

Математичка гимназија

МАТУРСКИ РАД
из физике

Биомеханика спорта

Ученик:
Милица Николић IVб

Ментор:
Драгица Ивковић

Београд, јун 2021.

Садржај

1	Увод	2
2	Силе	2
2.1	Подела сила	3
3	Кинематика	7
3.1	Кинематика праволинијског кретања	7
3.2	Кинематика ротационог кретања	9
4	Кинетика	13
4.1	Кинетика праволинијског кретања	13
4.2	Моменти сила	17
5	Рад, снага и енергија	19
5.1	Рад и енергија	19
5.2	Закони одржања импулса и енергије	21
5.3	Снага	23
6	Закључак	23

1 Увод

Биомеханика је област биофизике која изучава механичка својства и законе кретања живих система. Фокус овог рада је на спољној спортској биомеханици. Њу можемо дефинисати као испитивање спољашњих сила и њихових утицаја на човеково тело у току спортске активности.

Изабрала сам ову тему у жељи да објединим своје две велике страсти-физику и спорт. Иако је реч о релативно младој области физике, она је већ нашла велику примену у побољшању перформанса код спортиста, усавршавању технике и спортских реквизита, као и у опоравку спортиста од повреда.

2 Силе

У сваком тренутку наших живота на наше тело делују различите силе. Оне нам омогућују кретање, али и заустављање, као и одржавање баланса у стању мировања.

Силу можемо дефинисати као квантитативну меру интеракције тела. Она је векторска физичка величина, што значи да је одређена интензитетом, правцем и смером. Нападна тачка је још једна одредница силе и представља тачно место на телу на које она делује.

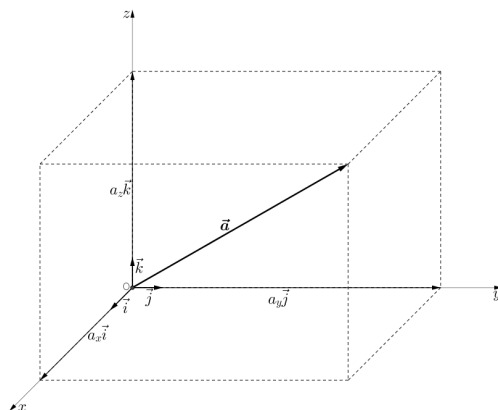
Мерна јединица за силу је њутн ($1N$). Користећи Други Њутнов закон (о коме ће касније бити више речи), можемо изразити њутн преко других јединица у SI систему:

$$1N = 1kg \cdot 1\frac{m}{s^2}$$

Ако на неко тело делује сила она га деформише или доводи до промене његове брзине (било по интензитету, правцу или смеру). Фокусираћемо се на способност силе да мења брзину и тако упростити анализу кретања датих система.

Ако на тело делује више сила, њихова резултанта налази се векторским сабирањем датих сила. Резултанта је једна сила под чијим дејством би се тело кретало исто као што се креће када на њега делују дате силе.

Слика 1: Сабирање вектора



2.1 Подела сила

Према начину деловања, силе делимо на унутрашње и спољашње.

Унутрашње силе су оне које делују унутар тела или система чије кретање посматрамо. У спортској биомеханици, систем који посматрамо је људско тело. Оно је сачињено од структура- мишића, органа, костију, тетива, лигамената, хрскавице и других ткива која међусобно интерагују. У зглобовима, кости притискају хрскавицу. Мишићи деформишу тетиве, а оне затим повлаче кости. О мишићима се обично говори као о покретачима људског тела, али то је само донекле исправно. Наиме, они могу да произведу само унутрашње силе које не могу да помере центар масе тела. Центар масе може да промени положај једино ако спољашње силе делују на тело.

Спољашње силе су оне које на тело делују као резултат његове интеракције са околином. Оне се, према начину деловања деле на контактне и бескотактне.

Бескотактне силе делују на системе и када се не додирују. Једина таква сила значајна за спортску биомеханику је гравитациона сила. Њен интензитет рачуна се по формули:

$$F_g = mg$$

где је m –маса тела, а g –гравитационо убрзање $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$.

Сада можемо дефинисати тежину тела као силу којом тело, усред гравитационог дејства, делује на непокретну подлогу или затеже нит о које је обешено.

По интензитету она је једнака гравитационој сили која делује на тело.

$$Q = mg$$

Контактне силе делују на системе када се они додирују. Најзначајније овакве силе за спортску биомеханику су оне које се јављају између спортисте и другог чврстог предмета (значајне су и силе отпора ваздуха и воде али њима се сада не бавимо).

Када год тело врши притисак на подлогу, онда и подлога делује на тело тзв. силом нормалне реакције подлоге (N). Она делује дуж правца нормалног на додирну површину подлоге и тела у смеру од подлоге ка телу.

Спољашња сила без које кретање не би постојало јесте сила трења. Наиме, када тркач прави кораке он стајном ногом „потискује подлогу уназад“ и истом толиком силом подлога делује на његове његових патика омогућавајући му тако да, радом својих мишића, помери другу ногу напред. Да трење не постоји, тркач би пао чим би покушао да помери другу ногу напред.

Постоје три облика сувог трења (јавља се између два чврста тела): трење мировања, трење килзања и трење котрљања. За кретање спортиста значајна су прва два облика.

Сила трења мировања једнака је по интензитету, а супротна по правцу резултанти спољашњих сила које делују на тело. Њен интензитет није константан, већ расте пропорционално са резултантом она не порасте довољно да покрене тело. Сила трења мировања одређена је формулом:

$$F_s = \mu_s N$$

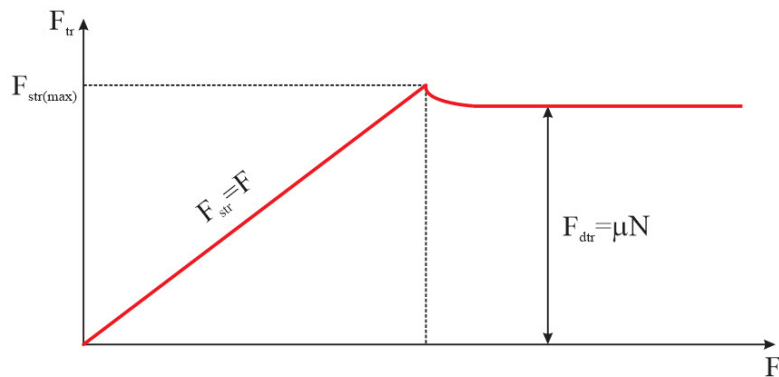
где је μ_s коефицијент статичког трења и зависи од природе тела и подлоге (материјала од којих су направљени, чистоће површина и обрађености). Због овога се за израду његова тркачких патика користе материјали са већим коефицијентом трења.

Сила динамичког трења има исти интензитет као резултанта спољашњих сила које настоје да покрену тело, константна је и рачуна се по формули:

$$F_d = \mu_d N$$

где је μ_d коефицијент динамичког трења. Мерењима је утврђено да је он нешто мањи од коефицијента статичког трења (потребна је нешто већа сила да се тело покрене него да се одржава његова константна брзина).

Слика 2: Зависност силе трења од вучне силе



Из формуле за израчунавање силе трења можемо закључити да се она мења са променом коефицијента трења. Зато гимнастичари, пре него што се попну на разбој, прекривају руке магнезијум карбонатом који упија зној, спречавајући гимнастичара да склизне са разбоја, а поред тога и смањује трење између шака и шипке и олакшава окретање око разбоја. Рукавице за голф дизајниране су тако да повећају трење између шака и дршке палице и чиме омогућују јачи стисак. Подови у балетским салама превучени су смолом јер она даје поду велики коефицијент статичког трења, а знатно мањи коефицијент динамичког трења. Тиме балетским играчима помаже да одрже равнотежу у статичним позицијама, али и да са лакоћом клизају по подлози.

Након што смо описали све нама значајне силе које делују на човека у току физичке активности, размотримо случај када је сума свих ових сила једнака нули.

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

Када је наведена једначина тачна, кажемо да је тело у стању статичке равнотеже. Анализирајмо сада пример:

Пример 2.1. „Strongman“ масе 200kg такмичи се у вучи камиона. Он је каблом прикачен за камион, а у рукама држи конопцац који је закачен за зид испред њега. Он покушава да помери камион али још увек није почео да се креће и

налази се у стању статичке равнотеже. „Strongman“ повлачи камион унапред силом од 2200 N под углом од 14° у односу на хоризонталу и вуче канап испред себе хоризонталном силом од 650 N . Израчунати силу којом подлога делује на „Strongman-а“.

$$Q = mg = (200\text{kg})(-9.81\text{m/s}^2) = -1962\text{N}$$

Нека је F_1 сила којом камион вуче такмичара на назад. Тада важи:

$$F_{1x} = F_1 \cos(14^\circ)$$

$$F_{1x} = 2135\text{N}$$

$$F_{1y} = F_1 \sin(14^\circ)$$

$$F_{1y} = 532\text{N}$$

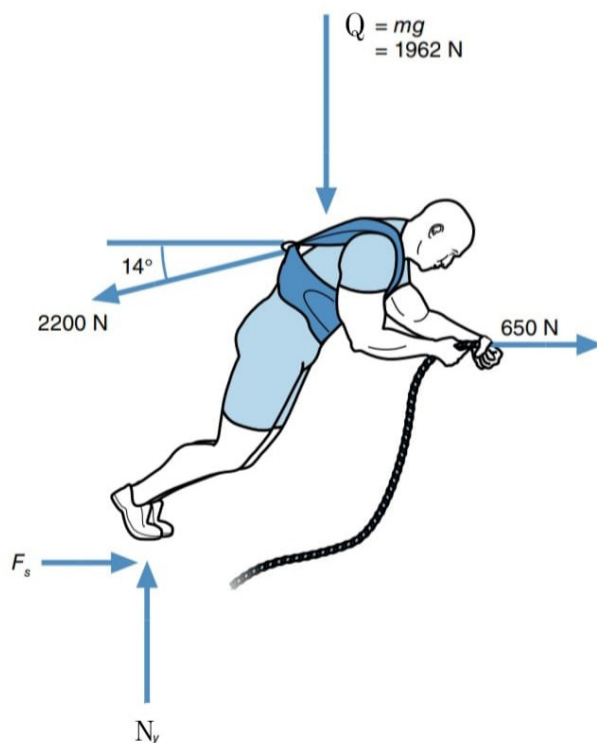
$$\sum_{i=1}^n F_x = F_s + 650\text{N} - 2135\text{N} = 0$$

$$F_s = 1485\text{N}$$

$$\sum_{i=1}^n F_y = N_y - 532\text{N} - 1962\text{N} = 0$$

$$N_y = 2494\text{N}$$

Слика 3:



3 Кинематика

Кинематика је део физике који проучава кретање тела, не обазирјући се на његове узроке. Пажљиве анализе кретања су од пресудног значаја за све тренере, физиотерапеуте и наставнике физичког васпитања. Праћењем постепених промена кинематике покрета може се добити јасна слика о процесу учења нових моторних способности. Такође, анализом покрета може се пажљиво пратити опоравак спортиста после повреде.

3.1 Кинематика праволинијског кретања

Кретање можемо дефинисати као промену положаја. Потребни су нам појмови који описују ту промену. Путања је замишљена линија коју тело описује у току

кретања. Дужина путање назива се пређени пут. Ова физичка величина не узима у обзир смер кретања и зато уводимо и померај. Померај (Δp) је вектор који спаја почетни и крајњи положај тела усмерен од почетног ка крајњем положају. Средња путна брзина је количник пређеног пута и временског интервала утрошеног за прелажење тог пута. Формула Средња векторска брзина је количник вектора помераја и временског интервала у току ког је тај померај направљен. формула Тренутна брзина је гранична вредност којој се приближава средња брзина када временски интервал тежи нули. Формула Јединица за брзину је Брзина је важна у скоро свим спортовима. Код тркача она је условљена дужином корака као и њиховом фреквенцијом (бројем корака у секунди), али и обућом, флексибилношћу мишића, историјом повреда, тврдоћом подлоге. Примећено је да тркачи на дуже стазе повећавају брзину повећавајући дужину корака и истраживања су показала да ово повећање омогућава економичније трчање. Умор изазива скраћивање корака и повећање фреквенције.

Слика графикчић

Одабир временских интервала на којима се мери брзина је веома важан за анализирање трка. Многи спортисти могу да одрже рекордне брзине на почетку трке, али касније успоравају због умора. Постоје и они који намерно контролишу ритам на почетку трке како би на крају достигли максималне брзине. Погледајмо, на пример, податке о Јусеину Болту и Тајсону Геју на трци у Берлину 2009. године.

Овде видимо да су обојица достигла максималну брзину између 60 и 70 m, што се и сматра оптималном тактиком. Након тога обојица успоравају, али Геј успорава више од Болта. Средње убрзање је количник промене брзине и временског интервала у току ког је та промена начињена. Тренутно убрзање је гранична вредност којој се приближава средње убрзање када временски интервал тежи нули. Јединица за убрзање је $\frac{m}{s^2}$. Код криволинијског кретања, у општем случају, тренутна брзина има правац тангенте на путању док убрзање има и тангенцијалну и нормалну компоненту. Тангенцијално убрзање одређује промену интензитета брзине, а нормално промену њеног правца.

$$\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_n$$

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2}$$

Слика 4:

Interval (m)	Usain Bolt		Tyson Gay	
	Interval time (s)	Average speed (m/s)	Interval time (s)	Average speed (m/s)
0-10	1.89	5.29	1.91	5.24
10-20	.99	10.10	1.01	9.90
20-30	.90	11.11	.91	10.99
30-40	.86	11.63	.87	11.49
40-50	.83	12.05	.85	11.76
50-60	.82	12.20	.84	11.90
60-70	.81	12.35	.81	12.35
70-80	.82	12.20	.82	12.20
80-90	.83	12.05	.84	11.90
90-100	.83	12.05	.85	11.76

3.2 Кинематика ротационог кретања

Разумевање кружног кретања од великог је значаја за анализу људских покрета јер већина вољних људских покрета подразумева ротацију делова тела око зглобова. Транслација тела је последица ротације телесних структура око зглобова кука, колена и замишљених телесних оса. Ротационо кретање реквизита (палица, штапова, рекета) је такође важно за спортску биомеханику јер се техника спортиста може драстично поправити његовом анализом.

Дефинишимо сада основне појмове кинематике кружног кретања и наведимо примере из спорта који га илуструју. Радијус-вектор одређује положај тела на кружници и дефинишемо га као вектор који спаја центар кружнице и дато тело. Угаони померај ($\Delta\theta$) једнак је углу између почетног и крајњег радијус-вектора.

Описани угао једнак је количнику одговарајућег кружног лука и полупречника кружнице. Мерна јединица за описани описани угао (и угаони померај) је радијан ($1rad$).

Погледајмо пример који ће нам илустровати како релативно мали помераји мишића узрукују велике помераје спортских реквизита који онда псоледично производе већу снагу (више о томе касније).

Пример 3.1. *Приликом замаха, голферове шаке описују лук од 10 ст. Колики лук опише глава палице ако су голферове шаке одаљене 50 ст, а глава палице 150 ст од осе ротације.*

$$l = 10\text{ст}$$

$$r_1 = 50\text{ст}$$

$$r_2 = 150\text{ст}$$

$$\Delta\theta_1 = \Delta\theta_2$$

$$l_2 = ?$$

$$l = \Delta\theta r$$

$$l = \Delta\theta = \frac{l}{r}$$

$$\frac{l_1}{r_1} = \frac{l_2}{r_2}$$

одакле добијамо $l_2 = 30\text{ст}$.

Средња угаона брзина једнака је количнику угла и временског интервала у току ког је тај угао описан. Тренутна угаона брзина је гранична вредност којој се приближава средња угаона брзина када временски интервал тежи нули. Јединица за угаону брзину је радијан у секунди.

Средња угаона брзина ударачевог замаха у бејзболу, на пример, ће одредити да ли ће он ударити лоптицу, али тренутна угаона брзина је она која одређује колико брзо и колико далеко ће лоптица летети. За гимнастичаре, скакаче у воду и уметничке клизаче важнија је средња угаоуна брзина. Она одређује да ли ће наведени спортисти успети да изведу одређени број окрета или салта пре него што слете или падну у воду.

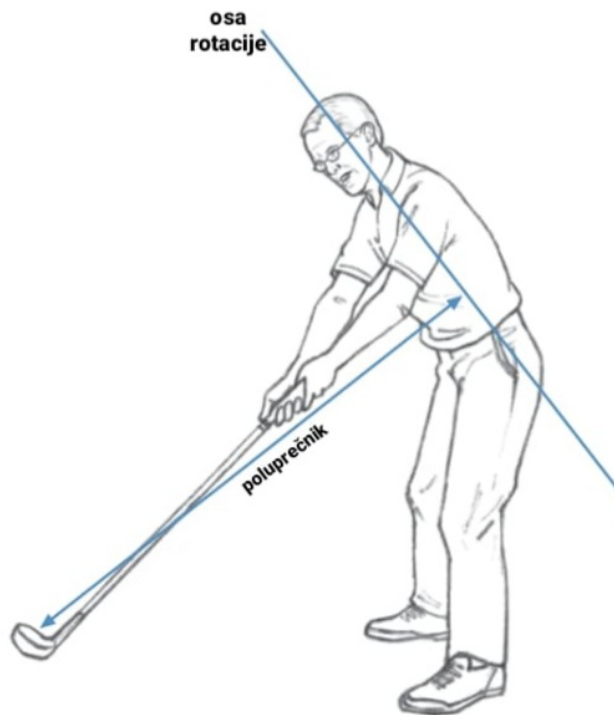
Примећујемо да су физичке величине које описују кружно кретање аналогне онима које описују линеарно кретање. Можемо повући аналогиије између описаног угла и пређеног пута, средње угаоуне брзине и средње путне линијске брзине. Веза између ове две величине је:

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}; \quad \omega = \frac{\frac{\Delta s}{r}}{\Delta t} = \frac{\Delta s}{r\Delta t}.$$

$$\frac{\Delta s}{\Delta t} = v; \quad \omega = \frac{v}{r}; \quad v = r\omega.$$

Ова веза има широку примену у спортовима с реквизитима. Посматрајмо поново палицу за голф. Што је тачка на палици више удаљена од осе ротације њена брзина је већа. Зато се најдуже палице (woods) користе за извођење почетних удараца код којих је потребно да лоптица одлети даље. Њихове главе при замаху имају највећу линијску брзину и самим тим предају највећу брзину лоптици. Палица „продужује“ екстремитете голфера односно радијус-вектор ротације. Поред тога, и техника замаха у голфу фокусира се на додатном продужавању радијус-вектора (слично важи и за остале спортове у којима се користе палице или рекети). На слици ИКС види се да оса ротације главе голф палице пролази кроз кичмени стуб голфера.

Слика 5:



Веза линијских и кружних кинематичких величина присутна је и у покретима без реквизита. На пример, вежбама истезања, спортиста повећава распон покрета

зглоба кука и самим тим и његов угаони померај при прављењу корака (угаона кинематичка величина). Као последица овога повећава се и дужина корака (линеарна кинематичка величина).

Средње угаоно убрзање је количник промене угаоне брзине и временског интервала у току којег је та промена направљена. Тренутно угаоно убрзање је средње угаоно убрзање у бесконачно малом временском интервалу.

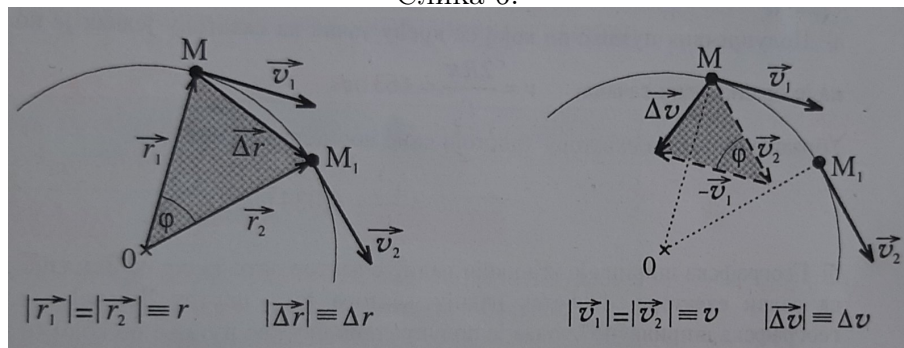
$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}, \quad \Delta t \rightarrow 0$$

Код променљивог кружног кретања долази и до промене линијске брзине па се јавља и тангенцијално убрзање. Веза између њега и угаоног убрзања је:

$$a_t = \frac{r\Delta\omega}{\Delta t} \quad a_t = r\alpha$$

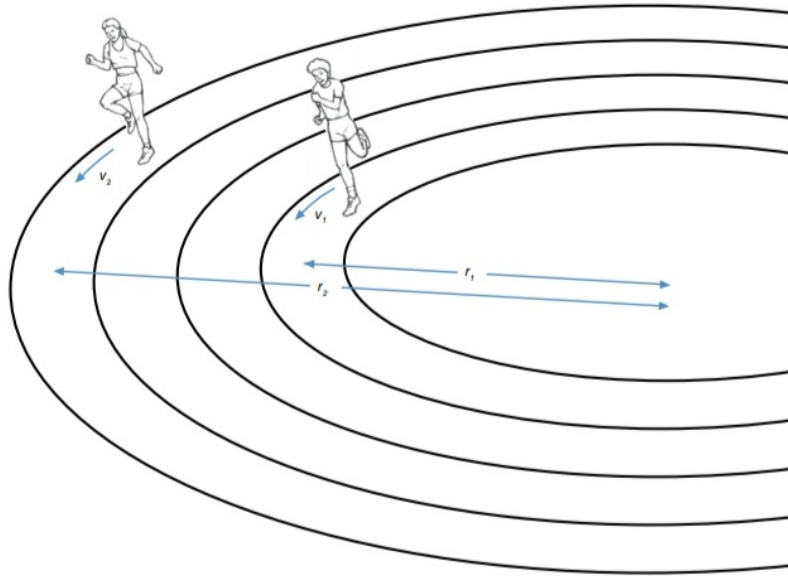
Нормално (или центрипетално) убрзање се јавља и приликом равномерног кружног кретања јер линијска брзина константно мења правац. Усмерено је дуж полупречника ка центру круга. Формула за израчунавање нормалног убрзања добија се из сличности два троугла осенчена на слици ИКС (оба су једнакокрака и углови између вектора линијских брзина и радијус-вектора почетног и крајњег положаја су једнаки јер су им краци нормални)

Слика 6:



Посматрајмо два тркача која су дошла до кривине као на слици ИКС. Обоје трче једнаким линијским брзинама, али радијус-вектор тркача у унутрашњој траци је мањи и самим тим он има веће центрипетално убрзање и на њега делује јача центрипетална сила. Да би остао у равнотежи (по оси деловања центрипеталне силе) потребна је већа сила трења између његових патика и подлоге.

Слика 7: $v_1 = v_2$



Из формуле $v = r\omega$ закључујемо да би бацач кладива морао већом силом да повлачи кладиво ланца дужине 1m него оно са ланцем дужине 0.75m ако би оба вртео истом угаоном брзином.

4 Кинетика

Кинетика је област динамике која проучава кретање тела бавећи се његовим узроцима. Основе динамике поставио је Исак Њутн у свом делу „Математички принципи природне филозофије“ из 1687. године у ком поставља три закона кретања и закон гравитације. Њихов значај за биомеханику спорта је огроман јер објашњава технику иза многих спортских вештина.

4.1 Кинетика праволинијског кретања

Први Њутнов закон: *Свако тело задржава стање мировања или равномерног праволинијског кретања све док не интергује са другим телом.*

Слика 8:



Он имплицира да ће се, на пример, клизач клизати по леду истом брзином без успоравања, али у реалности на њега делују сила трења леда и сила отпора ваздуха.

Тежња тела да задржи тренутно стање назива се инертност. Тело може да мирује или да се креће праволинијски и када на њега делују спољашње силе ако је њихова резултанта једнака нули. Дакле, већ смо прећутно користили Први Њутнов закон када смо причали о статичкој равнотежи.

Други Њутнов закон: *Убрзање тела је линеарно сразмерно сили која на њега делује, а обрнуто сразмерно маси тела.*

$$a = \frac{\vec{F}}{m}$$

Написана у векторском облику ова формула нам говори да ће убрзање тела имати исти правац као и сила која је то тело покренула. На следећем примеру видећемо како можемо да је применимо.

Пример 4.1. *Тркач масе 52kg трчи брзином 5 m/s. Вертикална компонента силе реакције подлоге на његово стопало је 1800 N. Сила трења под његовим стопалом је 300 N. Ако су ово једине две спољашње силе, осим гравитације, које делују на тркача одредити вертикалну компоненту убрзања.*

$$m = 52kg$$

$$N_x = 300N$$

$$N_y = 1800N$$

$$Q = mg = (52kg)(9.81 \frac{m}{s^2}) = 510N$$

$$a_y = ?$$

$$\sum_{i=1}^n F_{yi} = ma_y$$

$$\sum_{i=1}^n F_{yi} = N_y - Q = ma_y$$

$$a_y = (1290N)/(52kg) = 24.8 \frac{m}{s^2}$$

Општији облик Другог Њутновог закона формулисан је преко импулса. Импулс је једнак производу брзине тела и његове масе.

$$m \vec{a} = \vec{F};$$

$$m \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \vec{F}$$

израз $m \Delta \vec{v}$ представља промену импулса, одакле директно добијамо:

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$$

Задатак многих спортиста је да убрзају реквизите, предајући им импулс (спортови с лоптом) док неки морају да повећају импулс свом телу. Велике промене брзине проузроковане су деловањем јаких сила у току дугачких временских интервала. Како људско тело може да произведе силу ограниченог интензитета, техника већине спортова базира се на продужавању временског интервала деловања те силе. Техника шута у рукомету, на пример, укључује цело тело јер је тако лопта у најдужем могућем интервалу изложена сили рукометаша. Када би он лопту бацао користећи само руку, скратио би делта т из горе наведене формуле и самим тим смањено и импулс који предаје лопти.

Постоје спортови који захтевају од спортиста да реквизитима или свом телу смање импулс. На пример код хватања лопте, доскока или примања удараца. Посматрајмо гимнастичарку која прескаче козлић. Приликом доскока ноге су јој савијене у коленима и направила је благи прегиб у куковима. Шта би се десило да се дочека у усправном положају? Једначина која описује њен импулс је (важи закон одржања импулса):

$$\sum_{i=1}^n F \Delta t = m(v_k - v_p)$$

Десна страна једначине остаје непромењена јер ни почетни ни крајњи импулс не зависе од начина доскока (крајња брзина је у оба случаја једнака нули). То значи да и лева страна једначине мора бити једнака у обе ситуације. Прегибањем у зглобовима, гимнастичарка је продужила време које јој је потребно да успори (Δt из једначине) и самим тим пропорционално смањила силу реакције подлоге. Да се дочекала усправно, делта т би било много мање, а сила реакције подлоге велика што би највероватније узроковало пад и оптеретило кичмени стуб.

Како би се додатно смањила сила реакције подлоге и продужило време њеног деловања, гимнастичари доскачу на специјално дизајниране „Sting mat“ струњаче које могу да смање оптерећење кичменог стуба за и до 20%. У скакачким дисциплинама (скок с мотком, скок у вис) такође се примењују струњаче, али оне су много дебље од оних које се користе за гимнастику јер се скакачи дочекују на леђа и немају могућност да мишићима амортизују пад. Иако гимнастичари падају са сличних висина, њихове струњаче су тање па је вероватноћа да додје до повреде већа.

Трећи Њутнов закон: *Ако једно тело делује на друго неком силом, онда и друго тело делује на прво силом истог интензитета и правца, а супротног смера.*

Познат је под називом закон акције и реакције и говори да силе увек долазе у паровима. Прећутно смо га користили када смо причали о сили нормалне реакције подлоге и у примеру 1. Приликом сваког контакта са подлогом у току трчања, на стопало тркача делује сила реакције подлоге навише. Истраживачи мере ове силе како би даље истраживали факторе који утичу на перформанс и повреде. Интензитет вертикалне компоненте силе је углавном између 2 и 3 телесне тежине (мерна јединица).

Постоји још фактора који утичу на интензитет силе реакције подлоге као што су, угао прегиба колена приликом контакта са подлогом, дужина корака, обућа, тврдоћа и храпавост подлоге. Један од фактора који не мења знатно интензитет силе реакције подлоге јесте умор. Иако, можда, звучи логично да ће тврђе подлоге производити силе реакције подлоге већег интензитета, таква повезаност није документована. Сматра се да је то због способности тркача да прилагоде контракцију мишића одговарајућој подлози. Тркачи генерално

повећавају дужину корака када убрзавају, међутим, превелики кораци могу бити контрапродуктивни. Дужим корацима одговарају силе реакције подлоге са већим хоризонталним компонентама. При већим брзинама, способност тркача да изазове деловање сила реакција подлоге са хоризонталном компонентом усмереном ка напред повезује се са способношћу да убрза. Посматрајмо још један пример закона акције и реакције. Двојица играча америчког фудбала наслоњени су један на другог и гурају се. Играч А има два пута мању масу од играча Б, али силе којима они делују један на другог су једнаке. Оно што се разликује је ефекат тих сила. Други Њутнов закон објашњава да ефекат који сила има на дато тело зависи од његове масе и других сила које делују на њега. Зато што је играч Б масивнији и сила трења између његових стопала и подлоге је већа, па ће због свега тога утицај силе којом га одгурује лакши играч бити много мањи него на лакшег играча.

4.2 Моменти сила

Промене у ротационом кретању изазване су моментима сила. Мишићи производе моменте око зглобова и они контролишу покрете екстремитета и целог тела. Моменти сила важни су и за одржавање баланса односно статичке равнотеже о којој је већ било речи.

Момент силе је узрок убрзаног ротационог кретања тела и једнак је производу тангенцијалне силе и радијус-вектора нападне тачке

$$M = rF$$

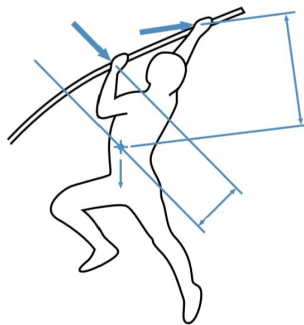
Силе које немају способност да ротирају тело су оне чија је нападна тачка центар масе тела. Моменти сила примењују се у свим спортовима. У веслању, такмичар производи момент који помера весло и самим тим и чамац. Реквизити попут рекета и палица такође суже за повећање момента силе коју спортисти производе. Како људски мишићи производе релативно мале силе, техника већине спортских вештина своди се на продужавање радијуса вектора тих сила.

Мишићи при контракцији стварају силе које вуку скелетни систем преко тачака спајања мишића са њим. Како је сила коју мишић ствара удаљена од осе која пролази кроз зглоб, мишић ствара и момент и ротира дати део тела

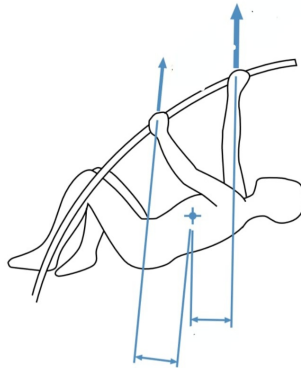
око зглоба. Ова чињеница нашла је највећу примену у конструкцији машина, као и осмишљавање вежби за јачање мишића.

Посматрајмо сада скакача с мотком. У првом случају (слика 9), на њега делују гравитациона сила и силе реакције мотке на обе руке. Обе силе реакције имају моменте, док гравитациона сила нема јер пролази кроз центар масе. У другом случају(слика 10) моменти сила реакције мотке ротираће скакача у смеру супротном од смера казаљке на сату.

Слика 9:



Слика 10:



Већ смо поменули да када је тело у стању статичке равнотеже, резултанта свих сила које делују на њега је једнак нули. Аналогно важи и за резултујући момент.

Постоје спортови у којима такмичари желе да максимално увећају своју стабилност. На пример, рвачи на почетку меча заузимају раскорачан став, стављајући стопала у ширину рамена и правећи прегебе у куковима и коленима. Ово раде јер не знају са које стране ће доћи противнички напад. Савивши се они смањују све радијус-векторе сила којима противник може да делује на њих, смањивши им моменте и самим тим и вероватноћу да буду оборени.

У неким активностима пожељно је смањити стабилност да би се добило на брзини. У тркама са ниским стартом, спринтер помера свој центар масе унапред и подиже руке са подлоге померајући осу центра масе много изван ослонца.

5 Рад, снага и енергија

Рад, снага и енергија Иако помоћу Њутнових закона можемо детаљно описати кретање тела, али често је једноставније приступити описивању на другачији начин и користити законе одржања енергије и импулса. Уведимо зато основне појмове који се користе у том делу механике.

5.1 Рад и енергија

Рад у свакодневном животу има више различитих значења. У математичком смислу он је производ интензитета силе и пројекције вектора помераја на правац силе. Компоненту силе паралелну са путем зваћемо активна компонента. Ова дефиниција важи за силе константног интензитета. За променљиве силе, рад је једнак производу пређеног пута и средње вредности активне компоненте силе на том путу. Јединица за рад је Џул: $J = N \cdot m$

Пример 5.1. *Дизач тегова из бенча диже тег тежине $1000N$. У почетном тренутку руке су му испружене и тег је удаљен 75 м од његовог тела. Он затим спушта тег и зауставља га 5 м изнад свог тела, и поново га подиже на почетну позицију. Ако је просечна сила којом дизач делује на тег $1000N$, колики рад је он извршио приликом овог покрета? Пошто је вектор помераја тегу једнак нули и рад је једнак нули.*

Дефинишимо енергију као способност вршења рада. Механичка енергија може бити кинетичка или потенцијална. Кинетичка енергија подразумева способност вршења рада проузроковану кретањем и рачуна се по формули:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

док потенцијална енергија представља способност вршења рада због положаја тела.

Постоје два типа потенцијалне енергије: потенцијална енергија гравитационе интеракције и потенцијална енергија еластичне опруге. Први тип је енергија коју тело има због свог положаја у односу на Земљу и рачуна се као $E_p = mgh$, док је други тип једнак раду који опруга изврши прелазећи из деформисаног у недеформисано стање и рачуна се по формули $E_p = \frac{kx^2}{2}$.

Потенцијална енергија еластичне опруге у спорту се јавља када тркачи савију еластичне препоне, или у стреличарству приликом затезања лука. Да бисмо демонстрирали везу између рада и енергије, вратимо се на пример некибр. Приликом подизања тега кинетичка енергија тега се није променила (и почетна и крајња су једнаке нули), међутим, промењена је његова кинетичка енергија. Дакле закључујемо да рад који извршавају спољашње силе изазива промену енергије тела на које те силе делују. Укупан рад свих сила које делују на тело једнак је промени кинетичке енергије тела.

$$A = E_{k2} - E_{k1}$$

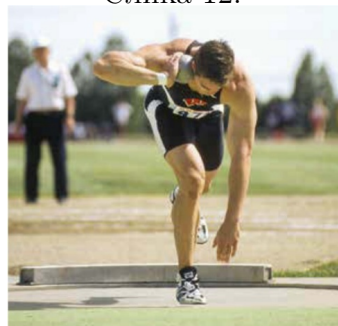
Дакле на основу ове везе можемо претпоставити да технике спортских вештина фокусира на максимизацији извршеног рада уз трошење што мање енергије. Узмимо за пример еволуцију технике бацања кугле. Правила налажу да у току бацања, такмичар мора остати унутар круга пречника $2.13m$. Слика 9 показује како је изгледао почетни став почетком 20. века. Постепено техника је еволуирала и бацачи су све више окретали рамена задњем делу круга. Већа ротација рамена омогућавала је да кугла има већи померај пре него што ће бити бачена. Повећавао се и рад извршен над куглом па самим тим и механичка енергија кугле. Данас почетни став изгледа овако.

Технике доскока и хватањаце ослањају на везу између рада и енергије, осим што се оне фокусирају на апсорбовање енергије. Све заштитне опреме у контактним спортовима такође користе овај принцип.

Слика 11:



Слика 12:



5.2 Закони одржања импулса и енергије

Закон одржања импулса изводи се из Другог Њутновог закона и тврди да је укупан импулс изолованог система тела током времена константан.

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} = F$$

$$F = 0$$

$$p = \text{const}$$

Судару су од великог значаја за спорт (спортови с лоптом, али и контактни спортови) и они се лако могу анализирати помоћу закона одржања импулса. Деле се на еластичне и нееластичне. Код еластичних судара, тела која су се сударила се раздвајају се без унутрашњих промена. При судару се један део механичке енергије „изгуби“, односно претвори се у неки други облик енергије. Судар у којем је промена механичке енергије једнака нули називамо апсолутно еластичним сударом. Овакви судари у пракси не постоје и нису нам од великог значаја. Нееластични судари подразумевају да дође до унутрашњих промена у

судареним телима и промена механичке енергије система. Апсолутно нееластичан судар је онај након којег се сударена тела спајају и настављају даље кретање као једна целина. Пример апсолутно нееластичног судара можемо потражити у америчком фудбалу. Судари играча су саставни део сваке утакмице и исход тих судара у многоне одређује исход саме утакмице. Овај спорт ставља акценат на импулс, па су најуспешнији играчи они који имају најбољи баланс брзине и масе. Пример некибр: Фул бек (позиција) масе 80 kg судара се са лајнбекером масе 120 kg. Пре судара, фул бек се кретао брзином 6 m/s према гол линији, а лајнбекер се кретао у супротном смеру брзином 5 m/s. Ако је судар био потпуно нееластичан, да ли ће фул бек успети да постигне тачдаун? ЛАТЕК Како су савршено еластични и нееластични судари ретка појава у стварности, уводи се коефицијент реституције. Он представља однос релативних брзина сударених тела након и пре судара и зависи од њихових карактеристика.

$$e = \left| \frac{v_1 - v_2}{u_1 - u_2} \right|$$

Пример 5.2. : *Маса лоптице за голф је 46 g, а маса главе штапа је 210 g. Непосредно пре судара, брзина главе штапа је 50 m/s. Ако је коефицијент реституције између лоптице и штапа 0.80 одредити брзину лоптице након судара.*

$$m_1 = 46g, m_2 = 210g, u_1 = 0, u_2 = 50 \frac{m}{s}, e = 0.8, v_1 = ?$$

$$m_1 u_1 + m_2 u_2 = m_1 v_1 + m_2 u_2$$

$$v_2 = e(u_1 - u_2) + v_1$$

Када заменимо другу једначину у првој добијамо

$$v_1 = 74 \frac{m}{s}$$

Коефицијент реституције реквизиата је регулисан правилницима. Палица за голф из нашег примера је регуларна јер Америчка Голф Асоцијација дозвољава максималан коефицијент реституције од 0.830.

Укупна механичка енергија система једнака је збиру свих потенцијалних и кинетичких енергија тела у том систему. Закон одржања енергије гласи: Механичка енергија изолованог система је константна, ако су све унутрашње силе конзервативне односно ако њихов рад зависи само од почетне и крајње позиције тела над којим је извршен.

Из везе рада и енергије добијамо $A = E_{k2} - E_{k1}$, а из дефиниције конзервативне силе добијамо да је њен рад једнак разлици потенцијалних енергија у почетном и крајњем положају. Из ове две формуле директно следи да је

$$E_k + E_p = \text{const}$$

Закон одржања енергије има велику улогу у прорачунима везаним за спортове који захтевају извођење разних врста хитаца.

5.3 Снага

Способност спортисте да изврши велики рад над објектом или делом тела је од кључног значаја у већини спортова, али некада се од њега захтева да тај рад изврши у кратком временском периоду. Ту на сцену ступа снага коју можемо дефинисати као брзину вршења рада.

$$\begin{aligned} P &= \frac{A}{t} \\ \text{Даље} \quad P &= \frac{Fd}{t} \\ P &= Fv \end{aligned}$$

Снага коју производимо је пореклом из наших мишића. Из последње формуле можемо закључити да се са повећањем брзине контракције мишића смањује максимална сила контракције. Највећу снагу мишић произведе када се контрахује брзином која је једнака половини његове максималне брзине.

Снага представља својеврсно ограничење у спорту. Дужина трајања физичке активности смањује количину снаге коју спортиста може да произведе. Спринтер може да произведе огромну снагу у кратком временском интервалу, док је код маратонца снага распоређена на дужи временски период али има мањи интензитет него код спринтера.

6 Закључак

У овом раду покушала сам да илиструјем основне механичке принципе и њихове примене у спортским активностима.