2},$$

- kus k - gravitatsioonikonstant (on konst.),
 M - Maa mass (on konst.),
 r - Maa raadius (ei ole konst.).

Asjaolu, et Maa ei ole täpselt kerakujuline ning et maapinnal esinevad ebataasasused (mäed), saame g väärtusteks erinevaid suurusi (r esineb valemis ruudus).

Peale selle mõjub igale kehale maapinnal Maakera pöörlemine. Inerti seaduse järgi vastab iga keha Maakera pöörlemisele tsentrifugaaljõuga. Nii on ekvaatoril raskusjõud ja tsentrifugaaljõud suunatud vastupidiselt ning kehale massiga m mõjub jõud $G - Z_0$. Poolusel on aga tsentrifugaaljõud võrdne nulliga ning seetõttu kehale mõjuv jõud on võrdne G -ga.

Tsentrifugaaljõu väärtuse ekvaatoril võime arvutada valemiga

$$Z = m\omega^2 r.$$

Mingis vahepealses punktis mõjub tsentrifugaaljõud

$$Z_\varphi = m\omega^2 r \cos \varphi,$$

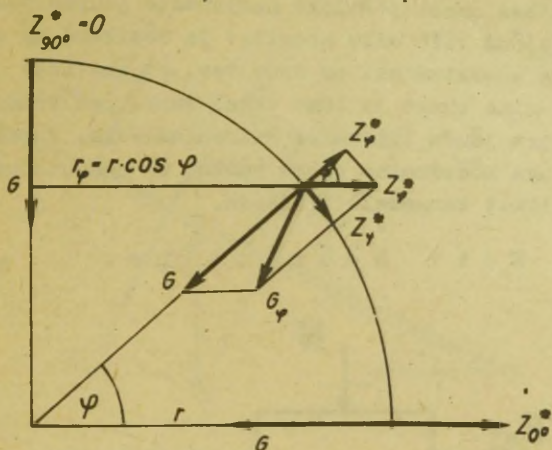
kus φ - geograafiline laius.

Maa raskusjõu G suunalise tsentrifugaaljõu leiame:

$$Z_\varphi \text{ normaal} = Z_\varphi \cos \varphi = Z \cos^2 \varphi.$$

Massi m kaaluks G_φ vaadeldavas punktis saame

$$G_\varphi = G - Z \cos^2 \varphi .$$



Joonis 54.

Kokkuvõttes võib öelda, et raskusjõud mõjub kehale tema raskuskeskmes. Jõu mõjumise suund on alati risti maapinnaga. Raskusjõu väärtuse arvutamise dünaamika põhiseaduse järgi

$$G = mg \text{ [N]}$$

ja

$$g = 9,81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] .$$

Täpsematel arvutustel, kus arvestame geograafilise laiusse mõju

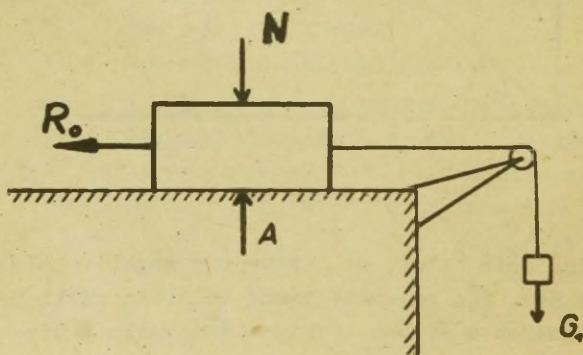
$$g_\varphi = 9,8309 \left(1 - \frac{1}{191} \cos^2 \varphi \right) \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] .$$

Arvutustes, kus võtame arvesse ka Maakera raadiuse erinevused, saame raskuskiirenduse väärtuse arvutada eeltoodud meetodika järgi.

4.2. Hõõrdejõud.

Hõõrdejõud omab sportlike harjutuste juures suurt tähtsust. Hõõrdejõud võib olla soovitatav ja mõnikord ka ebasoovitatav. Näiteks suusatamisel on soovitatav, et äratõuke faasis oleks hõõrdumine suusa ja lume vahel suur. See võimaldaks kasutada suurt jõudu liikumise kiirendamiseks. Pärast tõuget peaks aga hõõrdumine olema väike, et saavutatud kiirusega võimalikult kaugemale libiseda.

4.2.1. K u i v h õ õ r d u m i n e .



Joonis 55.

$$N - A = 0 : G_1 - R_o = 0$$

Hõõrdejõud

$$R_o = \mu_o N,$$

kus μ_o - hõõrdumiskoefitsient,

N - toepinna normaalisuunaline jõud.

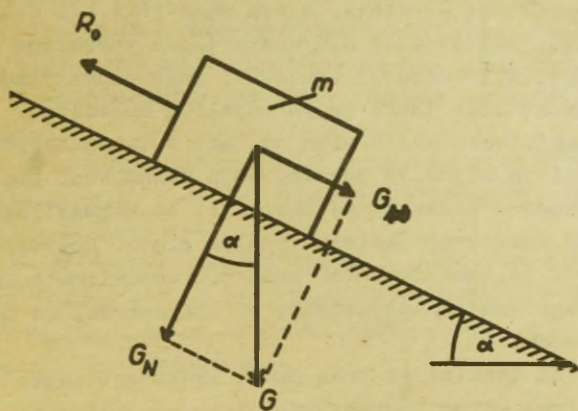
Kaldpinnal asuv keha on tasakaalus, kui $R_o \geq G_H$.

Vaatleme juhtu, kus $R_o = G_H$.

Et $N = G_N$, siis $G_H = \mu_o G_N$, samuti võime kirju-

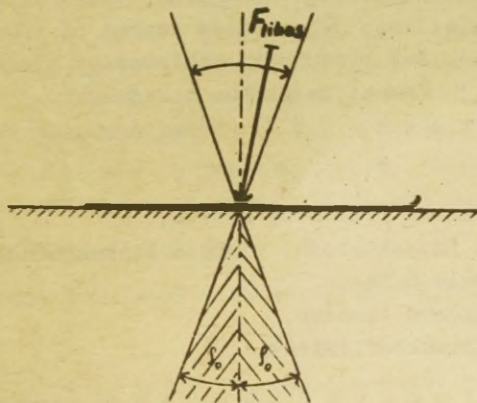
tada, et $\frac{G_H}{G_N} = \tan \alpha$. Eelmisest avaldisest saame $\mu_o = \frac{G_H}{G_N}$.

seega $\tan \rho_0 = \mu_0$. Antud juhul α võrdub hõõrdenurgaga ρ_0 ja $\text{tg } \rho_0 = \mu_0$.



Joonis 56.

Niikaua, kui jõud F_{lihas} jääb oma asendilt hõõrdenurga poolt piiratud alasse, ei ole tähtis, millised on jõu väärtused, sest hõõrdejõuga vastassuunaline komponent tasakaalustatakse hõõrdejõuga.



Joonis 57.

Kuidas tegelikult lahendatakse suusatamisel vastukäivad nõuded libisemise kohta. Suusa kaju ei ole sirgjooneline ja keskmine osa surutakse vastu maad siis, kui suusale rakendatakse suhteliselt suuremaid jõude võrreldes edasilibisemisega. Nii toetubki äratoukel kogu suusa pind lumele ja keskkohat loob tõuke jaoks vajaliku hõõrdejõu.

Biomehaaniliseks analüüsiks on tähtis teada hõõrdejõu rakenduspunkti ja mõjumise suunda. Mõju suund asub alati hõõrduvate pindade kokkupuutejoonel nii, et normaaljõud ja hõõrdejõud asetsevad üksteise suhtes risti. Hõõrdejõu rakenduspunkti leiame nimetatud kahe jõu mõjusirgete lõikepunktis. Nagu vaadeldust selgub, ei saa hõõrdejõud moodustada jõumomenti.

Hüpetel on tähtis, et keha pärast äratouget omaks ka pöörlemiskiirust. Ilma hõõrdejõuta oleks see võimatu.

4.3. Aero- ja hüdrodünaamilised jõud.

Keha liikumisel õhus või vees avaldavad need selle liikumisele mõju. Õhu- ja veetakistus vähendavad keha liikumise kiirust. Paljudel spordialadel on õhk ja vesi keskkondadeks, millele toetutakse kehale kiirenduse andmisel.

Õhu ja vee takistus ei erine põhijoontes teineteisest. Mõlemad on dünaamilised jõud, mille suurus ja suund olenevad liikumise (voolamise) kiirusest, takistavast pinnast, liikuva keha kujust ja samuti keskkonna tihedusest.

T a k i s t a v a j õ u võime arvutada valemiga

$$F = 1/2 \rho c S V^2,$$

kus V - keskkonna liikumise kiirus,

S - keha projektsiooni pindala liikumissuunaga risti-olevale pinnale,

ρ - keskkonna tihedus,

c - takistuskoeffitsient.

T a k i s t u s k o e f i t s i e n t oleneb keha kujust. Keskkonna liikumise kiirustel alla 1 m/s ei muutu ta-

kistusjõu suurus võrdeliselt kiiruse ruuduga, vaid lineaarselt. Kiirustel üle 100 m/s ei ole jälle kehtiv ruutsõltuvus.

Kui liikumised osutuvad õhu suhtes aeglasteks (alla 2 m/s), siis võib õhu takistusjõude jätta vaatluse alt välja. Vee takistusest tingitud jõude peame aga alati arvestama.

Keha asendil teatud nurga all mõjub keha liikumisele peale takistusjõu veel nn. tõstejõud. Suusahüpetel ja ujumisel kasutatakse seda jõudu.

Vee- ja õhutakistusjõu korral ei saa rääkida selle jõu rakenduspunktist, sest takistusjõud esineb siin pinna surve näol. Tinglikult võime asendada surve jõuga, mis on rakendatud pinna raskuskeskmesse.

4.4. Väliste ja sisemiste jõudude vahetõrge kehalistel harjutustel.

4.4.1. Üldised mõisted.

Väliseid jõude võime liigitada aktiivseteks ja passiivseteks. Selline jaotamine võimaldab biomehaanilisel analüüsil paremini mõista üksikute jõudude füüsikalist sisu.

Aktiivsete välisjõudude all mõistame selliseid jõude, mis mõjutavad kehade liikumist või olekut, vaatamata nende liikumise iseloomule. Näiteks raskusjõud (ta on alati n.-õ. aktsioonis. Passiivsed välisjõud on toereaktsioonid, hõõrdejõud, õhu- ja veetakistusjõud, teiste kehade inertsjõud. Need on sellised jõud, mis mõjutavad liikumist nagu reaktsioon aktsiooni.

D'Alembert'i printsip.

Klassikalise mehaanika teise põhiseaduse järgi

$$F = ma .$$

Tähistame aktiivseid jõude F_a ja passiivseid reaktsioonijõude F_r , siis võime kirjutada:

$$F = F_a + F_r ,$$

$$F_a + F_r = ma ,$$

$$F_a + F_r - ma = 0 . (1)$$

Suurst -ma tähistatakse meetodilistest seisukohtadest F_{in} ja nimetatakse masspunkti inertsjõuks.

I n e r t s on keha omadus osutada vastupanu liikumise iseloomu muutusele.

$$F_{in} = -ma .$$

Võrrandit (1) võime kirjutada uuel kujul

$$F_a + F_r + F_{in} = 0 .$$

See tähendab, et kolm jõudu F_a , F_r ja F_{in} , kui nad oleksid rakendatud masspunktile (näiteks raskuskese), ei avalda sellele liikumisele mingit mõju, teiste sõnadega - nad moodustavad tasakaalustuva jõusüsteemi.

Võimegi sõnastada **D ' A l e m b e r t ' i p r i n t - s i i b i** .

Kehale mõjuvad jõud (nii aktiivsed kui ka reaktsioonijõud) koos keha inertsjõuga moodustavad igal ajahetkel tasakaalustuva jõusüsteemi.

Masspunkti inertsjõud pole masspunktile tõeliselt rakendatud, vaid on teatav matemaatiline suurus, mille tõlgendamine jõuna võimaldab teist põhiseadust väljendada staatika tasakaalutingimuste eeskujul. See aga võimaldab dünaamika ülesannete lahendamisel kasutada staatika meetodeid.

Kui masspunktile mõjuvad mitu aktiivset ja mitu reaktsioonijõudu, siis

$$\sum_{i=1}^n F_i - ma = 0 .$$

Valemi kuju ristkoordinaatides on järgmine:

$$\sum_{i=1}^n F_{x_i} - ma_x = 0 ,$$

$$\sum_{i=1}^n F_{y_i} - ma_y = 0 ,$$

$$\sum_{i=1}^n F_{z_i} - ma_z = 0 .$$

Pöörleva liikumise jaoks

$$\sum_{i=1}^n M_i - I\dot{\epsilon} = 0 .$$

4.4.2. Jõu mõju risti toe pinnaga läbi keha raskuskeskme.

Vaatleme antud juhtumit näite varal.

Vaadeldaval juhul mõjub resulteeruv lihaste jõud F^* risti toe pinnaga. Horisontaalset hõõrdejõudu ei esine ja seega jõu mõjumise suund läbib raskuskeskpunkti. Peale lihaste jõu F ja F^* esineb veel raskusjõud P aktiivse jõuna ning toepinna reaktsioon R passiivse jõuna. Inertsjõud - ma esineb fiktiivse jõuna. Võttes mõjusirgel suuna ülespoole positiivsena, saame välja kirjutada järgmise võrrandi:

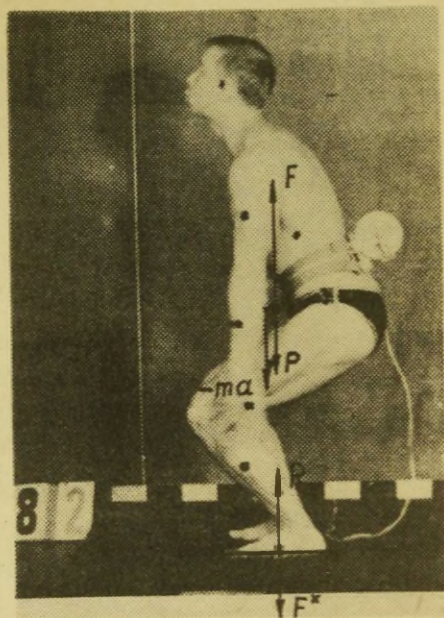
$$R + F - P - F^* - ma = 0 .$$

Jõud R ja F^* on väärtuselt võrdsed. Et R ja F^* on võrdse väärtusega ning suunalt vastupidised, siis annavad nad summas nulli ja jäävad seega edaspidise vaatluse alt välja.

$$F - P - ma = 0 .$$

Saamegi avaldada jõudude poolt kehale antud kiirenduse väärtuse

$$a = \frac{1}{m} (F - P) .$$

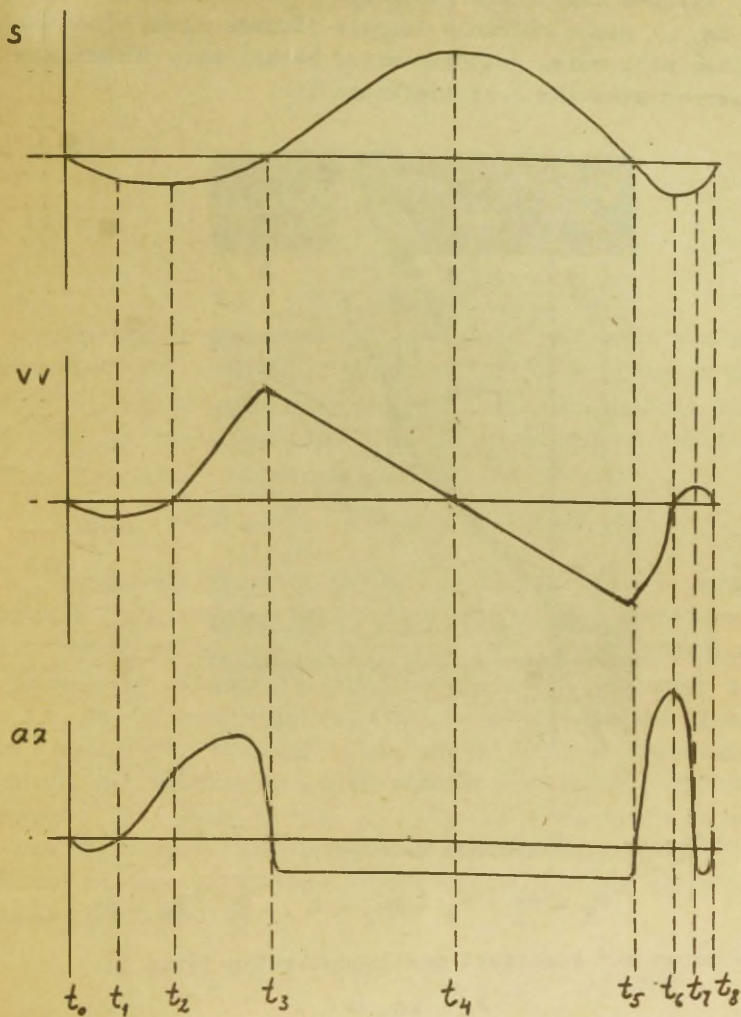


Joonis 58.

Joonestame tee, kiiruse ja kiirenduse graafikud üleshüppe juhtumi kohta, mil tõukejõud läbib keha raskuskeset (joon. 59).

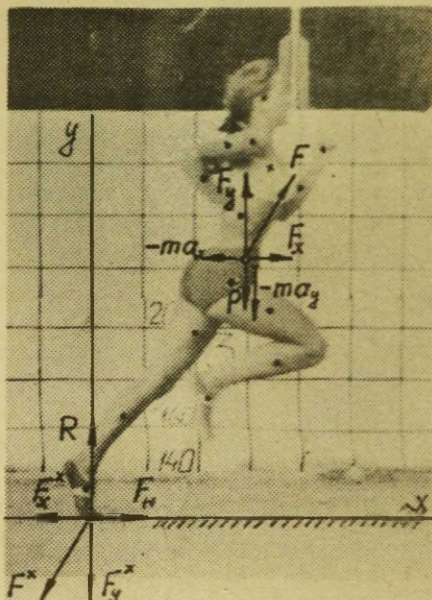
4.4.3. Jõu mõju kaldu toe - pinnaga .

Võtame konkreetse näite. Vaatleme mõjuvaid jõudusid jooksu momendil, mil tõukejalg lõpetab tõuet (lahkub maapinnalt). Käsitleme, lihtsuse mõttes, jõude lahutatuna komponentideks kahele ristiseisvale teljele. Erinevalt eelmisest juhust tekib siin alati hõõrdejõud F_H , tänu millele on võimalik tõukejalal saada tuge tõuke sooritamiseks.



Joonis 59.

Lisades tegelikele jõududele juurde inertsjõud $-ma_x$ ja $-ma_y$, saame mõlemale teljele jõudude summa võrdseks nulliga ning võime vaadelda antud hetkel seda dünaamika ülesannet staatika reeglite kohaselt.



Joonis 60.

Jõudude projektsioon x-teljele.

$$F_H - F_x^* + F_x - ma_x = 0, \text{ et } F_H = F_x^*,$$

siis võime nad edasisest vaatlusest välja jätta ja

$$F_x - ma_x = 0$$

ning

$$a_x = \frac{F_x}{m}.$$

y-telje suhtes saame eelmises punktis vaadeldud juhule analoogilise avaldise.

$$R + F_y - F_y^* - P - ma_y = 0 ,$$

et

$$R = F_y^* ,$$

siis

$$F_y - P - ma_y = 0$$

ja

$$a_y = \frac{F_y - P}{m} .$$

Kiirenduse komponent a_x oleneb võrdeliselt jõu komponendist F_x ning pöördvõrdeliselt liikumapandavast massist m . Kiirenduse komponent a_y aga võrdeliselt lihaskõu F_y ja raskuskõu P vahest ning pöördvõrdeliselt massist m .

4.4.4. Pöörlev liikumine .

Järgnevalt vaatleme juhtu, kus lihaste jõu F mõjusirge ei läbi raskuskeset. Selline äratõuge on soovitatav juhul, kui sportlane tahab samaaegselt kulgevale liikumisele ka pöörlevat liikumist saada. Translatoorse liikumise kohta x ja y suundades kehtivad eespool vaadeldud kiirenduse avaldised. Tuletame valemi nurkkiirenduse arvutamise jaoks. Täiendavalt on juurde tulnud pöörlemise inertsijõumoment $- I\epsilon$. Jõud P ja F_x läbivad raskuskeset ja seetõttu ei moodusta pöördemomenti raskuskeskme suhtes. Ülejäänud jõudude poolt moodustatud momendid võime välja kirjutada võrrandi kujul:

$$F_y^* X_s + F_H h - F_x^* h - R X_s - F_y X - I\epsilon = 0 ,$$

et

$$F_x^* = F_H \quad \text{ja} \quad F_y^* = R ,$$

siis

$$F = F_y$$

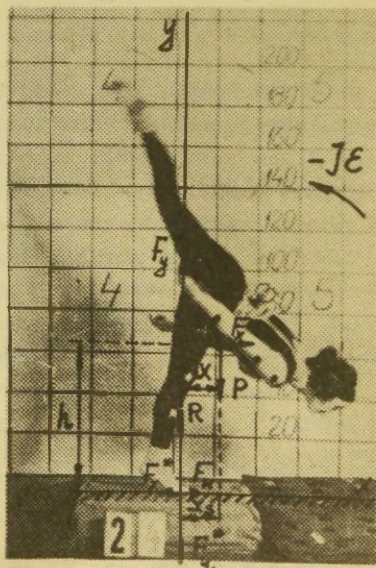
saame

$$-F_y X - I \varepsilon = 0$$

ning

$$\varepsilon = - \frac{F_y X}{I} .$$

Miinusmärk näitab, et pöörlemise suund on kellaosuti liikumise suunaline. Mida suuremad on F_y või siis X , seda suurema nurkkiirenduse ε saame, kuna I on praktiliselt antud juhul konstantne ühe sportlase korral. Et F_y oleneb lihaste jõust, siis tavaliselt kõige parem on valida sobiv nurkkiirenduse väärtus vastava kehaasendi valikuga äratõukel. Samaaegselt tuleb silmas pidada asjaolu, et mida suurem on ε , seda väiksem on horisontaalkiirus pärast äratõuget.

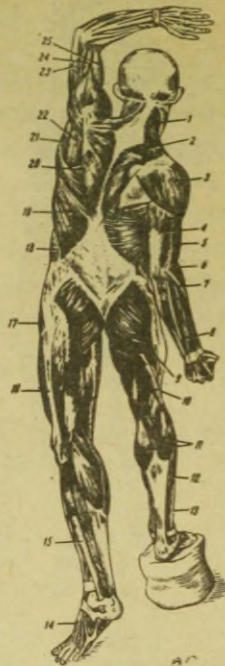


Joonis 61.



Inimese keha lihased eestvaates.

1 - pikk pihulihas; 2 - pindmine sõrmedepainutajalihas; 3 - kuunarmine randmepainutajalihas; 4 - olavarre kolmpealihas; 5 - ronganokkjatke-olavarre lihas; 6 - suurem umarlihas; 7 - selja ülilai lihas; 8 - eesmine saaglihas; 9 - kõhu valimine põikilihas; 10 - niude-nimme lihas; 11 - reie sirglihas; 12 - ratsepalihas; 13 - keskmine paksilihas; 14 - eesmine saareluulihas; 15 - kannakõõlus; 16 - saaremarjalihhas; 17 - õrnlihas; 18 - ristiside; 19 - eesmine saareluulihas; 20 - pindluulihased; 21 - kodarmine randmepainutajalihas; 22 - olavarre-kodarluulihas; 23 - olavarre kakspealihase kiud-kõõlusriba; 24 - olavarre kakspealihhas; 25 - deltalihas; 26 - suurem rinnalihas; 27 - rinnaku-keeleluu lihas; 28 - rinnaku-rangluu-nibu-jatke lihas; 29 - mälurlihas; 30 - silma sõõrlihas.



Inimese keha lihased tagantvaates.

1 - rinnaku-rangluu-pibujätke lihas; 2 - trapetslihas;
 3 - deltalihas; 4 - olavarre kolmpealihas; 5 - olavarre
 kakspealihas; 6 - olavarre-kodarluu lihas. 7 - pikk kodar-
 mine randmepainutajalihas; 9 - uhine sormedesirutajalihas;
 9 - suurim tuharalihas; 10 - reie kakspealihas; 11 - saare-
 marjalihas; 12 - lestaaremarjalihas; 13 - pikk pindluuli-
 has; 14 - pikk varvastesirutajalihas; 15 - pikk pindluuli-
 has; 16 - osa reie laiaist sidekirmest (niude-saareluu kulg-
 la); 17 - laia sidekirmepingutajalihas; 18 - kõhu valimine
 poikilihas; 19 - selja ülilai lihas; 20 - suurem romblihas;
 21 - suurem umarlihas; 22 - harjaalune lihas; 23 - olavarre
 kolmpealihas; 24 - olavarrelihas; 25 - olavarre kakspealihas.

III p e a t ü k k .

1. SPORDITEHNIKA MÕISTE.

Paljudel spordialadel realiseerib sportlane teatud kindlate liigutuste abil oma kehalised võimed spertliks tulemuseks. Mingi sportliku tulemuse saavutamiseks peab inimene kasutama teistsuguseid liigutusi kui igapäevases tegevuses. Selliseid liigutusi nimetatakse vastava spordiala tehnikaks.

Sporditehnika täpse mõiste määratlemisel tuleb aluseks võtta tema omandamise, kasutamise ja uurimise aspektid.

Üksikuid spordialasid võime vaadelda kui sportlikke liigutusülesandeid. Näiteks võimlemises, vettehüpetes ja iluuisutamises jms. on sportlase liigutusülesandeks sooritada varem kindlaks määratud kujuga iseloomuga harjutusi. Siin määratakse sportlik tulemus punktides kohtunike poolt, kes jälgivad, kui täpselt, emotsionaalselt ja efektselt sportlane sooritab varem kindlaks määratud liigutused. Kuid näiteks kergejõustikus, suusatamises, ujumises, tõstmises jt. sellistel aladel on aga liigutusülesandeks läbida antud vahemaa võimalikult lühikese ajavahemiku vältel, hüppata võimalikult kõrgemale või kaugemale jne. Siin on sportlik tulemus mõõdetav sekundites, sentimeetrites ja kilogrammides.

Sportmängudes, maadluses, poksis jt. sarnastel spordialadel on liigutusülesandeks saavutada lõpp-

e f e k t - saata pall vastase korvi või väljaku poolele, torge jne. Siingi arvestatakse sportlikku tulemust reeglina punktides.

Ülaltoodust selgub, et mingi liigutusülesande määratleb spordiala, kus on püstitatud kindel eesmärk. Selle eesmärgi saavutamiseks kasutab sportlane liigutusi, mis kuuluvad funktsionaalsesse süsteemi. Viimase all tuleb mõista selliselt valitud komponentide hulka, kus nende vastastikune tegevus ja vastastikused suhted omandavad vastastikuse koosmõju iseloomu ning on fokuseeritud kasuliku resultaadi saavutamisele.

Funktsionaalne süsteem omab pidevalt muutuvat struktuuri, mis on alati suunatud tegevuse resultaadi saavutamisele. Kõik funktsionaalsed süsteemid, olenemata oma organiseerituse tasemest ning komponentide koostisosade hulgast, omavad printsiipsiaalselt üht ja sama funktsionaalset arhitektoonikat, kus resultaati esineb domineeriva faktorina süsteemi stabiilsel organiseerimisel. Funktsionaalsele süsteemile on iseloomulikeks joonteks, peale kasuliku resultaadi, veel tagasiside (sihifunktsiooni saavutamiseks vajalike seoste hulk ning kontroll) ja emergentsus (süsteemi spetsiifika omada selliseid omadusi, mida ei oma ükski süsteemi koostisosa).

Sportlase liigutuste iseloom (ulatus, kiirus ja koordineeritus) oleneb kehalistest võimetest. Paljudel spordialadel on sportliku resultaadi saavutamisel suur tähtsus ka sportlase psüühilistel omadustel. Need on esmajärjekorras sellised spordialad, kus resultaadi saavutamiseks tuleb kasutada taktikalisi võtteid.

Sportlik tulemus võib sõltuda ka sportlase konstitutsionaalsetest iseärasustest (võimlemine, korvpall jne.). Järelkult tuleks tehnika õpetamisel ja kasutamisel arvesse võtta ka sportlase konstitutsionaalseid iseärasusi.

Ülaltoodut arvestades tuleb sportlase funktsionaalset süsteemi, mille kaudu sportlane realiseerib oma kehalised ja

vaimsed võimed ning konstitutsionaalsed iseärasused sportlikuks tulemuseks sportliku liigutusülesande lahendamisel antud spordialal.

Optimaalse tehnika all tuleb mõista aga sportlase sellist liigutuste funktsionaalset süsteemi, mis võimaldab kõige otstarbekamalt realiseerida antud spordialal tema kehalised ja vaimsed võimed ning konstitutsionaalsed iseärasused kõrgeks sportlikuks tulemuseks, arvestades inimese üldisi biomehaanilisi iseärasusi, ümbritseva keskkonna objektiivseid mehaanilisi tingimusi ja antud hetke taktikalist situatsiooni ning võistlusmäärusi.

2. SPORTLIKU STIILI MÕISTE.

Kaks sportlast võivad kasutada üht ja sama tehnikavarianti (näiteks kõrgushüppes rulltehnikat), kuid harjutuse sooritamisel võib esineda märgatavaid erinevusi üksikutes liigutustes. Need erinevused on tingitud sportlaste individuaalsetest iseärasustest - stiilist või siis vigadest tehnikas. Kuidas määrata kindlaks, kas tegemist on sportliku stiiliga või tehnika veaga?

Tehnika vea all mõistame sportlase liigutusi, mis ei kindlusta või koguni raskendavad kehalistele võimetele vastava sportliku tagajärje saavutamist. Sportlase jaoks võib tehnika kujuneda optimaalseks ainult objektiivsetel biomehaanilistel alustel. Kõrvalekaldumised optimaalsest tehnikast kujutavadki endast tehnika ebatäiuslikkust, tehnika vigu. Stiililised iseärasused on põhjustatud sportlase konstitutsionaalsetest iseärasustest, kõrgema närvitegevuse tüübist, east, soost ja teataval määral ka kehalistest võimetest. Kõiki neid faktoreid tuleb arvesse võtta tehnika optimaalsuse hindamisel. Mõningatel juhtudel võivad stiililisi iseärasusi põhjustada ka sportlase poolt läbi põetud sporditraumad.

Beltoodust selgub, et tehnika õpetamine paremate sportlaste liigutuste välise pildi alusel võib taanduda ka stiili kopeerimisele, mis põhjustab oodatava edu asemel sportlike tulemuste langust. Näiteks äratõukel saavutatav lõppkiirus on seda suurem, mida pikem on kiirendusteekond. Kui seda seisukohta praktikas kontrollida, siis selgub, et sügav painutus äratõuke-liigutuse eel sobib ainult väiksemat kasvu sportlastele, kuna pikemate sportlaste liikumisaparaadi skeleti kangide suhted ja lihaste asetused ei võimalda teha sama suurt painutust (kehaosade pikitelje pöörde ümber liigese telje).

Tuleb märkida, et sportliku stiili kopeerimine ei ole kunagi otstarbekohane. Tehnika õpetamisel ja õppimisel tuleb alati lähtuda kehaliste harjutuste biomehaanika põhiolulistest ja printsiipidest.

Kui võrrelda erinevate sportlaste tehnikat peegeldavaid biomehaanilisi tunnuseid, siis stiililised iseärasused neis ei kajastu küll aga kasutatud liigutuste funktsionaalse süsteemi struktuur. Seega stiil ei ole mingi üldine seaduspärasus, vaid ta eksisteerib ainult üksikutes liigutustes.

3. SPORDITEHNIKA OMANDAMINE JA TÄIUSTAMINE.

Sporditehnika õppimisel võib eristada kolme etappi. Esimest etappi nimetame liigutusvõime omandamise algfaasiks. Siin luuakse ettekujutus õpitavast liigutuste funktsionaalsest süsteemist. Liikumisaparaadi biokinemaatilistes ahelates kaotatakse lihaste pingega põhiliselt kõik liigsed vabadusastmed eesmärgiga neutraliseerida inertsjõude, mis algul segavad liikumise kulgemist vajaliku geometriaga. Liikumine tervikuna on raske ja konarlik.

Teisel etapil kujuneb välja liigutuste funktsionaalse süsteemi struktuur. Liikumise geometria on

põhijoontes omandatud. Osa varem lihaste poolt fikseeritud vabadusastmetest vabanevad. Osa liikumisel tekkivatest inertsjõududest neutraliseeritakse lühikeste lihaspinge impulssidega. Liikumine kulgeb kindlamini kui esimeses faasis. Selle etapi lõpuks valdab sportlane antud spordiala tehnikat.

Lõpuks tehnika kasutamise etapp, kus toimub kehaliste ja vaimsete võimete ning konstitutsionaalsete iseärasuste realiseerimine sportlikuks tulemuseks tehnika kaudu. Lõplikult omandatud liikumisel kasutatakse liikumapaneva jõuna mitte ainult lihaskõudu, vaid ka biokinemaatiliste ahelate üksikute lülide inertsjõudusid. Oskuslikult kasutatakse ka raskusjõudu ja raskusjõu momente.

Sportlase ette kerkib nüüd kaks ülesannet: erialaste kehaliste võimete taseme tõstmine ja teiseks, tehnika täiustamine sellise tasemeni, mis võimaldab kõige otstarbekohasemalt realiseerida omandatud võimed kõrgeks sportlikuks tulemuseks.

Sporditehnika omandamise ja täiustamise vahele ei saa kindlat piiri tõmmata. Selleks ei ole ka mõõdapääsmatut vajadust, sest spordimeisterlikkus kujutab endast pidevat protsessi, kus toimub kehaliste ja vaimsete võimete ning tehnika täiustumine. Selle ülesande lahendamise tase iseloomustabki sportlase meisterlikkust. Spordimeisterlikkusele on omane efektiivsus (kõrged sportlikud tagajärged) ja stabiilsus.

Spordimeisterlikkuse tunnused võib jagada kolme rühma: 1) üldisteks, mis kehtivad kõigi spordialade kohta (efektiivsus, stabiilsus); 2) ühe spordialade grupi kohta kehtivateks tunnusteks; 3) osalisteks, mis kehtivad ühe kindla spordiala kohta.

Sportlase tegevuse efektiivsus kujutab endast energiaressursside kasutamise probleemi. Liigutuste efektiivsuse hindamisel tuleb kindlaks määrata sportlase kehalised võimed ning konstitutsionaalsed iseärasused. Biomehaaniliste uurimismeetodite abil saab hinnata tehnika optimaalsust

nende realiseerimisel sportlikuks tulemuseks. Sportlike tulemuste stabiilsus oleneb sellest, kui võrd sportlane suudab kohaneda tegevuskeskkonna varieeruvates tingimustes ja kindlustada oma võimetele vastav sportlik tagajärg.

Mingi kindla spordialade grupi kohta kehtivate spordimeisterlikkuse tunnuste vaatlemiseks jaotame kõik spordialad liigutusülesande järgi kolme rühma.

E s i m e s e r ü h m a moodustavad spordialad, kus sportlik tulemus väljendub hinded kindlaksmääratud kaju ja iseloomuga liikumise eest. Siia rühma kuuluksid sellised spordialad nagu sportvõimlemine, iluvõimlemine, akrobaatika, iluuisutamine jne. Nendel spordialadel mõjutavad tulemust kõige enam harjutuste sooritamise stabiilne ja kõrge kvaliteet. Selle saavutamiseks peavad sportlaste kehalised võimed olema vastavuses kasutatava tehnikaga. Tehnika täiustamisel tuleb erilist tähelepanu pöörata tehnika kinemaatika peegeldavatele biomehaanilistele tunnusjoontele. Lõppresultaadina stabiliseerub liigutuste funktsionaalse süsteemi struktuuri kinemaatika, mis väljendub iseloomulike biomehaaniliste tunnusjoonte optimaalses varieeruvuses. Optimaalse varieeruvuse all tuleb mõista tunnusjoonte varieeruvuse ulatust, mis on tingitud sportlase kohanemisest väliskeskkonna muutuvates tingimustes. Tähelepanu tuleb suunata sportlase individuaalsete iseärasuste ärakasutamisele liigutuste efektiivsuse ja emotsionaalsuse tõstmisel.

Spordialad, kus liigutusülesandeks on saavutada maksimaalne mõõdetav resultaat, moodustavad t e i s e r ü h m a . Siia kuuluvad sellised spordialad nagu kergejõustik, suusatamine, ujumine, tõstmine jne. Spordimeisterlikkuse tase peegeldub sportlase liigutuste funktsionaalse süsteemi struktuuri dünaamikat kajastavatel biomehaanilistel tunnusjoontel. Viimaste stabiilsus ja kõrge tase iseloomustavad kõrget spordimeisterlikkust neil spordialadel.

K o l m a n d a r ü h m a spordialade juures on sportlikuks liigutusülesandeks saavutada liikumise lõppefekt.

Spordialadest kuuluksid siia kõik sportmängud, maadlus, poks, vehklemine jne. Kõrge spordimeisterlikkus esineb siin antud lõppefekti saavutamise variantide mitmekesisuses. Tehnikaalase meisterlikkuse täiustamine seisneb uute tehnikavariantide omandamises ning olemasolevate variatsioonide suurendamises. Sellise tehnikaalase ettevalmistuse korral saab sportlane, olenevalt võistlussituatsioonist, kasutada mitmesuguseid taktikalisi võtteid lõppefekti saavutamiseks. Tehnikaalane meisterlikkus rajatakse erialasele kehalisele ettevalmistusele ning sportlaste individuaalsete iseärasuste oskuslikule kasutamisele.

Sporditehnika omandamisel ja täiustamisel on tehnikavigadel oma spetsiifika. Nii omavad jämedad vead tehnikas teisejärgulist tähtsust, väikesed vead aga esmajärgulist. Jämedate tehnikavigade all mõistame siin neid vigu, mida treener võib visuaalsel jälgimisel avastada ning kontrollida nende kõrvaldamist. Väikesteks vigadeks loeme selliseid kõrvalkaldumisi optimaalsest tehnikast, mida ei ole võimalik visuaalsel vaatlemisel kindlaks teha.

Sporditehnika omandamine ja täiustamine on pidev protsess, mis vältab kogu sportliku tegevuse aja. Jämedad tehnikavead esinevad reeglina madalama kvalifikatsiooniga sportlastel. Neil on sportlikud tulemused tagasihoidlikud ja sõltuvad rohkem kehalistest võimetest kui tehnikaalasest ettevalmistusest. Harjutuste sooritamisel tekkivad sisemised ja välimised jõud ei ole niivõrd suured, et võiksid kahjustada liikumisaparaati. Liigutuste sooritamine ei oma kindlat stereotüüpset iseloomu ja ka tehnikavead varieeruvad suures ulatuses. Väikesed vead omavad aga suuremat stabiilsust ja treener ei suuda neid avastada ilma liikumist registreerimata. Sellest tingituna lülituvad nad liigutuste funktsionaalsesse süsteemi stabiilse koostisosana. Sportlase kehaliste võimete edasiarendamisel tekib väikeste vigade tõttu liigutuste funktsionaalses süsteemis antagonistlik vastuolu, mis võib põhjustada kehaliste võimete tasemest madalamaid sportlikke tagajärgi ja isegi sporditraumasid. Selliste tehnika-

vigade korral on iseloomulik sporditraumade muutumine krooniliseks, sest spordiarst ravib organismi, kuid ei suuda kõrvaldada trauma tekitajat. Tehnikavigade kõrvaldamine ole-
neb treeneri biomehaanika-alastest teadmistest ja oskusest kasutada kaasaegseid uurimismeetodeid oma pedagoogilises tegevuses.

Eeltoodust peaks selguma, et tehnika täiustamine ei seis-
ne mitte ainult liigutuste välise pildi muutmises, vaid ka liigutuste funktsionaalse süsteemi struktuuri täiustamises.

IV p e a t ü k k .

1. KEHALISTE HARJUTUSTE TEHNIKA BIOMEHAANILISE ANALÜÜSI METOODIKA.

Kehaliste harjutuste tehnika biomehaanilise analüüsi metoodikas võib eristada k o l m e põhilist etappi: liikumise jäädvustamine ja biomehaaniliste tunnusjoonte registreerimine, ^{xap-ka} tulemuste läbitöötamine, biomehaaniline analüüs.

Liikumist iseloomustavate biomehaaniliste tunnuste ja tunnusjoonte registreerimine.

Kehaliste harjutuste tehnikat iseloomustavate biomehaaniliste ^{tehnika, meetodid} tunnuste ja tunnusjoonte registreerimiseks on kaks põhilist meetodit - v a a t l u s ja e k s p e r i m e n t .

1.1. V a a t l u s , mille tulemusi kasutatakse teaduslikus uurimistöös, peab olema hoolikalt ette valmistatud. Vaatluskaardid, kuhu tehakse vaatluse käigus ülestahendusi, peavad olema detailselt läbi mõeldud, et vaatleja jõuaks kõik vajaliku üles märkida. Ka vaatluspaik (staadion, võimla) olgu ette valmistatud vaatlusteks. Vaatluse positiivseks küljeks on võimalus koguda andmeid vaatlusaluse teadmata. Sportlase tegevust võib vaadelda igasugustes tingimustes, isegi võistlustel. Vaatluse kui meetodi puuduseks tuleb lugeda saadud biomehaaniliste tunnuste ja tunnusjoonte kvalitatiivset iseloomu. Lihtsa vaatluse teel täpsete arvuliste andmete kogumine on enamikel juhtudel võimatu. Saadud tulemused võivad olla subjektiivsed. Teatud juhtudel, olenevalt ana-

lүүsi eesmärgist, võib vaatlus anda head materjali. Näiteks saab vaatluse teel kindlaks määrata murdmaasuusatajate sõidutehnika valiku, olenevalt raja profiilist ja sportlikust kvalifikatsioonist.

1.2. E k s p e r i m e n d i korraldamisel kasutatakse biomehaaniliste tunnuste ja tunnusjoonte registreerimiseks mitmesuguseid aparate.

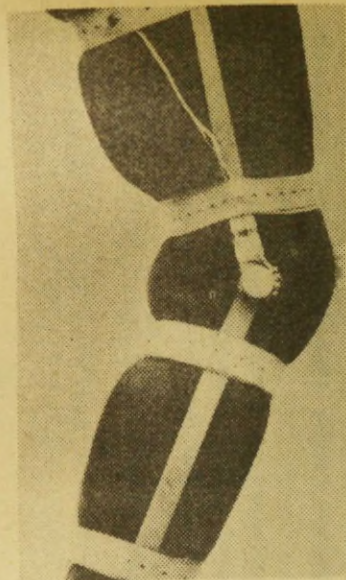
Teepikkuse ja pöördenurga mõõtmine.

Sportlase hüppevõimet saab mõõta vastava seadeldise abil. Tulemuseks saame sportlase hüppevõimet iseloomustava biomehaanilise tunnuse - üleshüppe kõrguse. Üleshüppe mõõtmise seadeldis kujutab endast mõõdulinti. Selle üks ots kinnitatakse sportlase külge. Lint liigub kahe plaadi vahel, mis on kinnitatud põranda külge. Enne üleshüpet pingutatakse mõõdulinti ja võetakse mõõdulindi alglugem kohalt, kust mõõdulint tuleb plaatide vahelt välja. Lugemil võtmisel sportlane seisab pakkseisus. Teine lugem võetakse samast kohast pärast üleshüpet. Saadud vahe annabki hüppe kõrguse.

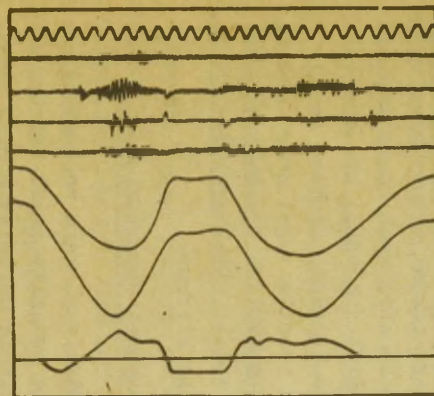
Kehaosade pöördenurga suurust ümber liigese telje saab mõõta goniomeetri abil. Enne mõõtmist kirjeldatakse kehaosa asendit. Liigese telje kohale asetatakse goniomeetri telg ning kirjutatakse üles skaala alglugem. Järgmise kehaasendi korral võetakse skaalalt uus lugem. Käesoleval ajal on laialdaselt levinud pöördenurga mõõtmine elektrilisel teel. See võimaldab pidevalt üles kirjutada pöördenurga väärtusi - tulemusena saame goniogrammi (vt. joon. 62 ja 63).

Aja mõõtmine.

Aja mõõtmisel fikseeritakse vajaliku täpsusega kellaaeg, liikumise ajaline kestvus või siis liikumise tempo. Selleks kasutatakse stoppereid, kronomeetreid ja kronoskooppe (aja mõõtmise täpsus kuni 0,001 (s)). Fotoelementidest



Joonis 62.



- ajamärgid (0,1 s)

- elektromüogrammid

- puusaliigese goniogramm

- põlveliigese goniogramm

- toereaktsiooni vertikaalkomponendi dünamogramm

|äratõuge | õhu- | maandumine |
| lend

Joonis 63. Paigalt üleshüppe biomehaanilised tunnused.

Muutajate mõõtmine

või siis mikrolülititest võib kokku seada elektrilisi ajamõõtmisüsteeme, kus automaatselt registreeritakse isekirjutavate aparaatide abil liikumise üksikute faaside või siis kogu liikumise ajaline kestvus. Liikumist iseloomustavaid ajalisi tunnuseid saab määrata ka kinogrammi alusel. Liikumise faaside kestvuse määramise täpsus oleneb kaadrite arvust ajaühikus.

Liikumise kiiruse registreerimine.

Sportlase masskeskme, tema kehaosade masskeskmete või siis mingi valitud punkti kiiruse määramise kõige levinum meetod on arvutuslik. Eelnevalt mõõdetud punktide koordinaatide ja ajavahemike põhjal arvutatakse välja keskmised kiirused. Spidograafi abil saab registreerida valitud punkti kiirust sellistel juhtudel, kus sportlase liikumine on sirgjooneline (sprint, ujumine jne.). Sportlase külge kinnitatakse peenike tugev nõör, mis on keritud pöörlevale trumblile. Sportlase liikumisel keritakse trumblilt nõör maha ja trumli külge kinnitatud tahhomeeter näitab edasilikumise kiirust.

Liikumisel esineva kiirenduse registreerimine.

Kiirenduse registreerimiseks on kaks moodust. (1) Esimene - aktseleromeetriliste andurite abil. Kiirendusandurid kinnitatakse uuritavatele punktidele ning andurite signaalid juhitakse juhtmeid mööda (või siis telemeetriliste kanalite kaudu) registreerimis- ja vastuvõtuseadmetesse.

(2) Teiseks mooduseks on aktselograafiline meetod, kus kiirenduse andurid ja registreeriv seade on monteeritud kokku ühte aparati, mis kinnitatakse sportlase külge.

Dünaamiliste tunnusjoonte registreerimine.

Inimese keha inertsia iseloomustavateks tunnusjoonteks on liikuva massi suurus kulgeval liiku-

misel ning ²inertsmoment pöör-
leval liikumisel. Nende määramiseks on
otstarbekohane arvutuslik meetod, mida lähemalt vaatleme
allpool.

Liikumise iseloomu mõjutavate jõudude registreerimise meetoditest on kõige enam levinud toereaktsioonide registreerimine dünamograafide abil. See seade koosneb tensomeetrilistest anduritest, võimendusseadmest ning registraatorist. Tensomeetriline andur kujutab endast spetsiaalselt sulamist traati, mille elektriline takistus venitamisel muutub proportsionaalselt mõjuva jõuga. Tensomeetrilised andurid kleebitakse spordivahendite deformeervatele osadele (võimlemiskang, tõstekang, tennisereketi vars jne.). Võib valmistada ka nn. tensomeetrilisi platvorme, kus andurid on kleebitud terasrõngaste külge, milledele toetub tugiplaat. Selline seadeldis võimaldab registreerida äratõukejõu vektori projektsioonid kolmes tasapinnas.

Lihaste elektrilise aktiivsuse registreerimine - elektromüograafia.

Kontraheeruvus lihases tekkivad elektrilised potentsiaalid on väga väikesed (mõned millivoldid). Ka nende ajaline kestvus on millisekundites. Selliste protsesside registreerimiseks vajatakse spetsiaalset aparatuuri - biopotentsiaalide võimendajaid ja inertsiabasid registraatoreid-ostsillograafe. Lihaste elektriline aktiivsus fotopaberile jäädvustatuna on elektromüogramm. Elektromüogrammi saamiseks kinnitatakse sportlase kehale, uuritavate lihaste aktiivsustäppide kohale, elektroodid. Elektroodid kujutavad endast mitteeksüdeeruvast metallist (hõbe, kuld jne.) 10-millimeetrise läbimõõduga kausikesi, mille keskel on ava. Kaks sellist kausikest kinnitatakse, vahekaugusega 20 mm, ovaalsele kummiplaadile. See kaetakse liimiga ja kinnitatakse uuritavale kohale. Üks elektroodidest peab asetsema lihase täpil, teine sellest eemal. Elektroodi kausikesed täidetakse vastava pastaga. Enne elektroodide asetamist

puhastatakse nahapind piiritusega. Soovitav on eemaldada naha sarvkiht. Elektroodide külge kinnitatakse varjestatud juhtmed, et katseruumi elektriväli ei tekitaks elektrilisi häireid. Juhtmeid pidi juhitakse lihaste elektrilised potentsiaalid võimendajasse.

Elektromüogrammi (EMG) põhjal saab kindlaks määrata töötavate lihaste kontraktsiooni algust, ajalist kestvust ja intensiivsust.

Liikumise jäädvustamine.

Liikumise jäädvustamiseks võib kasutada kaht moodust: fotografeerimist ja filmimist. Fotografeerimisel saame liikuvast objektist üksiku kujutise, mis iseloomustab keha asendit ruumis. Täiendades fotoaparaati pöörleva kettaga, millest on välja lõigatud üks või mitu sektorit, võib jäädvustada ühele kaadrile mitu kehaasendit olenevalt liikumise kestvusest ja ketta pöörete arvust. Iga kord, kui ketta väljalõigatud sektor ja fotoaparaadi objektiiv on kohakuti, toimub negatiivi valgustamine. Selliselt jäädvustatakse liikumist, kus suhteliselt vähe muudetakse asukohta (näiteks võimlemisharjutused riistadel).

Filmimise korral jäädvustatakse sportlase asend filmilindile kindlate ajavahemike järel. Saadud filmi põhjal võib liikumist reprodutseerida. Filmides suurema kaadrite arvuga ajaühikus, kui seda tehakse filmi demonstreerimisel, saab reprodutseerida liikumist mitu korda aeglasemalt kui see tegelikult toimus. Sporditehnika õpetamisel võib selline võtte osutada õpitavast harjutusest adekvaatse ettekujutuse loomisel väga kasulikuks. Liikumise reprodutseerimise eesmärgil on otstarbekohane filmida 16-mm kinokaameraga. Kui filmimise eesmärgiks on algandmete saamine biomehaaniliste tunnusjoonte arvutamiseks, siis on otstarbekohane filmida 35-mm kaameraga. Võtte sagedus tuleb määrata lähtudes filmitava objekti liikumise kiirusest. Tähtis on, et arvutatud punktide järgi saaks konstrueerida sujuvaid graafikuid.

Järsud siksakid graafikutel on enamasti tingitud väikesest kaadrite arvust ajaühikus.

Tavalistel, 35-mm kaameratel on katiku nurk 160 - 180°. Sellest tingituna on filmile raske saada niisuguseid kujutusi, kus kiiresti liikuvate kehaosade piirjooned oleksid kontrastsed. Kui valitud filmisageduse juures kujutis kaadril jääb uduseks, siis tuleb asendada filmikaamera katik teisega, mille valgustussektori nurk on väiksem. Soovitav on 30° valgustussektori nurgaga katik. See tagab ka, sagedusel 24 kaadrit/sekundis, vajaliku teravusega kujutise.

Filmimine kuulub teadusliku katse metoodika juurde ning seetõttu tuleb iga võtte varustada vastava protokolliga. Protokollis on märgitud võtte järjekorra number, filmimise kuupäev, meteoroloogilised tingimused, kinokaamera mark, andmed objektiivi kohta, võtte kaadrite arv sekundis, mastaap-joonlaua või mingi eseme tegelik pikkus ja andmed vaatlusaluse kohta.

Enne filmimist tuleb nii vaatlusalune kui ka vaatluse teostamise koht ette valmistada. Tuleb tähistada vaatlusaluse liigete telgede ja kehaosade masskeskmete asukohad. Igas kaadris peab olema näha katse järjekorra number ja mastaapi määrav ese. Filmikaamera peab asetsema kindlal statiivil, see välistab objektiivi vibratsiooni. Kui filmimise kestel on tarvis kaamera objektiivi nihutada, siis kasutada vastavat statiivi. Valgustuseks on kõige parem päikesevalgus. Kui võtte tingimused seda ei võimalda, tuleb kasutada prožektoreid.

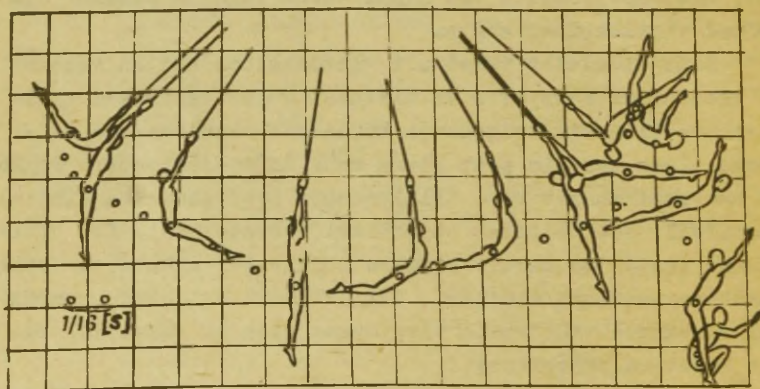
1.3. Tulemuste läbitöötamine.

Biomehaaniliste tunnuste ja tunnusjoonte registreerimise tulemused tuleb viia vastavusse kehtivate mõõtühikute süsteemiga. Registreeritud jõu tunnusjoone graafikul peab olema ka teadaoleva jõu väärtusega üleskirjutus - tareering. Selle põhjal arvutatakse välja, mitme millimeetrine ostsillograafi kiire kõrvalekalle vastab ühele jõu mõõtühikule. Analoogiliselt tuleb tareerida ka spidogrammid ja

aktseleerogrammid ning hiljem joonestada vastavates mõõtühikutes graafikud.

Kui liikumine on jäädvustatud filmile, siis võib saadud materjali kasutada sportlase kehaasendite graafiliseks kujutamiseks või algandmete mõõtmiseks biomehaaniliste tunnusjoonte arvutamisel.

Kinofilmil jäädvustatud liikumise järgi võib valmistada kontuurogrammi (vt. joon. 64). Kõige ülevaatlikuma pildi jäädvustatud liikumisest annab kinogramm. Kinogramm valmistatakse üksikute kaadrite fotodest. Potod valmistatakse tavaliselt vähenduse juures 1:20. Sellise vähenduse puhul on võimalik mõõta algandmeid biomehaaniliste tunnusjoonte arvutamiseks. Algandmeid biomehaaniliste tunnusjoonte arvutamiseks võib mõõta ka otse filmilt vastava optilise aparatuuri abil.



Joonis 64.

Algandmete mõõtmine kinogrammilt biomehaaniliste tunnusjoonte arvutamiseks.

Biomehaaniliste tunnuste ja tunnusjoonte arvutamiseks tuleb määrata kinogrammi kaadritelt järgmised andmed ja kanda need tabelisse (vt. joon. 65).

1. massiv →									
-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

2. massiv →									
-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

3. massiv →									
-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

4. massiv →									
-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Nr.	$\overrightarrow{X_1}$	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	$\overrightarrow{Y_1}$	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7	Y_8	Y_9	Y_{10}	7.m. $X \downarrow$	8.m. $Y \downarrow$	9.m. $\alpha \downarrow$	
	1																							
2																								
3																								
4																								
5																								
6																								
7																								
8																								
9																								
10																								
11																								
12																								

1. Konstandid: eksperimendi number, kinogrammi kaadrite ar., mastaabi tegur*, sportlase mass kilogrammides ja kaadrite arv sekundis.
2. Kehaosade massijaotuse koefitsiendid.
3. Kehaosade pikkused, mõõdetuna liigese teljest liigese teljeni. Labakäe juures mõõdetakse pool peopesa laiust ning pea puhul 1/6 übermõõdust.
4. Järgmisena mõõdetakse sportlase kehal tähistatud punktide koordinaadid. Vaatleme esiteks juhtu, kus vasak ja parem jalg liiguvad koos, samuti ülajäsemed.

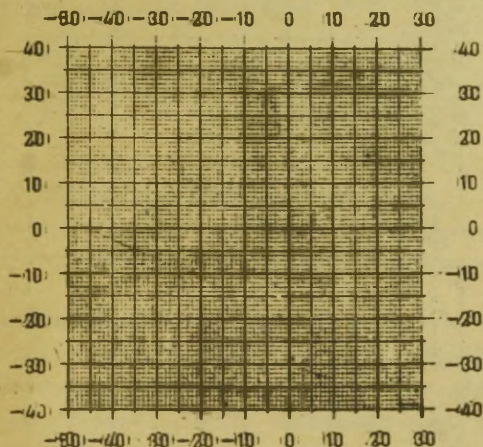
Ordinaadiks valitakse telg, mis läbib ^{rasvõõrkeemilise tsent.} puusaliigese ja pea masskeskme, abstsissiks ristsirge läbi puusaliigese. Kõikide punktide koordinaadid mõõdetakse selles teljestikus spetsiaalse koordinaatvõrgustiku abil (vt. joon. 66). Lugem võetakse millimeetrites täpsusega $\pm 0,1$. Selline võtte võimaldab koordinaatvõrgustiku ühe asetusega kinogrammi kaadrile määrata kõikide punktide koordinaadid - tulemuse-na elimineeritakse mõõtjoonlaua asetusviga. Tabelisse kantakse algul järgmiste punktide abstsissid: pea masskese, kere masskese, ^{abstsiss tsent} õlaligese telg, ^{rasvõõrkeemilise tsent} küünarliigese telg, ^{rasvõõrkeemilise tsent} randmeliigese telg, labakäe masskese; puusaliigese telg, ^{rasvõõrkeemilise tsent} polveliigese telg; ^{rasvõõrkeemilise tsent} põialigese telg ja viimasena labajala masskese.

Viienda arvumassiivi moodustavad loetletud punktide ordinaadid.

Kuuenda ja seitsmenda arvumassiivi moodustavad puusaliigese koordinaadid taustsüsteemiks valitud koordinaadistikus. Viimase arvumassiivi moodustavad liikuva koordinaadistiku pöördenurga väärtused ^{rasvõõrkeemilise tsent} taustsüsteemi suhtes.

* Mastaabi tegur on selline arv, millega korrutades kinogrammi kaadrilt mõõdetud koordinaati millimeetrites saame selle tegeliku väärtuse meetrites. Mastaabi teguri arvutame murrust, kus lugejas on meile teadaoleva eseme pikkus meetrites ja nimetajas sama eseme pikkus millimeetrites, mõõdetuna kinogrammi kaadrilt.

Selliselt mõõdetud algandmete põhjal saab arvutada kõik liikumise iseloomustamiseks vajalikud biomehaanilised tunnused ja tunnusjooned. Arvutuste teostamiseks võib kasutada ka elektronarvutusmasinaid, sest programmide koostamisel on arvestatud algandmete sellise esitusviisiga.



Joonis 66.

Algandmete, sportlase kehal tähistatud punktide koordinaatide mõõtmisel võib kasutada ka optilisi seadmeid. Selleks sobib diaprosjektor (tüüp "LETI"). Film asetatakse diaprosjektorisse ja projekteeritakse vertikaalsele koordinaatide lugemise lauale. Et vähendus on siin 1:10 ja isegi väiksem, siis koordinaatide lugemise võrgustik peab olema mitu korda suurem.

Kui sportlase liikumisel vasak ja parem jalg ning samuti ülajäsemed ei liigu koos, siis tuleb algandmete mõõtmisel tabel ümber teha (vt. joon. 67).

1. massiiv →

2. massiiv →

3. massiiv →

4. massiiv →

n	\vec{X}						\vec{Y}						7.m.	8.m.	9.m.	10.m.	11.m.
	X_1	X_2	X_{31}	X_{32}	X_{\dots}	X_{82}	Y_1	Y_2	Y_{31}	Y_{32}	Y_{\dots}	Y_{82}	$L_x \downarrow$	$L_y \downarrow$	$X \downarrow$	$Y \downarrow$	$\alpha \downarrow$
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	

Joonis 67.

Biomehaaniliste tunnusjoonte arvutamine kinotsüklo-
graafilisel teel saadud algandmetest.

A. Trajektoori arvutamine.

Sportlase masskeskme koordinaadid kaasaliikuvastel-
jestikus arvutame valemi järgi

$$X_0 = \sum_{i=1}^8 \mu_i X_i \quad \text{ja} \quad Y_0 = \sum_{i=1}^8 \mu_i Y_i,$$

kus $i = 1, 2, 3, \dots, 8,$

- μ_i - i -nda kehaosa suhteline mass,
- X_i - i -nda kehaosa masskeskme abstsiss ning
- Y_i - i -nda kehaosa masskeskme ordinaat.

Saame kinogrammi kaadrilt masskeskme koordinaadid millimeetrites või siis projitseeritud kujutiselt mõõdetud mastaabis. Korrutades need läbi mastaabikoefitsiendiga, saame koordinaatide väärtused meetrites ja tegelikkuses.

Taustsüsteemis arvutame masskeskme koordinaadid valemiga

$$X_T = X + X_0 \cos \alpha - Y_0 \sin \alpha \quad \text{ja}$$

$$Y_T = Y + X_0 \sin \alpha + Y_0 \cos \alpha,$$

kus X ja Y - liikuva teljestiku alguspunkti koordinaadid taustsüsteemis,

α - liikuva teljestiku pöördenurk taustsüsteemis.

Biokinemaatiliste ahelate masskeskme koordinaadid kaasaliikuvasteljestikus saab arvutada valemiga

$$X_b = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i X_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i},$$

$$Y_b = \frac{\sum_{i=1}^n M_i Y_i}{\sum_{i=1}^n M_i} ,$$

kus $i = 1, 2, \dots, n$ - biokinemaatilise ahela lülide arv.

B. Keskmiste kiiruste arvutamine.

Süsteemi masskeskme keskmine kiirus kulgeval liikumisel arvutatakse valemitega

$$\bar{v}_x = \frac{G(X_{o_{i+1}} - X_{o_{i-1}})}{2} ,$$

$$\bar{v}_y = \frac{G(Y_{o_{i+1}} - Y_{o_{i-1}})}{2} ,$$

$$\bar{v} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} ,$$

kus $i = 2, 3, 4, \dots, N-1$.

Keskmine nurkkiirus pöörlemisel ümber telje, mis läbib kinnispunkti või biokinemaatilise ahela telge.

$$\omega = \frac{\bar{v}}{R} ,$$

kus $R = \sqrt{(X_o - X_i)^2 + (Y_o - Y_i)^2} ,$

$i = 1, 2, 3, \dots, N$,

R - kaugus vaadeldavast punktist kuni pöörlemisteljeni,

X_o, Y_o - pöörlemisteljel asuva punkti koordinaadid,

X_i, Y_i - vaadeldava punkti koordinaadid.

C. Dünaamiliste tunnusjoonte arvutamine.

Biokinemaatiliste ahelate mass

$$m_q = m \sum_{i=1}^n M_i ,$$

kus $i = 1, 2, 3, \dots, n$ - biokinemaatilise ahela lülide arv.

Inertsmomentide arvutamiseks tuleb kasutada valemit

$$I = \sum_{i=1}^n I_{O_i} + \sum_{i=1}^n m_i r_i^2,$$

kus I_{O_i} - i-nda kehaosa inertsmoment tema masskeskme suhtes,

r_i - i-nda kehaosa masskeskme kaugus pöörlemisteljest.

Kineetilise energia kulgeval liikumisel arvutame valemi järgi

$$E_k = \frac{1}{2} m \bar{V}^2.$$

Kineetiline energia pöörleval liikumisel.

$$E_p = \frac{1}{2} I \bar{\omega}^2.$$

Potentsiaalse energia muutus keha liikumisel Maa raskusväljas

$$E_{\text{pot.}} = P \Delta h,$$

kus P - keha kaal,

Δh - keha asukoha muutuse kõrguste vahe.

D. Keskmiste kiirenduste arvutamine.

Kulgeval liikumisel esinev kiirendus.

$$\bar{a}_x = \frac{G(\bar{V}_{x_{i+1}} - \bar{V}_{x_{i-1}})}{2},$$

$$\bar{a}_y = \frac{G(\bar{V}_{y_{i+1}} - \bar{V}_{y_{i-1}})}{2},$$

$$\bar{a} = \sqrt{\bar{a}_x^2 + \bar{a}_y^2},$$

kus $i = 3, 4, 5, \dots, N-2$.

Pöörleval liikumisel esinev kiirendus.

$$\bar{\epsilon} = \frac{G(\bar{\omega}_{i+1} - \bar{\omega}_{i-1})}{2},$$

kus $i = 3, 4, 5, \dots, N-2$.

E. Inertsjõudude ja inertsjõu momentide arvutamine.

Inertsjõud määratakse valemiga

$$F_x = m\bar{a}_x,$$

$$F_y = m\bar{a}_y \quad \text{ja}$$

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}.$$

Inertsjõu momendid pöörlemistelje suhtes arvutatakse valemiga

$$M = I\bar{\epsilon}.$$

1.4. Biomehaaniline analüüs.

Biomehaanilise analüüsi käigus selgitatakse sportliku tulemuse saavutamiseks kasutatud tehnika optimaalsust biomehaaniliste tunnusjoonte, lihaste töö ja liikumise välise pildi alusel. Formuleeritakse tehnika optimaalsust hindavad kriteeriumid ning kirjeldatakse nende kriteeriumide määramise meetodikat. Olenevalt uurimisel püstitatud eesmärkidest, antakse ka pedagoogilisi soovitusi tehnika täiustamiseks. Kirjeldatakse juurdeviivaid harjutusi, aga samuti ka tehnika optimaalsuse hindamise kontrollharjutusi.

Kui biomehaanilise analüüsi algul terviklik harjutus lahutatakse mõttelisteks osadeks ning analüüsitakse liigutuste üksikuid faase ja perioode, siis analüüsi lõpul toimub süntees - üksikliigutuste ühendamine tervikuks ja uue tervikliku liikumise kirjeldus.

K a s u t a t u d k i r j a n d u s .

- Анохин П.К.** Теория функциональной системы. - "Успехи физиологических наук", 1970, т. I, стр. 19.
- Донской Д.Д.** Биомеханика физических упражнений (общие основы). Гос. изд. "Физкультура и спорт", Москва, 1958.
- Донской Д.Д.** Законы движений в спорте. - Очерки по теории структурности движений. Изд. "Физкультура и спорт", Москва, 1968.
- Луков Е.К., Котельникова Е.Г., Семенов Д.А.** Биомеханика физических упражнений. Изд. "Физкультура и спорт", Москва, 1963.
- Тваладзе Г.** Аналитический анализ движений человеческого тела. Изд. "Медицина", Москва, 1964.
- Hochmuth, G.** Biomechanik sportlicher Bewegungen. Sportverlag, Berlin, 1967.

Joonised on võetud järgmistest raamatutest:

Donskoi 1 - 4.

Tvaladze 5 - 37.

Hochmuth 38 - 59.

S i s u k o r d

Sissejuhatus	3
I p e a t ü k k .	
1. Sissejuhatus kehaliste harjutuste bio- mehaanikasse	5
2. Kehaliste harjutuste biomehaanika lühike ajalooline ülevaade	7
3. Inimese liikumisaparaadi ehitumus ja bio- mehaanilised iseärasused.	10
4. Lihaste tegevus liigutuste sooritamisel . .	23
II p e a t ü k k .	
1. Mehaanika põhimõisted ja -seadused	53
2. Inimese kehaasendite biomehaanilisel ana- lüüsil kasutatavad mõisted	64
3. Inimese keha pöörlemisliigutuste üldine iseloomustus	70
4. Välistes ja sisemised jõud kehaliste harjutuste sooritamisel	76
Pilditahvlid	89
III p e a t ü k k .	
1. Sporditehnika mõiste	90
2. Sportliku stili mõiste	93
3. Sporditehnika omandamine ja täiustamine . .	94

IV p e a t ü k k .

1. Kehaliste harjutuste tehnika biomehaanilise analüüsi metoodika	99
Kasutatud kirjandus	115

БИОМЕХАНИКА
ФИЗИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ

Составитель А. Вайн

На эстонском языке

Тартуский государственный университет
ЭССР, г. Тарту, ул. Юликооли, 18

Vastutav toimetaja R. Torm

Korrektor E. Puusepp

=====

TRÜ rotaprint 1972. Paljundamisele antud
7.IV 1972. Trükipoognaid 7,0. Tingtrüki-
poognaid 6,57. Arvestuspoognaid 5,9. Trü-
kiarv 500. Paber 30x42. 1/4. MB 03767.
Tell. nr. 456.

Hind 30 kop.