

Зоран Пајић,
Душко Илић,
Владимир Мрдаковић,
Ненад Јанковић,
Жељко Рајковић

796.422.015.52
796.422.012.114
Изворни научни чланак

УТИЦАЈ ТРЕНИНГА СА ИНЕРЦИОНИМ ОПТЕРЕЋЕЊЕМ НА СПОСОБНОСТ РАЗВОЈА СИЛЕ И МАКСИМАЛНУ БРЗИНУ ТРЧАЊА

Физичка култура, Београд, 62 (2008), 1-2, стр. 29-47, таб. 7, граф. 4, лит. 35

Сажетак

Циљ овог истраживања је био да се, у оквиру тренинга са применом додатног инерционог оптерећења, изазову промене у моторичким перформансама трчања максималном брзином, као и да се у посматраним варијаблама утврде адаптациони процеси за које се претпоставља да значајно утичу на максималну брзину трчања. Реализован је експеримент са паралелним групама, при чему је деловање експерименталног фактора (инерционо оптерећење) било у два нивоа. Прва, контролна група (К) реализовала је прописани тренинг спринта, слободно, односно није примењивала додатно оптерећење. Друга експериментална група (Е-Р) трчала је са оптерећењем причвршћено на рукама, а трећа експериментална група (Е-Н) са оптерећењем на ногама. Истраживање је обухватило иницијално и финално мерење варијабли убрзања и максималне брзине трчања (VTF1 и VTF2) при трчању максималним спринтом на 50м. Такође, праћене су и варијабле прираста силе и релативизоване силе - коефицијент прираста силе екстензора у зглобу колена - (к - ЕКОЛ), коефицијент прираста силе плантарних флексора стопала - (к - PFST), ниво силе екстензора у зглобу колена достигнут у стотој милсекунди (F_{100ms} - ЕКОЛ), ниво силе плантарних флексора достигнут у стотој милсекунди (F_{100ms} - PFST), екстензора у зглобу колена (ЕКОЛ/г), плантарних флексора стопала (PFST/г). Примењени тренажни третман је на нивоу статистичке значајности ($p < 0.05$), утицао на развој **снаге** испитаника, јер је примењено мало оптерећење са максималном брзином извођења. Дошло је до значајне промене у нивоу варијабли **брзине развоја силе** екстензора колена (к-ЕКОЛ) и плантарних флексора стопала (F_{100ms} PFST) код групе са оптерећењем на ногама Е-Н и контролне групе К. Истовремено је код свих група значајно повећана сила и екстензора и плантарних флексора. Брзина трчања се повећала код Е-Р и то у фази убрзања. Због повезаности максималне брзине трчања и варијабли силе преко утицаја на **снагу**, може се утицати и на максималну брзину трчања. Деловањем експерименталног фактора у тренингу за развој снаге малим оптерећењима и максималном брзином извођења, повећао се ниво прираста силе, а резултат таквог рада је повећана снага у зони нижих оптерећења, при већим брзинама извођења. Варијабле мишићне силе можемо сматрати предикторним када је у питању максимална брзина трчања с обзиром да постоји њихова велика повезаност са трчањем максималном брзином. Показана је изражена доминација варијабли максималне силе у фази убрзања, док је утицај варијабли брзине развоја силе (RFD) у фази максималне брзине трчања остао дискутабилан.

Кључне речи: ИНЕРЦИОНО ОПТЕРЕЋЕЊЕ / МАКСИМАЛНА БРЗИНА ТРЧАЊА / БРЗИНА РАЗВОЈА СИЛЕ / РЕЛАТИВИЗОВАНА ИЗОМЕТРИЈСКА СИЛА

УВОД

Посебно интересантан проблем за истраживаче и тренере представља **утицај специфичних тренажних услова** на кинематику и динамику трчања. Из тог аспекта посебно су интересантне квантитативне и квалитативне промене одређених кинематичких и динамичких варијабли, које су у току тренинга изазиване применом спољних фактора, посебно **инерционих оптерећења**. О овоме не постоји довољан број истраживања па овај рад користи парадигме и закључке следећих истраживања.

У **испитивању повезаности** варијабли моторичког простора са перформансама трчања максималном брзином појављују се извесна **неслагања**. Сматра се да су она резултат структуралних, неуралних и механичких разлика у испољавању мишића између динамичких и изометријских тестирања силе и снаге, као и начина третирања варијабли у смислу примене њихове апсолутне и/или релативизоване вредности. Поједине студије су показале значајне корелације између неких фактора снаге и брзине (Mero et al., 1981; Alexander, 1989; Mero, 1985, према Young et al., 1995), док друге пријављују ниску или незначајну везу (Berg et al., 1986; Farrar & Thorland, 1987). Претпоставља се да је ова изражена дискрепанца резултат истраживања на различитим узорцима и то према полу, узрасту и такмичарском нивоу. Такође, сматра се да би специфичност испољавања снаге у спринту могла утицати на резултат. Поменути истраживачи, који су утврдили незначајну везу између брзине и снаге тестирали су у условима изометријске и/или концентричне контракције, а за разлику од њих велики број истраживача је пријавио значајне везе посматрајући ексцентричну и/или циклус скраћење издужење мишићне контракције – (SSC).

Испитивања **повезаности брзине трчања са максималном изометријском силом** показивала су различите резултате.

На повезаност указују радови Вилсона (1996), који је нашао корелацију максималне изометријске силе екстензора колена са брзином трчања ($r = .62$) и Меро-а (1981), са трчањем на 30 м ($r = .62$). Јанг и сар. (1995) су утврдили да између максималне изометријске силе и брзине

трчања постоји већа корелација него између максималне изометријске силе и стартне брзине током почетне фазе убрзања. Најбољи појединачни предиктор максималне брзине била је сила нормализована телесном масом - ТМ, генерисана 100мс након старта, при чему је корелација износила ($r = .80$). Прираст силе у току 100 мс показује највећу корелацију са брзином трчања. Ова мера силе је изабрана, јер се показало да је просечно време контакта када се трчи максималном брзином било 101мс за мушкарце (просечно време испитаника на 100м је 10.62с) и 108 мс за жене (просечно време испитаница на 100м је 12.22с).

У процени односа брзине и максималне силе Јанг и сар., (1995) су утврдили високу корелацију ($r = -.79$, $p < .03$). При томе је релативизована сила (F/tm) са брзином трчања показала знатно нижу корелацију ($r = -.26$, $p < .05$). Корелација између максималне силе и брзине на старту (време на 2.5 м) није била значајна на нивоу $p < .05$, ($r = -.72$, $p < .07$) као и корелација ($r = -.44$) између брзине на старту и релативизоване силе (према маси тела). Ови резултати указују на повезаност максималне (апсолутне) силе са брзином, што није случај и са релативизованом силом. Сличне налазе пријављују у свом истраживању Меро и сар., (1992) упућујући на мишљење да релативизована и апсолутна сила нису значајне за брзину на старту.

Супротно томе, постоје радови у којима се указује **на ниске корелације** између брзине трчања и максималне изометријске силе. Тако је Вилсон (1995) са трчањем на 30м нашао корелацију ($r = .08$), Консидин и сар. према Вилсону (1996) су такође, утврдили ниску корелацију ($r = -.19$ до $r = .36$) између максималне изометријске силе и брзине трчања (убрзања) на 5м и 10м. Хакинен (1987) је утврдио значајну повезаност између изометријске силе и скока у вис из места ($r = .81$) и скока у вис из получучња ($r = .80$), док је испитивао силу екстензора колена (18 кошаркаша и кошаркашица).

Важност временске шеме испољавања **снаге** за спринтерско извођење још није у потпуности разјашњена. У већини истраживања динамички тестови за процену снаге су показали значајну повезаност са максималном брзином и убрзањем у трчању максималном брзином. Јанг и сар. (1995) су утврдили да 16 од 27 мера снаге корелирају са стартном способношћу. При

томе највећа корелација је била за максималну динамичку снагу (*МДС*) релативизовану према маси тела и износила је ($r = .86$).

Објашњење за ову корелацију могла би бити специфична природа ове мере снаге у односу на стартно убрзање. Процедура тестирања скока је захтевала да се *МДС* изведе из угла 120° , који је сличан углу од 126° што одговара позицији ноге у блоку. Тестови скока у вис из места су показали следеће корелације са максималном брзином трчања $r = 0.68$, (Mero & Callister - према Abernethy, 1995); $r = .77$, (Young et al., 1995). И неке друге студије (Mero et al., 1981; Tharp et al. i Costill., према Young et al., 1995) су показале значајне корелације између брзине трчања и мера вертикалног одскока. У истраживању Јанг и сар., (1995) су утврдили да је скок с одређене висине - *drop jump (DJ)* продуковао релативно малу флексију у зглобу колена и кратко контактено време (163мс) у скоку од 60цм. Меро (1985) је пријавио значајну корелацију ($r = .72$) између *DJ* од 50цм висине и максималне брзине.

Релативизована снага остварена у серији скокова 15с показала је високу корелацију ($r = .79$, Young et al., 1995). Врло високе корелације су забележене између брзине трчања на 60м и механичке снаге, процењене динамичким тестом серије скокова увис за 15с, а износе $r = .84$ према Јангу и сар., (1995); и $r = .70$ како наводе Меро и Калистер (према Abernethy, 1995). Ниже корелације су забележене између скока у вис и величине силе испољене за првих 350 мс изометријске контракције екстензора колена (Baker, 1994), што не чуди имајући у виду претходне резултате, као и на млађем узорку (14 година) између спринта на 30 м и серије скокова за 60 с ($r = .56$).

Према приказаним резултатима може се закључити да **динамички тестови дају релативно поузданије резултате о способности ма изведеним у динамичким условима**, него изометријски тестови, што се може подржати чињеницом да се при извођењу изометријских и динамичких тестова реализују мишићне активности под утицајем различитих неуро-мускуларних механизма. Динамичке тестове (скокови, трчање максималном брзином) карактерише повратни режим рада мишића који се заснива на коришћењу енергије еластичне деформације. Тестови појединачних скокова у вис или серије скокова мере, не само снагу хемо-механичких процеса,

већ и механичку енергију из еластичних елемената везивно-мишићног система.

На основу претходног могу се поставити прагматична питања чијим решавањем би се дао још већи допринос решавању третиране проблематике. Требало би испитивати квалитет и квантитет повезаности између тестова мишићне силе и карактеристика покрета при максималној брзини трчања, као и везу тестова за процену брзине развоја силе и максималне изометријске силе.

У том смислу се поред максималне изометријске силе (F_{max}), на забележеном сигналу промене силе у времену, идентификују и **варијабле за процену брзине развоја силе**. Најчешћи тест брзине развоја силе је процена прираштаја силе (*RFD*¹⁾ који се рачуна као максимум првог извода временске функције силе (Матавуљ, 1998; Wilson & Murphy, 1996) или као нагиб криве у датом тренутку у односу на почетак развоја силе (Aagaard et al., 2002).

Постоје и други тестови за процену брзине развоја силе. Најчешће примењивани критеријум је величина интервала између два постигнута нивоа сила²⁾ нпр. ($T_{30\%-90\%}$), а они се одређују релативно у односу на максималну изометријску силу (Slievert & Wenger, 1994). Међутим, неки други аутори предлажу да се брзина развоја силе одређује **временом** које је потребно **да се достигне одређени ниво силе** у односу на нулти ниво (Wilson & Murphy, 1996) или **достигнутим нивоом силе у задатом тренутку** времена (Izquierdo et al., 1999), што је примењено у овом истраживању, при процени достигнутог нивоа силе у стотој милисекунди.

Приликом примене инерционих оптерећења долази, пре свега, до промене момента инерције, а услед тога и до прилагођавања кинематике кретања оптерећених екстремитета. При томе пресудну улогу има контрола елемената неуромускуларног система, а у смислу повећања мишићног рада, који се превасходно манифестује у временској шеми интезитета силе и снаге (Martin & Cavanagh, 1990; Nilsson & Thorstensson, 1987).

Сила гравитације је важан фактор и у великој мери одређује понашање мишића и функ-

¹⁾ RFD (rate of force development) – период развоја силе - коефицијент експлозивности који се одређује као максимум првог извода временске функције силе.

²⁾ Ниво прираста силе, при изометријској мишићној акцији (Cavagna, 1988), достиже највишу вредност између 0.15 и 0.25 с (Stone et al., 2001), што одговара приближно једној трећини максималне брзине скраћења мишића.

ционалну адаптацију. Нека истраживања су показала брзу адаптацију (неколико дана) и на силе које нису гравитационе (Lackner, 1981; Lackner & Graybiel, 1982 према Bosco et al., 1986).

У већ поменутом експерименту (Evans et al., 1983) при коме је вршено трчање на тредмилу са додатним оптерећењем, праћењем ЕМГ активности, утврђена је већа испољена сила, него у раду без додатног оптерећења.

Висина постигнута при скоковима из чучња изведеним са 5кг додатног оптерећења у пост-тесту (43,2 цм) била је слична оној у прет-тесту када је одскок из чучња вршен без додатног оптерећења (42,9 цм). Ово јасно указује на брзу адаптацију на 5кг које је заправо било просечно додатно оптерећење које су испитаници носили (Bosco et al., 1986).

Извођење скока из чучња и производња механичке снаге током 15с скакања су у високој корелацији са процентом влакана брзог трзаја у мишићу *vastus lateralis*. Стога, сасвим је разумно претпоставити да се повећање активације фазичних моторних јединица одиграло у условима додатног оптерећења (Bosco et al., 1986).

Како наводе (Bosco et al., 1986), после три недеље редовног интензивног тренирања са додатним оптерећењем, контролна група није показала никакве промене ни у једној механичкој варијабли која је испитивана ($p < 0.05$). За разлику од ње, **(F-v) релација** експерименталне групе после вежбања померила се у десно. Значајно померање (F-v) криве у десно јасно показује да је вежбање са додатним оптерећењем ефектно модификовало механички рад мишића ногу код спортиста експерименталне групе. Напредак је био хомоген и статистички значајан ($p < 0.05-0.001$) у свим деловима криве.

У свом истраживању (Nilsson & Thorsensson, 1987) приметили су повећања у просечној створеној механичкој снази у 15с скокова ($p < 0.05$) и приликом скокова са висине ($p < 0.05$). Такође, није било статистички значајних разлика пре-тест и пост-тест резултата (Δh) за (СМЈ) одскок и доскок из чучња.

У трчању максималном брзином са додатним оптерећењем, утиче се на механизам повратног режима рада мишића. **Претпоставља се да би оптимално додатно оптерећење примењено као тренажно средство могло значајно допринети у унапређењу способности развоја силе уз**

услове да не утиче негативно на кинематику трчања.

Даље проучавање ефеката примене додатног оптерећења као тренажног стимулуса, могло би бити од значаја из практичног и теоријског аспекта, а основни проблем би могао бити у испитивању адаптационих процеса који су директна последица његове примене. Детаљним проучавањем улоге додатних оптерећења омогућило би се њихово ефикасније коришћење као потенцијалних тренажних стимулуса за развој максималне брзине трчања.

Примена спољашњег оптерећења при трчању максималном брзином већ је сугерисана као потенцијални метод тренинга (Allemeier et al., 1994; Bosco et al., 1986; Стефановић, 1979). Овакав тренинг трчања максималном брзином са додатним оптерећењем (Delecluse et al., 1995) би требао бити ефикасан ради омогућавања конверзије увећане мишићне силе у мишићну снагу (Sleivert et al., 1995).

Несумњиво је да одређене варијабле развоја силе утичу једним делом на способност брзине трчања. Удео ових механизма је више индиректан из разлога што је трчање комплексна активност која зависи од много других способности (технике, морфологије тела...). Претпоставља се да и из овог разлога постоје различити резултати у степену корелације варијабли изометријских тестова и спринтерских способности. На основу претходно објашњеног, значајније је пратити на који начин се одређени механизми (способност брзине развоја силе) мењају под утицајем тренинга који задржава основну кинематичку шему трчања, него што је то праћење степена корелације између варијабли изометријских тестова и брзине трчања.

Две основне претпоставке у овом истраживању су да ће: (1) задато инерционо оптерећење у тренингу развоја брзине трчања значајно утицати на унапређење способности развоја силе и брзине развоја силе мишића екстензора колена и плантарних флексора; (2) задато инерционо оптерећење у тренингу развоја брзине трчања значајно утицати на развој способности убрзања и максималне брзине трчања.

МЕТОДЕ

Узорак испитаника

Узорак испитаника у овом истраживању сачињавали су студенти Факултета за спорт и физичко васпитање у Београду (Табела 1). Из актуелне популације дефинисан је узорак студената (n=18).

Студенти су у време извођења истраживања били здрави и без повреда локомоторног апарата. У односу на иницијално време спринта испитаници су разврстани у три групе у зависности од брзине трчања. Групе су формиране покушавајући да се у њима направи једнака дистрибуција способности. Испитаници су потврдили формални писмени пристанак пре учешћа у истраживању.

Табела 1. Дескриптивни показатељи за испитанике сваке групе

	АС за сваку групу ± С.Д. (N=6)		
Варијабле	1 К	2 Е-Р	3 Е-Н
Узраст (год.)	20.8±1.8	20.2±1.12	20.4±1.7
Висина (цм)	176.3±9.0	177.8±11.2	178.4±8.12
Маса (кг)	69.36±11.7	72.7±7.8	71.4±8.5
50м - време (с)	6.83±0.24	6.63±0.65	6.81±0.44

1К – контролна група; 2(Е-Р) – експ. група са оптерећењем на рукама;
3Е-Н – експ. група са оптерећењем на ногама

Мерења и варијабле

У експерименту су из моторичког простора испитаника измерене варијабле силе и брзине развоја силе оних мишићних група за које се претпоставља да својим активностима значајно доприносе испољавању максималне брзине трчања.

Варијабле силе

Мерење свих варијабли силе је реализовано помоћу електронског динамометра СПРЕБАР ИФ-5 који се састојао од мерног претварача (сонде) и појачивача са дисплејом, компатибилног са вишеканалним аналогно-дигиталним конвертором -1401 плус (*Cambridge Electronics Device - CED*) и применом *SIGAVG* софтвера. Аквиизиција резултата и криве је реализована применом апликативног софтвера *SPIKE2 for Windows version 3.10*. Снимљени сигнал је представљао временску функцију реализоване максималне изометријске силе.

Процена релативизоване изометријске силе $F(r)$

Процена релативизоване изометријске силе $F(r)$ реализована је уз примену алометријског метода³⁾ дељењем максималне изометријске силе са производом масе и алометријског параметра⁴⁾ према формули:

$$F(r) = F_{\max} / m * b$$

где је:

$F(r)$ - нормализована вредност максималне силе;

F_{\max} – максимална изометријска сила;

m – маса тела;

b – алометријски параметар.

³⁾ Представљени преглед литературе препоручује примену алометријског метода где је мишићна јачина забележена било као мишићна сила, било као мишићни момент силе. Препоручени метод нормализације требало би да обезбеди поузданије резултате тестова мишићне јачине упоредиве са резултатима осталих студија.

⁴⁾ Са циљем да се процени индекс мишићне јачине независан од телесних димензија алометријски параметар (b) требао би бити $b=0.67$ за мишићну силу (забележену динамометром) или $b=1$ за мишићни момент силе (забележен изокинетичким апаратом).

С обзиром да су телесне димензије фактор који утиче на резултате тестова мишићне силе, нормализација мишићне силе у односу на телесне димензије је реализована да би се елиминисао њихов ометајући утицај.

Измерене су варијабле силе:

- екстензора у зглобу колена (**EKOL**)
- плантарних флексора стопала (**PFST**)

Процена брзине развоја силе (момента силе)

Способност мишића да одговарајућом брзином развију силу (или момент силе)⁵⁾ је идентификована из забележене временске функције сигнала силе. Мерење је обављено на плантарним флексорима у скочном зглобу (**PFST**) и екстензорима у зглобу колена (**EKOL**). Прираштај силе (**RFD**)⁶⁾ или коефицијент експлозивности израчунава се као однос максималне силе и времена потребног за њено реализовање тј:

$$(k) \text{ или } (RFD) = F_{\max} / t_{\max}$$

при чему је:

F_{\max} - максимална достигнута сила;

t_{\max} - време за које је максимална сила реализована (разлика од почетка МВЦ до тренутка достигнуте максималне силе).

Измерене су варијабле:

- коефицијент прираста силе екстензора у зглобу колена - (**k - EKOL**)
- коефицијент прираста силе плантарних флексора стопала - (**k - PFST**)

С обзиром да просечно трајање контакта са подлогом у спринту траје приближно око 100 мс, идентификован је интензитет силе до-

⁵⁾У процени неуромишићне функције значајна је процена брзине развоја силе с обзиром да је време неопходно да се развије адекватан ниво силе у одређеним спортским дисциплинама детерминишући фактор ефикасности (Wilson & Marphy 1996).

⁶⁾RFD - rate of force development - период развоја силе, одређује се као максимум првог извода забележеног сигнала силе у времену (Haff et al., 1997; Wilson & Marphy 1996), или као нагиб криве у датом тренутку у односу на почетак развоја силе (Aagaard et al., 2002).

стигнут у стотој милисекунди (F_{100ms}) од почетка контракције.

Измерене су варијабле:

- ниво силе екстензора у зглобу колена достигнут у стотој милисекунди ($F_{100ms} - EKOL$)
- ниво силе плантарних флексора достигнут у стотој милисекунди ($F_{100ms} - PFST$)

Протокол експеримента

Реализован је експеримент са паралелним групама при чему је деловање експерименталног фактора (инерционо оптерећење) било у два нивоа. Прва, контролна група К реализовала је прописани тренинг спринта, слободно, односно није примењивала додатно оптерећење. Друга, експериментална група Е-Р трчала је са додатним оптерећењем које је причвршћено на рукама. Трећа, експериментална група Е-Н трчала је са додатним оптерећењем које је причвршћено на ногама.

Експериментални фактор

У циљу повећања момента инерције ногу и руку у тренажној процедури је примењено додатно оптерећење у виду манжетни са плочицама, фиксираним на скочни и ручни зглоб. У складу са претходним истраживањима и постигнутим резултатима (Ropret et al., 1998; Stegemann, 1981) примењено је оптерећење од 1.8 кг за које је израчунато да у просеку мења обртни момент инерције сегмената за око 50%.

Процедура тестирања

Истраживање је обухватило иницијално и финално мерење свих варијабли. Оба мерења су реализована у два дана и то иницијално мерење (претест) један дан пре почетка примене тренажне процедуре, а финално два дана након завршетка тренажне процедуре. Мерење динамичких и кинематичких варијабли је реализовано при трчању максималном брзином на стази од 50м. Сваки испитаник је трчао два пута, а за коначну обраду је коришћен бољи резултат (мање укупно време). Мерни уређаји (фотоћелије - *Brower timing system*)

су постављени на старту, тако да региструју старт из места (0.5м), затим након 25 м, и на крају на 50м. На овај начин у једном трчању регистровани су одговарајући кинематички параметри у оквиру фазе убрзања (0 - 25м) и фазе максималне брзине (25 - 50м). Измерене су вредности са тачношћу од 0,01с.

Тренажна процедура

Сваки испитаник се загревао пре тренинга применом спринтерских вежби (ђог, високо дизање колена, грабећи корак, скип - полускип трчање, итд.), праћених динамичким истезањем битних мишићних група укључених у спринт. Затим је следила серија убрзања са променама ритма трчања. Након загревања спортисти су изводили своје посебне тренажне процедуре. За време шестонедељног експеримента тренинзи су извођени 3 пута седмично. Интензитет тренинга је прогресивно растао, а обим рада је повећаван након сваке две седмице. У прве две седмице сваки испитаник је изводио једну серију од пет понављања његовог специфичног тренажног режима. За време треће и четврте тренажно оптерећење се повећало на две серије по пет понављања. Задње две недеље интензитет је био повећан на три серије по пет понављања за сваку групу. Једна серија се састојала од пет понављања,

а трчало се максималном брзином 50м, из полу-високог старта, са 2-3мин. одмора између сваког трчања, са 8-10 минута опоравка између серија.

Аквизиција експерименталних резултата

Од дескриптивних статистичких показатеља примењене су мере централне тенденције (аритметичка средина), као и мера дисперзије (стандардна девијација). Од метода квалитативне статистичке анализе примењена је статистичка процедура **T-тест за зависне узорке**.

Ниво значајности од $p < 0.05$ је примењен да би се утврдила значајност разлика између пре теста и пост теста за сваку групу. Сви подаци су обрађени применом апликативног статистичког софтвера *SPSS* (12.0)

РЕЗУЛТАТИ

Просечне вредности моторичких варијабли **брзине развоја силе, релативизоване максималне изометријске силе**, као и времена постигнутих у фазама убрзања и максималне брзине трчања на **иницијалном** и **финалном** мерењу, приказани су у табелама 2, 3 и 4, као и графикама 1-4.

Табела 2. Просечне вредности моторичких варијабли **брзине развоја силе, релативизоване максималне изометријске силе**, као и времена постигнутих у фазама убрзања и максималне брзине трчања на **иницијалном** и **финалном** мерењу за контролну групу К.

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	I-k-EKOL	400,3033	6	103,37850	42,20409
	F-k-EKOL	511,7800	6	97,56706	39,83159
Pair 2	I-k-PFST	440,1450	6	92,68196	37,83725
	F-k-PFST	441,2233	6	69,55051	28,39388
Pair 3	I-F _{100ms} EKOL	106,2633	6	12,57605	5,13415
	F-F _{100ms} EKOL	110,4867	6	19,65936	8,02590
Pair 4	I-F_{100ms} PFST	135,3683	6	37,03584	15,11982
	F-F_{100ms} PFST	194,4450	6	54,13758	22,10158
Pair 5	I-EKOL	28,7800	6	4,87860	1,99168

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
	F-EKOL	30,7067	6	4,23671	1,72963
Pair 6	I-PFST	75,0850	6	6,62234	2,70356
	F-PFST	83,8550	6	7,49578	3,06014
Pair 7	I-VTF1	3,7833	6	,18790	,07671
	F-VTF1	3,7317	6	,18713	,07639
Pair 8	I-VTF2	3,0500	6	,13755	,05615
	F-VTF2	3,0917	6	,17882	,07300

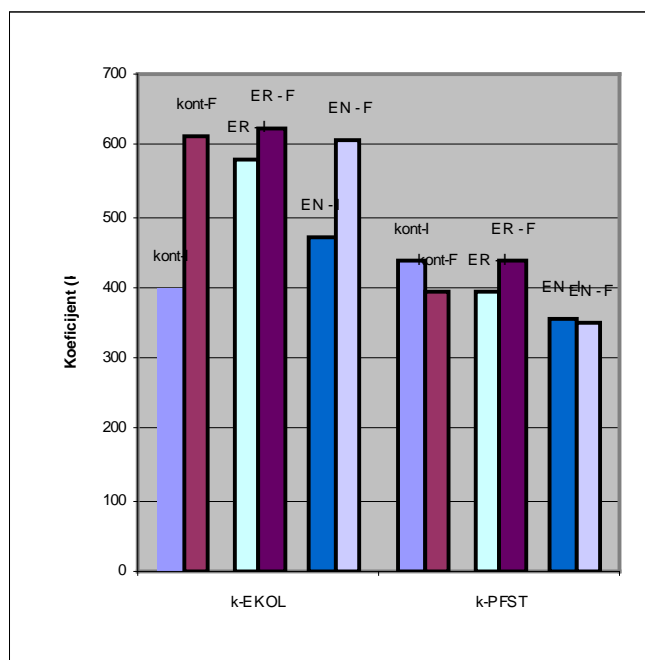
Табела 3. Просечне вредности моторичких варијабли **брзине развоја силе, релативизоване максималне изометријске силе**, као и времена постигнути у фазама убрзања и максималне брзине трчања на **иницијалном и финалном** мерењу за експерименталну групу Е-Р.

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	I-k-EKOL	582,0817	6	246,25512	100,53323
	F-k-EKOL	624,0250	6	106,07041	43,30306
Pair 2	I-k-PFST	393,1783	6	45,98354	18,77270
	F-k-PFST	439,6650	6	42,76132	17,45724
Pair 3	I-F _{100ms} EKOL	110,8183	6	18,99102	7,75305
	F-F _{100ms} EKOL	123,9717	6	18,29461	7,46875
Pair 4	I-F _{100ms} PFST	165,3717	6	46,42557	18,95316
	F-F _{100ms} PFST	202,0367	6	40,10129	16,37128
Pair 5	I-EKOL	31,7683	6	3,61943	1,47763
	F-EKOL	35,1717	6	4,52920	1,84904
Pair 6	I-PFST	74,3283	6	5,80268	2,36893
	F-PFST	84,3100	6	5,31354	2,16924
Pair 7	I-VTF1	3,6783	6	,11531	,04708
	F-VTF1	3,6483	6	,10323	,04214
Pair 8	I-VTF2	2,9600	6	,12806	,05228
	F-VTF2	2,9583	6	,09683	,03953

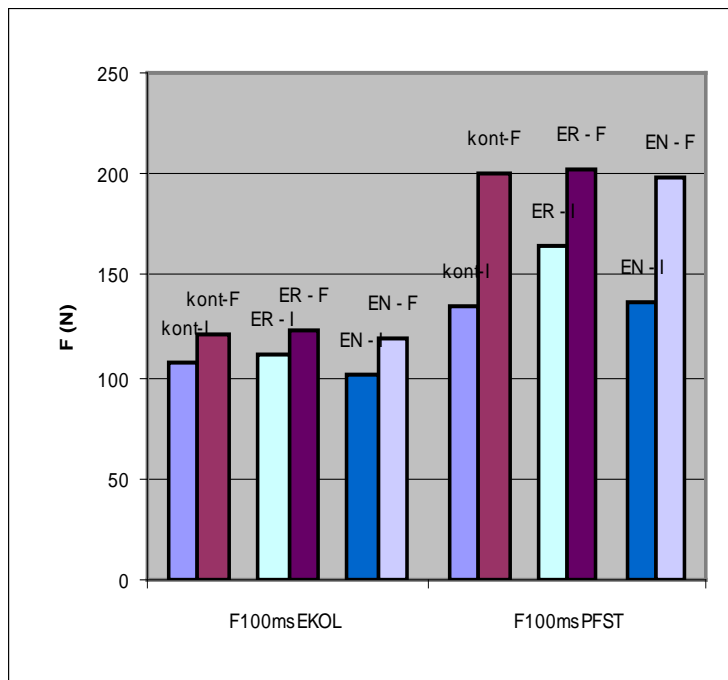
Табела 4. Просечне вредности моторичких варијабли брзине развоја силе, релативизоване максималне изометријске силе као и времена постигнутих у фазама убрзања и максималне брзине трчања на иницијалном и финалном мерењу за експерименталну групу Е-Н.

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	I-k-EKOL	471,7017	6	248,28244	101,36088
	F-k-EKOL	605,1550	6	234,19685	95,61046
Pair 2	I-k-PFST	353,1150	6	37,71878	15,39863
	F-k-PFST	349,8767	6	125,14594	51,09061
Pair 3	I-F _{100ms} EKOL	101,2083	6	26,76096	10,92512
	F-F _{100ms} EKOL	118,3867	6	15,15506	6,18703
Pair 4	I-F_{100ms} PFST	137,2233	6	44,19212	18,04136
	F-F_{100ms} PFST	197,7767	6	46,91093	19,15131
Pair 5	I-EKOL	31,2283	6	9,98882	4,07792
	F-EKOL	36,5100	6	10,09875	4,12280
Pair 6	I-PFST	68,8617	6	5,54168	2,26238
	F-PFST	85,7150	6	6,40330	2,61414
Pair 7	I-VTF1	3,8033	6	,11021	,04499
	F-VTF1	3,9417	6	,38186	,15589
Pair 8	I-VTF2	3,0067	6	,14320	,05846
	F-VTF2	3,1633	6	,44603	,18209

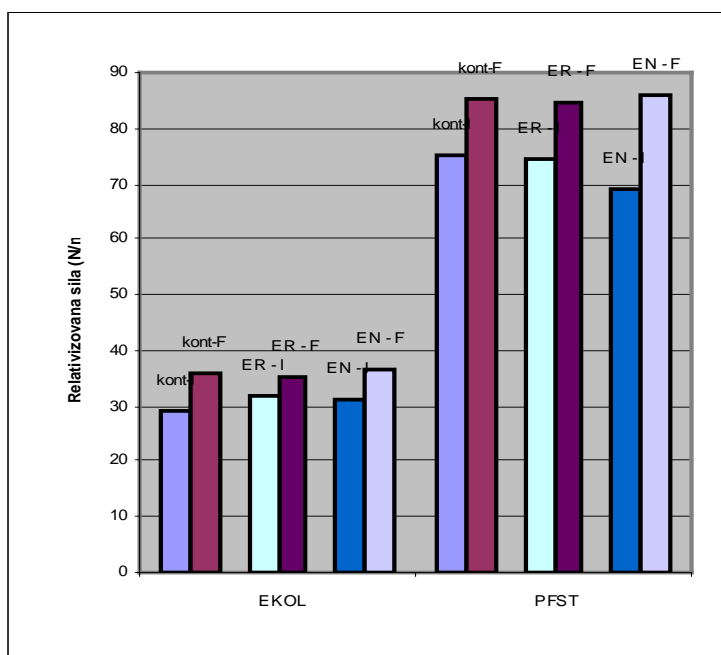
Графикон 1. Резултати иницијалног и финалног мерења за варијабле коефицијент прираста силе екстензора у зглобу колена - (к - ЕКОЛ) и коефицијент прираста силе плантарних флексора стопала - (к - PFST) за контролну групу, експерименталну групу Е-Р и експерименталну групу Е-Н.



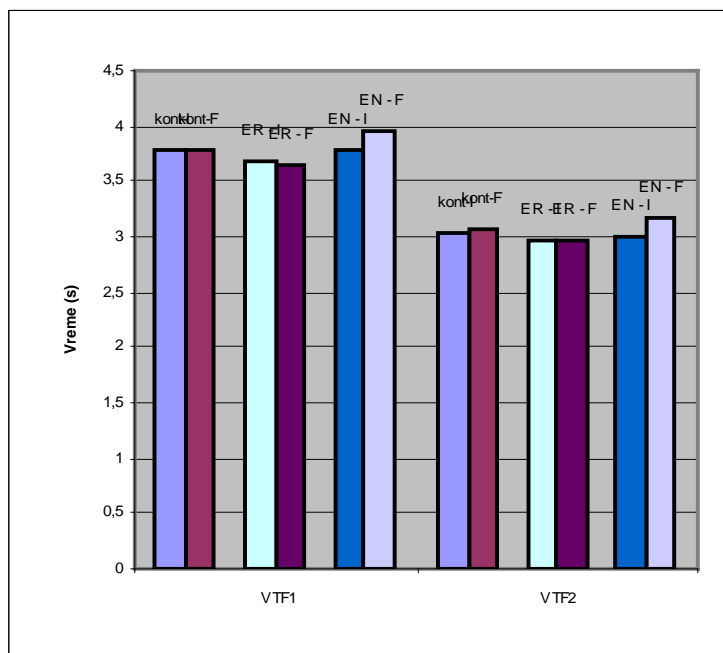
Графикон 2. Резултати иницијалног и финалног мерења за варијабле ниво силе екстензора у зглобу колена достигнут у стотој милисекунди (F_{100ms} - EKOL) и ниво силе плантарних флексора достигнут у стотој милисекунди (F_{100ms} - PFST) за контролну групу, експерименталну групу Е-Р и експерименталну групу Е-Н.



Графикон 3. Резултати иницијалног и финалног мерења за варијабле екстензора у зглобу колена (EKOL/r) и плантарних флексора стопала (PFST/r) за контролну групу, експерименталну групу Е-Р и експерименталну групу Е-Н.



Графикон 4. Резултати иницијалног и финалног мерења за варијабле време трчања у фази убрзања (VTF1) и време трчања у фази максималне брзине (VTF2) за контролну групу, експерименталну групу Е-Р и експерименталну групу Е-Н.



Статистичка значајност измерених варијабли **брзине развоја силе, релативизоване максималне изометријске силе**, као и времена постигнутих у фазама убрзања и максималне брзине

трчања на **иницијалном и финалном мерењу**, укључујући пре тест и пост тест аритматичке средине и стандардне девијације, приказана је у табелама 5, 6 и 7.

Табела 5. Резултати Т-теста за моторичке варијабле **брзине развоја силе и релативизоване максималне изометријске силе** и времена постигнутих у фазама убрзања и максималне брзине трчања на **иницијалном и финалном мерењу** за контролну групу К.

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	I-k-EKOL - F-k-EKOL	-111,47667	100,3298	40,95948	-216,76637	-6,18696	-2,722	5	,042
Pair 2	I-k-PFST - F-k-PFST	-1,07833	92,32834	37,69289	-97,97099	95,81432	-,029	5	,978
Pair 3	I-F _{100ms} EKOL – F-F _{100ms} EKOL	-4,22333	10,09679	4,12200	-14,81927	6,37260	-1,025	5	,353
Pair 4	I-F _{100ms} PFST – F-F _{100ms} PFST	-59,07667	54,59522	22,28840	-116,37083	-1,78250	-2,651	5	,045
Pair 5	I-EKOL - F-EKOL	-1,92667	1,16156	,47421	-3,14565	-,70768	-4,063	5	,010
Pair 6	I-PFST - F-PFST	-8,77000	6,07357	2,47953	-15,14382	-2,39618	-3,537	5	,017
Pair 7	I-VTF1 - F-VTF1	,05167	,09152	,03736	-,04438	,14772	1,383	5	,225
Pair 8	I-VTF2 - F-VTF2	-,04167	,10458	,04269	-,15142	,06808	-,976	5	,374

Табела 6. Резултати Т-теста за моторичке варијабле **брзине развоја силе и релативизоване максималне изометријске силе** и времена постигнутих у фазама убрзања и максималне брзине трчања на **иницијалном и финалном** мерењу за експерименталну групу Е-Р

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	I-k-EKOL - F-k-EKOL	-41,94333	236,88153	96,70648	-290,53526	206,64859	-,434	5	,683
Pair 2	I-k-PFST - F-k-PFST	-46,48667	68,81481	28,09353	-118,70338	25,73005	-1,655	5	,159
Pair 3	I-F _{100ms} EKOL – F-F _{100ms} EKOL	-13,15333	20,28482	8,28124	-34,44094	8,13428	-1,588	5	,173
Pair 4	I-F _{100ms} PFST – F-F _{100ms} PFST	-36,66500	55,48087	22,64997	-94,88860	21,55860	-1,619	5	,166
Pair 5	I-EKOL - F-EKOL	-3,40333	1,86402	,76098	-5,35951	-1,44716	-4,472	5	,007
Pair 6	I-PFST - F-PFST	-9,98167	5,23457	2,13700	-15,47501	-4,48832	-4,671	5	,005
Pair 7	I-VTF1 – F-VTF1	,03000	,02280	,00931	,00607	,05393	3,223	5	,023
Pair 8	I-VTF2 – F-VTF2	,00167	,09806	,04003	-,10125	,10458	,042	5	,968

Табела 7. Резултати Т-теста за моторичке варијабле **брзине развоја силе и релативизоване максималне изометријске силе** и времена постигнутих у фазама убрзања и максималне брзине трчања на **иницијалном и финалном** мерењу експерименталну групу Е-Н.

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	I-k-EKOL - F-k-EKOL	-133,45333	80,59586	32,90312	-218,03350	-48,87317	-4,056	5	,010
Pair 2	I-k-PFST - F-k-PFST	3,23833	111,06951	45,34394	-113,32197	119,79863	,071	5	,946
Pair 3	I-F _{100ms} EKOL – F-F _{100ms} EKOL	-17,17833	24,28619	9,91480	-42,66513	8,30846	-1,733	5	,144
Pair 4	I-F_{100ms} PFST – F-F_{100ms} PFST	-60,55333	41,83375	17,07855	-104,45516	-16,65151	-3,546	5	,016
Pair 5	I-EKOL - F-EKOL	-5,28167	1,30389	,53231	-6,65002	-3,91331	-9,922	5	,000
Pair 6	I-PFST - F-PFST	-16,85333	4,11114	1,67837	-21,16771	-12,53896	-10,042	5	,000
Pair 7	I-VTF1 – F-VTF1	-,13833	,34055	,13903	-,49572	,21906	-,995	5	,365
Pair 8	I-VTF2 – F-VTF2	-,15667	,35517	,14500	-,52940	,21606	-1,080	5	,329

ДИСКУСИЈА

У овом истраживању је анализирана промена моторичких варијабли, за које се претпоставља да значајно утичу на испољавање максималне брзине трчања, као последица примене програмиране тренажне процедуре са додатним оптерећењем и то на дисталним деловима руку и ногу.

Резултати статистичке анализе контролне групе К, указују да је деловањем експерименталног фактора дошло до побољшања резултата у варијаблима (к-ЕКОЛ, $p=.042$, F_{100ms} PFST, $p=.045$, ЕКОЛ, $p=.010$, PFST, $p=.017$).

Резултати статистичке анализе експерименталне групе Е-Н указују да је деловањем експерименталног фактора дошло до побољшања резултата у варијаблима (к-ЕКОЛ, $p=.010$, F_{100ms} PFST, $p=.016$, ЕКОЛ, $p=.000$, PFST, $p=.000$).

Резултати показују да промене у контролној групи К и експерименталној групи Е-Н имају исту тенденцију, иако то није случај ако поредимо промене у апсолутним вредностима. Било је очекивано да ће група која је носила оптерећење на ногама имати већи прираст у варијаблима силе у односу на контролну групу. Значајне промене у истим варијаблима силе код контролне групе К, у односу на експерименталну Е-Н, можемо објаснити превеликом осетљивошћу испитаника, њиховом фамилијаризацијом са тестовима, с обзиром да су за реализацију експеримента бирани студенти који се не баве активним тренирањем. Истовремено код ових група није дошло до статистички значајних промена у максималној брзини трчања у обе фазе. Код контролне групе је у фази убрзања дошло до извесног побољшања брзине (0.052с), али не на нивоу статистичке значајности, а укупно време трчања у обе фазе се није побољшало. То би могли објаснити чињеницом да су интензитет и обим оптерећења за ову групу били веома мали, а условљени су интензитетом и обимом оптерећења експерименталних група које су при том, истом третману (број серија, број понављања у серији), носили додатно оптерећење. Уочљиво је да је код експерименталне групе Е-Н дошло до смањења брзине трчања у обе фазе (VTF1 – од 3.803 до 3.941, а VTF2 – од 3.006 до 3.163) али, иако није статистички значајно, може се сматрати из аспекта спортске праксе, да је успорење трчања у обе фазе - значајно. Разлози за пад брзине у експерименталној групи Е-Н би могли бити у претпоставци да је примењено оптерећење изаз-

вало неадекватну адаптацију нервног система у управљању покретима тј. промену кинематичке шеме кретања ногу. То би значило да је дошло до нарушавања технике, односно координације покрета.

Стегман (1981) је утврдио да се нога понаша као клатно чија фреквенција зависи од његових инерционих карактеристика. С обзиром да су у овом експерименту инерционе особине ноге биле значајно модификоване, испитаници су се прилагодили новој оптималној фреквенцији и дужини корака. Бобет и сар. (1986) су изложили да недовољна брзина ноге, с обзиром да је оптерећена инерционим оптерећењем, у замаху може бити тај лимитирајући фактор за даље увећавање брзине трчања. Претпоставка је да су ове промене последице прилагођавања нервног система у управљању покретима са циљем да се у условима покушаја одржавања константне брзине створи најекономичнија структура покрета (фреквенција - дужина корака) за сваку врсту оптерећења. Адаптација се, између осталог, услед промењених инерционих услова за ноге одиграва у продужењу фазе замаха, што уједно проузрокује смањење фреквенције корака. Ако је брзина иста, или је у благом опадању, свако смањење фреквенције има за последицу продужење корака.

Други разлог за пад брзине у експерименталној групи Е-Н могао би бити дефицит у брзинској (реактивној) снази која је потребна у измењеним условима савладавања гравитационих сила, сила реакције подлоге, као и инерције доњих екстремитета. Иако је дошло до статистички значајног повећања у резултатима варијабли (к-ЕКОЛ, $p=.010$, F_{100ms} PFST, $p=.016$, ЕКОЛ, $p=.000$, PFST, $p=.000$), претпоставка је да укупан ефекат адаптације на новонастале услове није био довољан и да можда трајање експерименталног третмана може бити лимитирајући фактор.

Адаптација у поменутих условима је **неурогене и миогене природе** (Bosco et al., 1984; Thornton & Rummel, 1974; Milner-Brown et al., 1975; Moritani & De Vries, 1979 према Bosco et al., 1986; Rusko & Bosco, 1987) Прво се релативно брзо адаптирају неурални фактори и то увећањем броја регрутованих моторних јединица, повећаним степеном пражњења и њиховом бољом међусобном синхронизацијом рада. Међутим, друга фаза (миогене адаптације), је карактеристична по увећању

њиховог гликолитичког потенцијала и може трајати неколико месеци (McDonagh & Davies, 1984, према Bosco et al., 1984) што оправдано указује на **потребу посебног истраживања дужине трајања експерименталног третмана** и евентуално доводи у сумњу дужину примењеног третмана у овом истраживању, с обзиром на различиту пластичност појединих испитиваних варијабли, као и специфичност експерименталног фактора.

Резултати статистичке анализе експерименталне групе Е-Р, указују да је деловањем експерименталног фактора дошло до статистички значајног побољшања резултата у варијаблима ЕКОЛ, $p=.007$ и ПФСТ, $p=.005$. У овој експерименталној групи је дошло до значајне промене у брзини трчања у фази убрзања (VTF1, $p=.023$)

Објашњење за ово би могло бити у чињеници да су **прилагођавања покрета рукама на измењене услове** момента инерције, а самим тим и гравитационих сила, **много већа у односу на ноге**. Она се дешавају због тежње да се одржи интензитет кретања, па долази до смањења угла надлактица-подлактица, ради елиминисања деловања силе на дужем краку, тј. смањења обртног момента, што изазива повећање фреквенције. **Повећана фреквенција руку**, при чему се у односу на труп лева нога и десна рука крећу вентрално, а остала два екстремитета крећу се дорзално и обрнуто, **изазива повишен ниво неуралних активности (реципрочна инхибиција) и тако позитивно утиче на кинематику ногу**. Имајући у виду да су смањења амплитуде покрета пре могућа флексијом у зглобу лакта него у зглобу колена и кука (Majdell & Alexander, 1991) може се претпоставити да овакви адаптациони процеси, као последица оптерећења руку, могу утицати на промену кинематике ногу. Дакле, дошло је до сабирања позитивних ефеката ношења терета на рукама уз истовремено незнатно мењање основне шеме кинематике кретања ногу, што се вероватно позитивно одразило на укупну неуро-мускуларну адаптацију (Пајић, 2006). Код ове групе је под утицајем експерименталног третмана дошло до статистички значајног повећања варијабли максималне силе екстензора у зглобу колена (ЕКОЛ, $p=.007$) и плантарних флексора (ПФСТ, $p=.005$), што се може повезати са повећањем брзине трчања у фази убрзања. Познато је, да је сила која настаје у мишићима већа, ако је време контракција

дуже, јер је потребно извесно време да се изврши напетост мишићних контрактилних компоненти. Током фазе убрзања, где је време контакта сваког корака око 200мс, може се користити већи део капацитета мишићне силе. При максималној брзини трчања (време контакта са тлом око 100 мс), само мали део мишићне силе може се испољити за време сваког контакта са тлом (Alabin & Ushkevich, 1976) па је супериорност мера варијабли максималне силе већа у фази убрзања, а варијабли брзине развоја силе (RFD) већа у фази максималне брзине трчања (Пајић, 2006).

Разлози за квантитет и квалитет претходно описане адаптације при примени овог специфичног експерименталног фактора могли би бити у наводима који следе.

Већ је сугерисано да додатно оптерећење изазива повећану мишићну активност (Martin, 1985), повећање гравитационих сила (Rusko & Bosco, 1987), као и повећану реакцију подлоге за време фазе одупирања (Frederich & Nagy, 1986). У трчању са додатним оптерећењем, услед узајамног деловања силе инерционог оптерећења са силом гравитације, (Rusko & Bosco, 1987), брзине спуштања стопала током припремне фазе одскока (одупирања) су веће, па самим тим и силе које се развијају током ексцентричне мишићне контракције. Као последица тога и достигнута иницијална концентрична сила плантарних флексора стопала на почетку фазе одупирања је већа, па је сходно томе и извршени накнадни рад већи.

Повећање силе под утицајем примене додатних оптерећења проузрокује и повећање чврстине мишића, а тиме се стварају услови ефикасније употребе циклуса издужење-скраћење приликом преласка из ексцентричне фазе у концентричну. Ова повећана ефикасност може настати с обзиром да је чвршти мишић отпорнији на истезање које настаје током ексцентричне фазе. Чврстина мишића такође може помоћи у скраћивању времена (*coupling time*) између ексцентричних и концентричних мишићних контракција. Што је већа чврстина, већа је способност мишића да издрже велико оптерећење. Ово може довести до краћег времена контакта са тлом, већом продукцијом силе током времена контакта са тлом и самим тим до веће брзине трчања.

Може се констатовати да се применом додатних оптерећења утиче на ефикасност функционисања циклуса издужење-скраћење (SSC), а

тима се позитивни ефекти вежбања у повратном режиму рада додатно повећавају, а посебно јер је брзина ексцентричне мишићне контракције већа. Последица повећања брзине мишићне контракције је скраћење времена генерисања достигнутог нивоа силе.

Наведене активности су проузроковале померање (Ф-т) релације у лево, увећање експлозивне силе (RFD), а сходно томе и подизање нивоа испољавања реактивне снаге ногу. На графикону **(Ф-т) релације** то се идентификује **померањем криве сила-време у лево** и то скраћењем времена потребног да се генерише сила једнаког интензитета, више него повећањем њеног интензитета и/или померањем према горе повећањем интензитета генерисане силе за исто време, на основу већег интензитета генерисања максималне силе, више него скраћењем времена и/или комбинацијом једног и другог. Претпоставка је, с обзиром на природу експерименталног фактора и сходно томе адекватног тренинга, да је померање криве сила-време у лево у овом истраживању **више резултат скраћења времена генерисања силе, него интензитета генерисања силе**. Померање криве јасно показује да је вежбање са додатним оптерећењем модификовало механички рад мишића ногу, за време контакта са подлогом повећало продукцију силе као и брзину њеног развоја, а самим тим и увећање реактивне снаге, што је опет проузроковало скраћење трајања фазе контакта. Овакве релације су пријавили Мајдел и Александер (1991), а утврдили праћењем *ЕМГ* активности Еванс и сар. (1983).

Претпоставка је да је примењено оптерећење на рукама и ногама код експерименталних група подразумевало повећану употребу брзих мишићних влакана, значајнију активацију гликолитичког потенцијала, као и повећану нервну импулсацију ка активним мишићима (Меро *et al.*, 1987; Tinning & Davis, 1978; Holland, 1984). Треба напоменути да ефикасност наведених промена зависи од структуре мишићних влакана испитаника. С обзиром да се трчи максималном брзином “брзи” појединци у односу на “споре” након тренажне процедуре показују боље перформансе у брзини развоја силе, а сходно томе и у реактивној снази, јер трчање практично представља низ реактивних скокова. Наведене разлике могу се објаснити разликама у дужини трајања споја попречних мостића миофиламената миозина и ак-

тина током мишићне контракције. Спора влакна карактерише дуже трајање овог споја, у односу на брза влакна, тако да спора влакна показују бољу искоришћеност енергије еластичне деформације при извођењу спорих амортизујућих покрета, и обрнуто брза влакна бољу искоришћеност показују при извођењу реактивних покрета (Bosco *et al.*, 1983).

Као што се из до сада наведеног може закључити, тренингом за развој снаге је могуће померити криву сила-време у лево само до границе која је одређена капацитетом за повећање фреквенције импулса из ЦНС-а кроз алфа моторне неуроне. Тада је потребно поново увести тренинг максималне силе. Очигледно се применом ове експерименталне тренажне процедуре (тренинг снаге са инерционим оптерећењима) може утицати на померање криве сила-време у лево, само скраћивањем времена генерисања силе (Пајић, 2006).

С обзиром да се ниво прираста силе повећава и у односу на капацитет за генерисање максималне силе, из аспекта повећања силе, **веома је битно са коликим нивоом максималне силе ће се стартовати у тренингу снаге**. Другим речима, **пошто је снага функција силе, потребно је применом адекватне тренажне процедуре прво изградити криву сила-време, па тек онда је померити у лево**. При том се не може сталним повећањем оптерећења једноставно развијати максимална сила до одређене вредности,⁷⁾ па се онда усредсредити на развој снаге (Hakkinen, 1991, према Vompi, 1999). Решење је **сукцесивно смењивање фаза развоја максималне силе и снаге** условљено периодизацијом тренинга и физиолошким законитостима процеса адаптације нервно-мишићног система на тренажне услове, који леже у основи свих платоа у развоју моторних способности.

Познато је да се за повећање нивоа прираста силе из аспекта капацитета за генерисање максималне силе, вежбе изводе максималном вољном активацијом мишићних влакана против великих (чак до супрамаксималних) оптерећења. Брзина извођења оваквих моторних задатака је мала и/

⁷⁾ Познато је да ниво тестостерона расте у првих шест до осам недеља тренинга за развој максималне јачине, а затим постепено опада (Hakkinen, 1991, према Vompi, 1999). Истраживања показују да тренинг са константним оптерећењем високог интензитета може умањити отпорност коштаног ткива.

или једнака нули, али брзина нервнo-мишићне активације је максимална, тако да је и ниво прираста силе увећан. Међутим, тако увећан ниво прираста силе, сам за себе је нецелисходан, те се овај метод може користити **само у комбинацији са неким другим методом, који више одговара специфичним захтевима испољавања реактивне силе у моторним задацима, по структури кретања сличним онима које захтева дата дисциплина.** У овом случају је то трчање максималном брзином, а метод је развој снаге малим инерционим оптерећењима. Метод развоја снаге малим оптерећењима и максималном брзином извођења повећава ниво прираста силе, а резултат таквог рада је повећана снага у зони нижих оптерећења, при већим брзинама извођења. С обзиром да повећава ниво прираста силе управо у временском интервалу трајања контакта у фази одупирања, може бити користан метод развоја снаге у трчању максималном брзином, али опет и он само у комбинацији са другим методама, који би надокнадили недостатке у генерисању силе већег интензитета.

Дакле, у претходним наводима су докази да примењена експериментална тренажна процедура захтева и сукцесивну примену тренинга за развој силе из аспекта експлоатације капацитета за генерисање максималне силе, с обзиром да је увек **целисходније применити одабрани тренинг реактивне снаге при већем почетном нивоу максималне силе.** Тиме би и примењена експериментална процедура имала бољу ефикасност из аспекта већег утицаја максималне силе и снаге на кинематичке и динамичке варијабле максималне брзине трчања.

ЗАКЉУЧЦИ

Варијабле силе, а ни снаге, не могу описати технички изузетно сложену активност као што је трчање максималном брзином.

Чак ни на оваквом узорку није дошло до побољшања брзине трчања, што указује на то да су овакве примене инерционих оптерећења непримерене за развој максималне брзине трчања. То се посебно односи на оптерећења на ногама, чија је функција много сложенија, јер оне и генеришу пропулзивне импулсе и врше замахе. Из атлетске праксе је познато да минимални утицаји

могу да изазову велике промене у брзини трчања (врста или марка обуће, подлога итд).....

Примена инерционих оптерећења је позитивно утицала на параметре силе и у том контексту би се и могла примењивати у тренажној пракси. Пажљивим дозирањем и адекватним позиционирањем би се могло остварити повећање снаге одабраних мишићних група које би последично могло да повратно утиче на повећање брзине трчања.

Према наведеним тврдњама о повезаности максималне брзине трчања и неких параметара силе, може се извести закључак да се преко утицаја на снагу, може утицати и на максималну брзину трчања.

То проузрокује померање (F-v) релације експерименталних група у десно, а (F-t) релације у лево. Померање крива (F-v, F-t) јасно показује да је вежбање са додатним оптерећењем модификовало механички рад мишића ногу, повећало продукцију силе за време контакта са подлогом, што је утицало на одређено увећање експлозивне снаге.

Може се констатовати да се применом додатних оптерећења позитивни ефекти вежбања у повратном режиму рада додатно повећавају, а посебно јер је брзина ексцентричне мишићне контракције већа. Примена додатних оптерећења **представља ефикасно средство које појачава ефекте тренирања у повратном режиму рада.** Применом додатних оптерећења утиче се на ефикасност функционисања циклуса издужење-скраћење (SSC), а тиме и на могућност његове примене у реализацији реактивне силе. Интензитет истезања активног мишића у ексцентричној мишићној контракцији се повећава уз примењено додатно оптерећење, што појачава крутост мишића и провоцира активност рефлекса истезања па је разумљива повећана брзина ексцентричне мишићне контракције. Сходно томе, повећана је продукција иницијалне силе концентричне фазе. Последица повећања брзине мишићне контракције је скраћење времена генерисања достигнутог нивоа силе.

Очигледно је примењени тренажни третман утицао на развој брзинске (реактивне) снаге испитаника, јер је примењено мало оптерећење са максималном брзином извођења. Може се констатовати да овај метод повећава ниво прираста силе, а тиме и снагу у зони малих оптерећења, при ве-

ликим брзинама извођења. Ниво прираста силе се дешава управо у временском интервалу трајања контакта са подлогом, па овај метод развоја снаге може бити користан за побољшање трчања максималном брзином, али само у комбинацији са другим методама, који би надокнадили недостатке у генерисању силе већег интензитета.

На основу добијених резултата дошло је до значајне промене у нивоу варијабли **брзине развоја силе** екстензора колена код групе са оптерећењем на ногама и максималне силе плантарних флексора стопала код групе са оптерећењем на рукама. Претпоставка је, да је с обзиром на карактеристике експерименталног третмана извршен утицај на померање криве сила-време ($F-t$) у лево, само скраћивањем времена генерисања силе без утицаја на развој силе из аспекта капацитета за генерисање максималне силе, те се предлаже сукцесивно смењивање фаза развоја максималне силе и снаге.

С обзиром да су телесне димензије фактор који утиче на резултате тестова мишићне силе, примењена нормализација мишићне силе у односу на телесне димензије је важна да би се елиминисао њихов ометајући утицај.

За постизање потребне ефикасности у максималној брзини трчања у фази подупирања, вертикално померање тежишта тела генерисано током опадања у фази лета, као и хоризонтална брзина у опадању настала услед кочења у фази подупирања, **морају бити оптимализовани**. За испуњавање тих захтева ефикасности мора се максимизовати продукција силе, јер ће она лимитирати флексију у фази подупирања, стварајући услове за употребу реактивне снаге од ексцентричне до концентричне фазе. Дакле, захтева се минимална флексија у зглобу кука, колена и скоч-

ном зглобу током контакта са тлом при било ком кораку.

Примењеним тренингом у овом раду се утицало на мишиће колена (екстензоре) тј. на повећање отпора колена на флексију (повећање ефикасности у изометријском режиму рада), као и на способност скочног зглоба (плантарни флексори) да повећа брзину екстензија-флексија (ефикасност повратног - плиометријског режима рада), како би се обезбедило што веће механичко ограничење на вертикалној оси, а пре свега висок ниво стабилизације кретања зглоба кука чиме се обезбеђује смањење спуштања тежишта тела, његова краћа путања, а тиме и већа брзина тела. Поред тога њиховим активностима се, кроз блокирање флексије у зглобу колена, стварају услови за успостављање оптималних вредности критичног угла нагиба тела, који је битан у неутралисању негативног утицаја хоризонталне компоненте силе реакције подлоге у дорзалном смеру, као и фаворизовања утицаја те компоненте у вентралном смеру. Тиме се значајно неутралишу успоравања тела при сваком кораку и истовремено доприноси његовој већој брзини.

Претпоставка је да су описане промене великим делом последица прилагођавања нервног система у управљању покретима са циљем да се у условима одржавања константне брзине створи најекономичнија структура покрета (пре свега фреквенција) за сваку врсту оптерећења. Адаптација се одиграва дозирањем интензитета силе и снаге, дакле променом момента количине кретања, променом момента инерције сегмента, контролом дејства компоненти сила реакције, силе гравитације, као и у координисању рада кинетичких ланаца кроз активности једнозглобних и двозглобних мишића при слагању брзина и симултаном спаривању покрета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Aagaard, P., Simonsen, E., Andersen, J., Magnusson, P., Dyhre-Poulsen, P. (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol*, 93, 1318-1326.
2. Abernethy, P., Wilson, G., & Logan, P. (1995). Strength and power assessment: issues, controversies and challenges. *Sport Med*, 19 (6), 401-407.
3. Alexander, M. J. L. (1989). The relationship between muscle strength and sprint kinematics in elite sprinters. *Can. J. Spt. Sci.*, 14, 148-157.
4. Aragon-Vergas, L. & Gross, M. (1997). Kinesiological factors in vertical jump performance: difference within individuals. *J Appl Biomech*, 13, 45-65.
5. Baker, D., Wilson, G., & Caryon, B. (1994). Generality versus specificity: a comparison of dynamic and

- isometric measure of strength and speed-strength. *Eur J Appl Physiol*, 68, 350-355.
6. Berg, K., Miller, M., & Stephens, L. (1986). Determinants of 30 meter sprint time in pubescent males. *J Sports Med*, 26, 225-230.
 7. Bosco, C., Luthanen, P., & Komi, P. (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol*, 50, 273-282.
 8. Bosco, C., Zanon, S., Rusko, H., Dal Monte, A., Bellotti, P., Latteri, F., et al. (1984). The influence of extra load on mechanical behavior of skeletal muscle. *Eur. J. Appl. Physiol*, 53, 149-154.
 9. Bosco, C., Rusko, H., & Hirvonen, J. (1986). The effects of extra - load conditioning on muscle performance in athletes. *Med. Sci. Sports Exerc*, 18 (4), 415-419.
 10. Delecluse, C., Van Coppenolle, H., Willems, E., Leemputte, M., Diels, R. & Goris, M. (1995). Influence of high-resistance and high-velocity training on sprint performance. *Med Sci Sport Exerc*, 27, 1203-1209.
 11. Ewans, O. M., Zabib, Y., Faria, M. H., & Monod, H. (1983). Physiological responses to load hoding and load carriage. *Ergonomics*, 26, 161-171.
 12. Izquierdo, M., Aquado, X., Gonsales, R., Lopez J.L. & Hakkinen, K. (1999): Maximal and explosive force production capacity and balance performance in man of diferent ages. *Eur J Appl Physiol*, 79, 260-267.
 13. Majdell, R., & Alexander, M. J. (1991). The effect of overspeed training on kinematic variables in sprinting. *J. Human Mov. Studies*, 21, 19-39.
 14. Martin, P. E. & Cavanagh, P. R. (1990). Segmental interactions within the swing leg during unloaded and loaded running. *J. Biomechanics*, 23 (6), 529-536.
 15. Матавуљ, Д. (1998). Утицај плиометријског тренинга на вертикални одскок и релацију сила-време код особа различите структуре мишића. Магистарски рад. Београд: Факултет физичке културе.
 16. Mero, A. (1985). Relationship between muscle fibre characteristics, sprinting and jumping of sprinters. *Biology of Sport*, 2 (3), 155-161.
 17. Mero, A., Komi, P. V., & Gregor, R. J. (1992) Biomechanics of Sprint Running. *Sport Medicine*, 13 376-392.
 18. Mero, A., Komi, P. V., Rusko, H., & Hirvonen, J. (1987). Neuromuskular and anaerobic performance of sprinters at maximal and supermaximal speed. *International Journal of sports Medicine*, 8, 55-60.
 19. Mero, A., Luthanen, P., & Viitasalo, T. (1981). Relationship between maximal running velocity, muscle fibre characteristicd, force production and force relaxation of sprinters. *Scan J Sports Sci*, 3, 16-22.
 20. Nilsson, J., & Thorstensson, A. (1987). Adaptability in frequency and amplitude of leg movements during human locomotion at different speeds. *Acta Physiol Scand*, 129, 107-114.
 21. Пајић, З. (2006). Ефекти примене инерционог оптерећења на моторичке, морфолошке и биомеханичке перформансе кретања максималном брзином. *Докторска дисертација*. Београд: ФСФВ.
 22. Попрет, Р. (1998). Утицај инерционог оптерећења на кинематику трчања максималном брзином. *Докторска дисертација*. Београд: Факултет спорта и физичког васпитања.
 23. Rusko, H., & Bosco, C. (1987). Metabolic response of endurance athletes to training with added load. *Eur. J. Appl. Physiol*, 56, 412-418.
 24. Стефановић, Ђ. (1979). Методи тренинга за побољшање фазе максималне брзине трчања код спринтера на 100м. *Физичка култура*, 5. 383-390.
 25. Stegman, J. (1981): *Exercise physiology: Physical bases of work and sport*. J. S. Skinner (Trans. and Ed.). Chicago: Year book medical publishers, 258-264.
 26. Tinning, R., & Davis, K. (1978). The effectiveness of towing in improving sprinting speed. *Australian Journal for HHealth, Physical Education and Recreation*, March, 19-21.
 27. Thorland, W. G., Johnson, G. O., Cisar, C. J., Housh, T. J., & Tharp, G. D. (1990). Muscular strenght and power in elite young male runners. *Pediatric Exercise Science*, 2, 73-82.
 28. Farrar, M. & Thorland, W. (1987). Relationship between isokinetic strength and sprint times in college-age men. *J. Sports Med*, 27, 368-372.
 29. Haff, G., Stone, M., O'Bryant, H., Harman, E., Dinan, C., Johnson, R., & Han, K. (1997). Force-time dependent characteristics of dynamic and isometric muscle action. *J Strength Conditioning Res* 11, 269-272.
 30. Hakkinen, K. (1987). Force production characteristics of leg extensor, trunk flexor and extensor muscles in male and female basketball players. *J Sports Med Phys Fitness*, 31, 325-331.
 31. Holland, R. G. (1984). Increasing your speed. *Running times*, May, 18-22.
 32. Cronin, B.J. & Hansen, T.K. (2005). Strength and power predictors of sports speed. *J Strength Conditioning Res*, 19(2), 349-357.

33. Wilson, G., Murphy, A., & Walshe, A. (1995). The specificity of strength training: the effect of posture. *Eur J Appl Physiol*, 73, 346-352.
34. Wilson, G., & Murphy, A. (1996). The use of isometric test of muskular function in athletic assessment. *Sports Med*, 22, 19-37.
35. Young, W., Mclean, B., & Ardagna, J. (1995). Relationship between strength qualities and sprinting performance. *J Sports Med Phys Fitness*, 35, 13-19.

Др Зоран Пајић
Асистент на предмету Општа Антропомоторика
Универзитет у Београду, Факултет спорта и физичког васпитања
Благоја Паровића 156, Београд
e-mail: zoran.pajic@dif.bg.ac.rs

Др Душко Илић
Ванредни професор на предметима Биомеханика и Моторна контрола
Универзитет у Београду, Факултет спорта и физичког васпитања
Благоја Паровића 156, Београд
e-mail: dusko.ilic@dif.bg.ac.rs

Владимир Мрдаковић
Асистент на предмету Биомеханика
Универзитет у Београду, Факултет спорта и физичког васпитања
Благоја Паровића 156, Београд
e-mail: vladimir.mrdakovic@dif.bg.ac.rs

Мр Ненад Јанковић
Асистент на предмету Атлетика
Универзитет у Београду, Факултет спорта и физичког васпитања
Благоја Паровића 156, Београд
e-mail: nenad.jankovic@dif.bg.ac.rs

мр Жељко Рајковић
истраживач сарадник
e-mail: zeljko.rajkovic@ub2009.org

Zoran Pajic,
Dusko Ilic,
Vladimir Mrdakovic,
Nenad Jankovic,
Zeljko Rajkovic

796.422.015.52
796.422.012.114
Original scientific paper

INFLUENCE OF TRAINING WITH INERTIONAL LOAD ON ABILITY OF FORCE DEVELOPMENT AND MAXIMAL RUNNING VELOCITY

Physical Culture, Belgrade, 62 (2008), 1-2, p. 48-65, tab. 7, graph. 4, ref. 35

Abstract

The aim of this research was, within the scope of training with appliance of additional inertial load, to generate changes in motor performance of maximal running velocity as well as to confirm in observed variables adaptive processes for which it is supposed that they significantly influence on maximal running velocity. The experiment with parallel groups was realized whereby the acting of experimental factor (inertial load) was in two levels. The first, control group K realized the designed sprint training freely, in other words it did not apply additional load. The second, experimental group E-R ran with load fasten on their hands, and the third experimental group E-N with the load on their legs. The research contains initial and final measurement variables of acceleration and maximal running velocity (VTF1 i VTF2) in running at maximal sprint of 50m. Also, variables force and normalized force were observed -coefficient force extensor in knee-joint (k-EKOL), coefficient of heels force-(k-PFST), level of force extensor in knee-joint reached in 100 milliseconds (F_{100ms} - EKOL), level force of flexors reached in 100ms (F100ms-PFST), extensors in knee-joint (EKOL/r), heels flexors (PFST/r). The applied training treatment is on the level of statistical significance($p < 0.05$), influenced on force development of applicant, because small load was applied with maximal velocity performance. It came to significant change in level of velocity of force development variables extensor of knee (k-EKOL) and heels flexors (F_{100ms} PFST) within the group with load on legs E-N and control group K. Simultaneously, in each group is significantly enlarged force of extensors and flexors. Velocity of running increased with E-R in the phase of acceleration. Due to connection of maximal running velocity and force variables through force influence, it can be possible to influence on maximal running velocity. Using experimental factor in training for force development with small loads and maximal running velocity, increased the level of force and the result of such work is increased force in areas of lower loads during higher velocity performance. The variables of muscle force can be seen as a predictor when maximal running velocity is in question since there is connection with running velocity. The domination of maximal force variables in phase of acceleration is shown, while the influence of velocity of force development variables (RFD) remains disputable in maximal running velocity phase.

Key words: INERTIAL LOAD / MAXIMAL RUNNING VELOCITY / VELOCITY OF FORCE DEVELOPMENT / NORMALIZED ISOMETRIC FORCE

INTRODUCTION

The influence of specific training conditions on running kinematics and dynamics is considered particularly interesting problem for researchers and coaches. From that point, quantitative and qualitative changes of certain kinematic and dynamic variables, caused in the course of training by application of external factors, especially **inertial load** are particularly interesting. There is not a sufficient number of studies, so this paper uses paradigms and conclusions of the following researches.

When **examining connection** of motor space variables with the performances of running at maximal velocity, certain **disagreement** appears. It is considered that they resulted from structural, neutral and mechanical differences in muscle expression between dynamic and isometric testing of force and strength, as well as from the way of testing of variables in the sense of application of their absolute and/or normalized value. Certain studies have shown significant correlation between some factors of strength and velocity (Mero et al., 1981; Alexander, 1989 and Mero, 1985, according to Young et al., 1995), while others report low or insignificant connection (Berg et al., 1986 and Farrar & Thorland, 1987). It is presumed that this expressed discrepancy resulted from researches on different samples according to gender, age and competitive level. It is also considered that specificity of expression of force in sprint can influence the result. The aforesaid researchers, who determined an insignificant connection between running velocity and force, performed tests in conditions of isometric and/or concentric contractions, but contrary to that, great number of researchers showed significant connection by observing eccentric contraction and/or a cycle extension –contraction of muscles (SSC).

The investigation of **connection of running velocity** with **maximal isometric force** demonstrated different results:

This connection is pointed in the papers of Wilson (1996), who found a correlation of maximal isometric force of knee extensors with running velocity ($r = .62$) and Mero (1981), with 30-meter running ($r = .62$). Young et al. (1995) determined that between maximal isometric force and running velocity there is higher correlation than between maximal isometric force and starting velocity in the course of initial acceleration phase. The best individual predictor of maximal velocity was force normalized by body mass (BM), generated 100ms after the start, whereas

the correlation was ($r = .80$). Increase of force in the course of 100 ms showed the highest correlation with running velocity. That measure of force was chosen because it was proved that an average contact time when running at maximal speed was 101ms in males (average time in males at 100m was 10.62s) and 108 ms in females (average time in female subjects at 100m was 12.22s).

When estimating relation of velocity and maximal force, Young et al., (1995) established high correlation ($r = -.79$, $p < .03$), whereas the normalized force (F/tm) with running velocity showed considerably lower correlation ($r = -.26$, $p < 0.05$). Correlation between maximal force and starting velocity (time at 2.5 m) was not significant on the level $p < 0.05$, ($r = -.72$, $p < 0.07$) as well as the correlation ($r = -.44$) between starting velocity and normalized force (according to body mass). These results point out to interconnection of maximal (absolute) force with velocity, which was not the case with the normalized force. Similar findings are recorded in the research of Mero et al., (1992) referring to the opinion that normalized and absolute force are not significant for starting velocity.

Contrary to the above stated, certain researches pointed to **low correlations** between running velocity and maximal isometric force. Thus, Wilson (1995), for 30-meter running found correlation ($r = .08$), Considine et al. according to Wilson (1996), also determined low correlation ($r = -.19$ do $r = .36$) between maximal isometric force and running speed (acceleration) at 5 and 10 meters. Hakkinen (1987) determined significant connection between isometric force and standing high jump ($r = .81$) and half-squat high jump ($r = .80$), while he was examining force of knee extensors (18 male and female basketball players).

The importance of time pattern of **force** expression for sprinter performance was still not fully clarified. In majority of researches dynamic tests for assessment of force showed significant connection with maximal velocity and acceleration in running at maximal velocity. Young et al. (1995) determined that 16 out of 27 measures of force correlated with starting ability. The greatest correlation being for maximal dynamic force (MDS), normalized according to body mass, which was ($r = .86$).

The explanation for this correlation could be in the specific nature of this force measure with regard to starting acceleration. The procedure of jump testing required that MDS be performed at angle of 120° , which was similar to the angle of 126° , which corresponds to the position of a leg when blocking.

The tests of standing high jump showed the following correlation with maximal running speed ($r=0.68$, Mero & Callister, according to Abernethy, 1995; $r=.77$, Young et al., 1995). Some other studies also (Mero et al., 1981; Tharp et al. and Costill., according Young et al., 1995) showed significant correlations between running speed and measures of vertical push-off. In the research Young et al. (1995) determined that a jump from a certain height - drop jump (DJ) produced a relatively small flexion in the knee-joint and short contact time (163ms) in the 60-centimeter jump. Mero (1985) reported a significant correlation ($r=.72$) between 50 centimeters high (DJ) and maximal velocity.

Normalized force, realized in a series of jumps during 15s showed high correlation ($r=.79$, Young et al., 1995). Very high correlations were recorded between running velocity at 60-meter and mechanical force, assessed by dynamic test of a series of high jumps in 15s, amounting to $r=.84$ according Young et al., (1995); and $r=.70$ as stated by Mero and Callister (according Abernethy, 1995). Lower correlations were noted between high jump and force value expressed for the first 350ms of isometric contraction of knee extensor (Baker, 1994), which does not surprise having into consideration the previous results, as well as in younger subjects (14 years of age) between sprint at 30 meters and a series of jumps for 60s ($r=.56$).

According to the presented results it could be concluded that **dynamic tests enable relatively more reliable results on abilities derived in dynamic conditions**, than isometric tests, which can be supported by the fact that while performing isometric and dynamic tests, muscular activities are realized under influence of different neuromuscular mechanisms. Dynamic tests (jumps, running at maximal velocity) are characterized by feedback regimen of muscular work based on usage of energy of elastic deformation. The tests of individual high jumps, or a series of jumps measure not only force of chemo-mechanical processes, but also mechanical energy from elastic elements of connective-muscular system.

Based on the aforesaid, it would be possible to make pragmatic issues whose solving would contribute even more to resolving of the treated problems. One should also examine quality and quantity of connection between muscular strength and motion features at maximal running speed, as well as the connection of tests for assessment of velocity of force development and maximal isometric force.

In that sense, besides the maximal isometric force (F_{max}), at the recorded signal of change of force in time, the **variables for estimation of velocity of force development** are also identified. The most frequent test of velocity of force development is assessment of force development increase (RFD¹⁾) calculated as a maximum of the first derivative of time function of force (Matavulj, 1998; Wilson & Murphy, 1996), or as an incline of the curve at the given moment compared to the beginning of force development (Aagaard et al., 2002).

Other tests are also used for assessment of velocity of force development. The most frequently applied criterion is the size of intervals between two achieved force levels²⁾, for example ($T_{30\%-90\%}$), and they are determined relatively with regard to maximal isometric force (Slievert & Wenger, 1994, according to Pajić, 2006). Certain authors, however, suggest that velocity of force development is determined by **time** needed to **reach certain force level** with regard to zero level (Wilson & Murphy, 1996), or **by achieved force level at the assigned time moment** (Izquierdo et al., 1999), which was implemented in this research when assessing the achieved force level in the 100th millisecond.

When applying an inertial load, firstly, there is a change of inertia momentum, and therefore the adaptation of motion kinematics of the loaded extremities. Whereby the decisive role belongs to the control of elements of neuromuscular system, in the sense of increase of muscular work, manifested, first of all in time pattern of intensity of force and strength (Martin & Cavanagh, 1990; Nilsson & Thorstensson, 1987).

Gravitational force is an important factor and to the great extent determinates the conduct of muscles and functional adaptation. Some researches showed fast adaptation (several days) even to forces that are not gravitational (Lackner, 1981; Lackner & Graybiel, 1982 according Bosco et al., 1986).

In the already mentioned experiment (Evans et al., 1983), in which running was carried out on a treadmill with additional load, by monitoring EMG activity, greater manifested force was determined than when working without an additional load.

¹⁾ RFD (rate of force development) – coefficient of explosivity determined as a maximum of the first derivative of time function of force.

²⁾ Level of increase of force at isometric muscular action (Cavagna, 1988), reaches the highest value between 0.15s and 0.25s (Stone et al., 2001), which corresponds approximately to one third of maximal velocity of muscular contraction.

Height achieved in squat jumps carried with 5 kg of additional load in post-test (43,2 cm) was similar to the one in pre-test, when the squat push-off was performed without an additional load (42,9 cm). This clearly indicated fast adaptation to 5 kg, which actually, was an average additional load carried by the subjects (Bosco et al., 1986).

The performance of squat jump and production of mechanical force in the course of 15s of jumping are in high correlation with the percentage of fibers of fast jerks in vastus lateralis. Therefore, it is completely reasonable to presume that the increase of activation of phase motor units took place in the conditions of additional load (Bosco et al., 1986).

As stated by Bosco et al., (1986) three weeks after regular intensive training with additional load, the control group did not manifest any changes in a single assessed mechanical variable ($p < 0.05$). On the other hand, (F-v) relation of the experimental group shifted after exercising to the right. Significant shift of (F-v) curve to the right clearly demonstrates that exercising with additional load efficiently modified mechanical work of leg muscles in the experimental group athletes. The progress was homogenous and statistically significant ($p < 0.05-0.001$) in all curve parts.

In their research (Nilsson & Thorstensson, 1987) noted the increases in the average generated mechanical force in 15s jumps ($p < 0.05$) and in jumps from height ($p < 0.05$). There were also, no statistically significant differences between pre-test and post-test results (Δh) for (SMJ) squat push-off and landing.

When running at maximal speed with additional load, the mechanism of feedback regimen of muscular work is affected. **It is assumed that optimal additional load applied as training means could significantly contribute to improvement of abilities of force development, provided that it does not affect negatively running kinematics.**

Further studying of the effects of application of additional load as training stimulus could be significant from both practical and theoretical aspect, and the basic problem could be in the research of adaptive processes which directly resulted from its application. The detailed studying of the role of additional load would enable their more efficient usage as potential training stimula for development of maximal running velocity.

Application of external load while running at maximal speed has already been suggested as po-

tential training method (Stefanović, 1979; Bosco et al., 1986; Allemeier et al., 1994, according to Pajic, 2006). Such training of running at maximal speed with additional load (Delecluse et al., 1995) should be efficient in order to enable conversion of enlarged muscular force in muscular strength (Sleivert et al., 1995).

There is no doubt that certain variables of force development affect with one part the ability of running velocity. The share of these mechanisms is more indirect because running is complex activity that depends on many other abilities (techniques, morphology of the body...). It is supposed that for this reason there are different results in the level of correlation of variables of isometric tests and sprinters' abilities. Based on the afore explained it is more important to monitor the way in which certain mechanisms (ability of force development velocity) change under the influence of training which keeps the basic kinematic running pattern, than to monitor the level of correlation between the variables of isometric tests and running velocity.

Two basic presumption in this research are that: (1) the assigned inertial load in training of running velocity development would significantly affect improvement of abilities of force development and velocity of force development of knee extensors and plantar flexors ; (2) the assigned inertial load in training of running velocity development would significantly affect development of abilities of acceleration and maximal running speed.

METHODS

Sample of subjects

The sample of this research consisted of students of the Faculty of Sport and Physical Education in Belgrade (Table 1). The sample of students was defined from actual population ($n=18$). At the time of research the students were healthy and without injuries of locomotor apparatus. With regard to initial sprint time the subjects were classified in three groups depending on running velocity. The groups were formed attempting to make equal distribution of abilities in them. The subjects confirmed formal written consent prior to their participation in the research.

Table 1. Descriptive indices for subjects of each group

Variables	AC for each group ± S.D. (N=6)		
	1 K	2 E-R	3 E-N
Age (years.)	20.8±1.8	20.2±1.12	20.4±1.7
Height (cm)	176.3±9.0	177.8±11.2	178.4±8.12
Mass (kg)	69.36±11.7	72.7±7.8	71.4±8.5
50m - time (s)	6.83±0.24	6.63±0.65	6.81±0.44

1K – control group; 2E-R – experimental group with arm load;
3 E-N – experimental group with leg load

Measurement and variables

From the motor area of the subjects the variables of force and velocity of force development were measured in the experiment but of those muscular groups presumed to contribute significantly with their activities to manifestation of maximal running velocity.

Force variables

Measurement of all force variables was realized by electronic dynamometer SPREBAR IF-5 consisting of measuring transformer (probe) and amplifier with display, compatible with multi-channel analog-digital converter -1401 plus (Cambridge Electronics Device - CED) and by application of SIGAVG software. The acquisition of results and the curve were realized by applicative software SPIKE2 for Windows version 3.10. The recorded signal represented time function of the realized maximal isometric force.

Evaluation of normalized isometric force $F(r)$

The evaluation of **normalized isometric force $F(r)$** was realized by application of **allometric method³⁾** by division of maximal isometric force with the

³⁾ The presented literature review recommends application of allometric method where muscular strength was noted either as muscular force or as muscular moment of force. The recommended method on normalization should provide more reliable results such that can be compared to the results of other studies

result of multiplication of mass and allometric parameter⁴⁾ according to the formula:

$$F(r) = F_{\max} / m^b$$

Where:

- F(r) – is normalized value of maximal force;
- F_{max} – maximal isometric force;
- body mass;
- b – allometric parameter.

Since the body dimensions are factors which influence the results of the muscular force tests, normalization of muscular force with regard to body dimensions was realized in order to eliminate their impeding influence.

The following force variables were measured:

- knee-joint extensors (**EKOL**)
- plantar feet flexors (**PFST**)

Evaluation of force development velocity (force momentum)

The ability of muscles to develop force (or force momentum)⁵⁾ by appropriate velocity was identified from the recorded time function of the force signal. Measurement was carried out on ankle plantar flexors (**PFST**) and in knee-joint extensors (**EKOL**).

⁴⁾ Aimed to appraise index of muscular strength independently from body dimensions, the allometric parameter (b) should be b=0.67 for muscular force (recorded by dynamometer) or b=1 for muscular force moment (recorded by isokinetic device).

⁵⁾ When estimating neuromuscular function, it is significant to appraise velocity of force development since the time necessary to develop an adequate force level in certain sports events is a determining efficiency factor (Wilson & Marphy 1996)

Force increase (**RFD**)⁶⁾ or the coefficient of explosivity is calculated as relation of maximal force and time necessary for its realization i.e.:

$$(\mathbf{k}) \text{ or } (\mathbf{RFD}) = \mathbf{F}_{\max} / \mathbf{t}_{\max}$$

Whereby:

\mathbf{F}_{\max} – is maximal reached force;

\mathbf{t}_{\max} – time in which maximal force is realized

(difference from the start of MVC till the moment of reached maximal force).

The following variables were measured:

- coefficient of increase of force in knee joint extensors - (**k - EKOL**)
- coefficient of increase of force of plantar feet flexors - (**k - PFST**)

Since the average duration of the contact with the surface in sprint lasts approximately 100ms, the identified force intensity was reached in 100 ms ($\mathbf{F}_{100\text{ms}}$) from the beginning of contraction.

The measured variables were:

- level of force of knee-joint extensors achieved in 100 milliseconds ($\mathbf{F}_{100\text{ms}}$ - **EKOL**)
- level of force of plantar flexors achieved in 100 milliseconds ($\mathbf{F}_{100\text{ms}}$ - **PFST**)

Experiment protocol

The experiment was realized in parallel groups with the action of the experimental factor (inertial load) occurred in two levels. The first, control group K realized the prescribed sprint training, freely, i.e. without an application of additional load. The second, experimental group E-R ran with an additional load attached to their arms. The third experimental group E-N ran with an additional load attached to their legs.

Experimental factor

In order to increase inertia momentum of legs and arms in the training procedure, an additional load was applied in the form of cuffs with plates, fixed

to ankles and wrists. In compliance with the previous researches and the achieved results (Ropret et al., 1998; Stegemann, 1981) a load of 1.8kg was applied, for which it was calculated that it modifies rotation inertia moment on average for around 50%.

Testing procedure

The research encompassed initial and final measurement of all variables. Both measurement were realized in two days whereas the initial measurement (pretest) was carried out one day before the beginning of implementation of training procedure, and the final one was two days upon completion of the training procedure. Measurement of dynamic and kinematic variables was realized while running at maximal velocity at 50-meter track. Each subject ran twice, and better result was used for final elaboration (lower total time). Measuring devices (photocells - Brower timing system) were placed at the start, so that they registered standing start (0.5m), then after 25m, and finally at 50m. That way, during one running the appropriate kinematic variables were recorded within the phase of acceleration (0 – 25m) and the phase of maximal velocity (25m – 50m). The values were measured with accuracy of 0,01s.

Training procedure

Each subject had a warm-up before training with application of sprinter (jog, high knee lifting, grabbing step, skip – half-skip running etc.), followed by dynamic extension of important muscular groups engaged in sprint. This was followed by a set of acceleration with changes of running rhythm. After the warm-up, the athletes carried out their special training procedures. During a six-week experiment, trainings were held 3 times a week. The training intensity grew progressively and volume of work was increased every two weeks. In the first two weeks each subject carried out a set of five repetitions of his/her own specific training regimen. In the third and fourth week training load was increased to two sets each of five repetitions. In the last two weeks the intensity of training was increased to three sets of five repetitions for each group. One set consisted of five repetitions, and maximal running velocity was 50m, from semi-high start, with 2-3min. of resting between each running, with 8-10m of recovery between sets.

⁶⁾RFD - rate of force development – is determined as the maximum of the first derivative of the recorded force signal in time (Haff et al., 1997; Wilson & Marphy 1996), or as a curve incline at given moment compared to beginning of force development (Aagaard et al., 2002).

Acquisition of experimental results

From descriptive statistical indexes, we implemented measures of central tendency (arithmetic mean), as well as the measure of dispersion – standard deviation). Out of methods of qualitative statistical analysis, a statistical procedure of **T-test for dependent samples** was applied:

The level of significance of ($p < 0.05$) was applied to determine significance of differences between pre-test and post-test for each group. The results were elaborated by application of applicative statistical program SPSS (12.0)

RESULTS

The average values of motor variables of **velocity of force development, normalized maximal isometric force**, as well as times achieved in the phases of acceleration and maximal running speed at **initial and final** measuring, were presented in the tables 2, 3 and 4, as well as in graphs 1-4.

Table 2. Average values of motor variables **velocity of force development, normalized maximal isometric force**, as well as times achieved in phases of acceleration and maximal running velocity at **initial and final** measurement for control group K.

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	I-k-EKOL	400,3033	6	103,37850	42,20409
	F-k-EKOL	511,7800	6	97,56706	39,83159
Pair 2	I-k-PFST	440,1450	6	92,68196	37,83725
	F-k-PFST	441,2233	6	69,55051	28,39388
Pair 3	I-F100msEKOL	106,2633	6	12,57605	5,13415
	F-F100msEKOL	110,4867	6	19,65936	8,02590
Pair 4	I-F100msPFST	135,3683	6	37,03584	15,11982
	F-F100msPFST	194,4450	6	54,13758	22,10158
Pair 5	I-EKOL	28,7800	6	4,87860	1,99168
	F-EKOL	30,7067	6	4,23671	1,72963
Pair 6	I-PFST	75,0850	6	6,62234	2,70356
	F-PFST	83,8550	6	7,49578	3,06014
Pair 7	I-VTF1	3,7833	6	,18790	,07671
	F-VTF1	3,7317	6	,18713	,07639
Pair 8	I-VTF2	3,0500	6	,13755	,05615

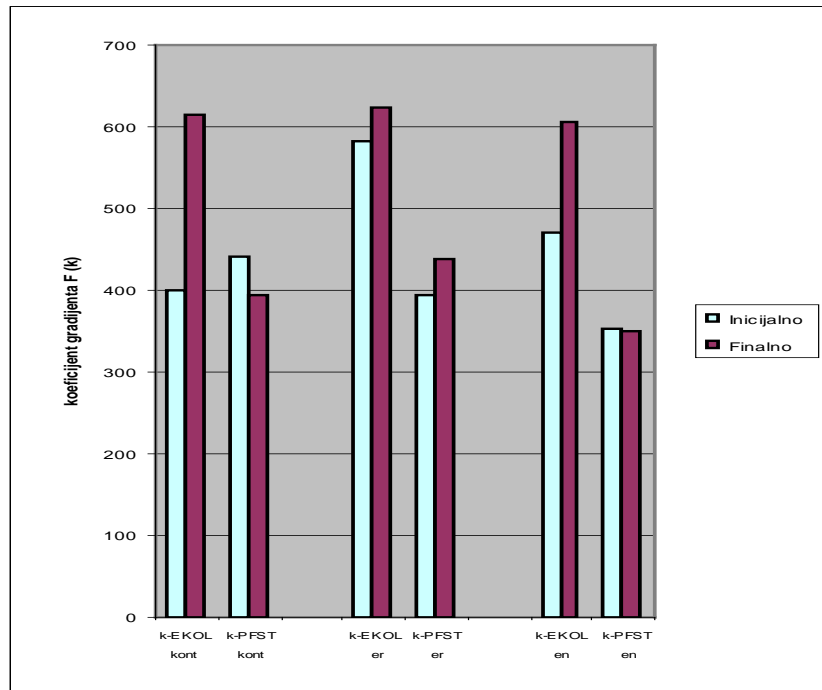
Table 3 Average values of motor variables **velocity of force development, normalized maximal isometric force**, as well as times achieved in phases of acceleration and maximal running velocity at **initial and final** measurement for experimental group E-R.

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	I-k-EKOL	582,0817	6	246,25512	100,53323
	F-k-EKOL	624,0250	6	106,07041	43,30306
Pair 2	I-k-PFST	393,1783	6	45,98354	18,77270
	F-k-PFST	439,6650	6	42,76132	17,45724
Pair 3	I-F100ms EKOL	110,8183	6	18,99102	7,75305
	F-F100ms EKOL	123,9717	6	18,29461	7,46875
Pair 4	I-F100ms PFST	165,3717	6	46,42557	18,95316
	F-F100ms PFST	202,0367	6	40,10129	16,37128
Pair 5	I-EKOL	31,7683	6	3,61943	1,47763
	F-EKOL	35,1717	6	4,52920	1,84904
Pair 6	I-PFST	74,3283	6	5,80268	2,36893
	F-PFST	84,3100	6	5,31354	2,16924
Pair 7	I-VTF1	3,6783	6	,11531	,04708
	F-VTF1	3,6483	6	,10323	,04214
Pair 8	I-VTF2	2,9600	6	,12806	,05228
	F-VTF2	2,9583	6	,09683	,03953

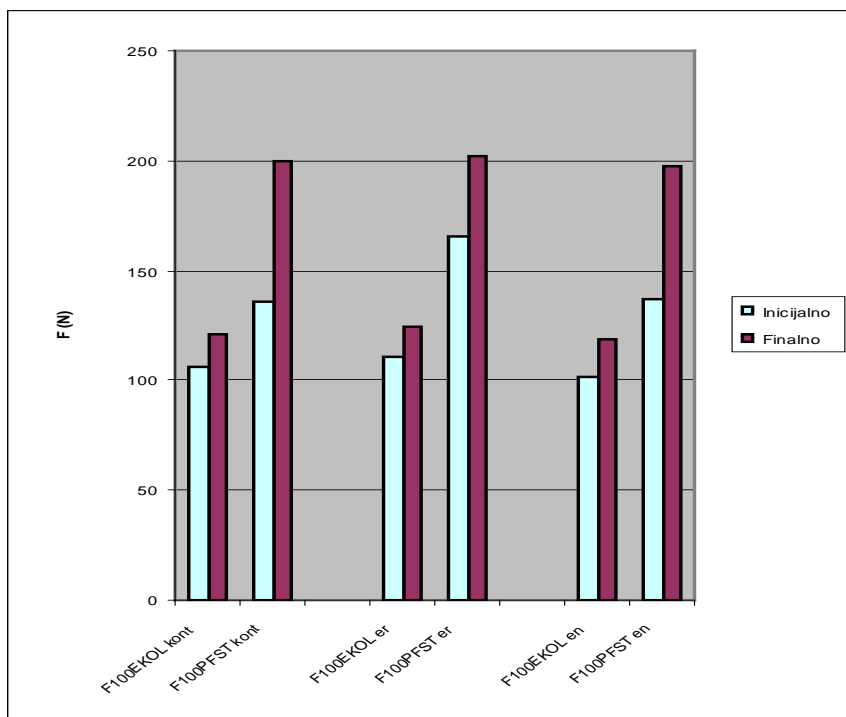
Table 4. Average values of motor variables **velocity of force development, normalized maximal isometric force**, as well as times achieved in phases of acceleration and maximal running velocity at **initial and final** measurement for experimental group E-N.

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	I-k-EKOL	471,7017	6	248,28244	101,36088
	F-k-EKOL	605,1550	6	234,19685	95,61046
Pair 2	I-k-PFST	353,1150	6	37,71878	15,39863
	F-k-PFST	349,8767	6	125,14594	51,09061
Pair 3	I-F100ms EKOL	101,2083	6	26,76096	10,92512
	F-F100ms EKOL	118,3867	6	15,15506	6,18703
Pair 4	I-F100ms PFST	137,2233	6	44,19212	18,04136
	F-F100ms PFST	197,7767	6	46,91093	19,15131
Pair 5	I-EKOL	31,2283	6	9,98882	4,07792
	F-EKOL	36,5100	6	10,09875	4,12280
Pair 6	I-PFST	68,8617	6	5,54168	2,26238
	F-PFST	85,7150	6	6,40330	2,61414
Pair 7	I-VTF1	3,8033	6	,11021	,04499
	F-VTF1	3,9417	6	,38186	,15589
Pair 8	I-VTF2	3,0067	6	,14320	,05846
	F-VTF2	3,1633	6	,44603	,18209

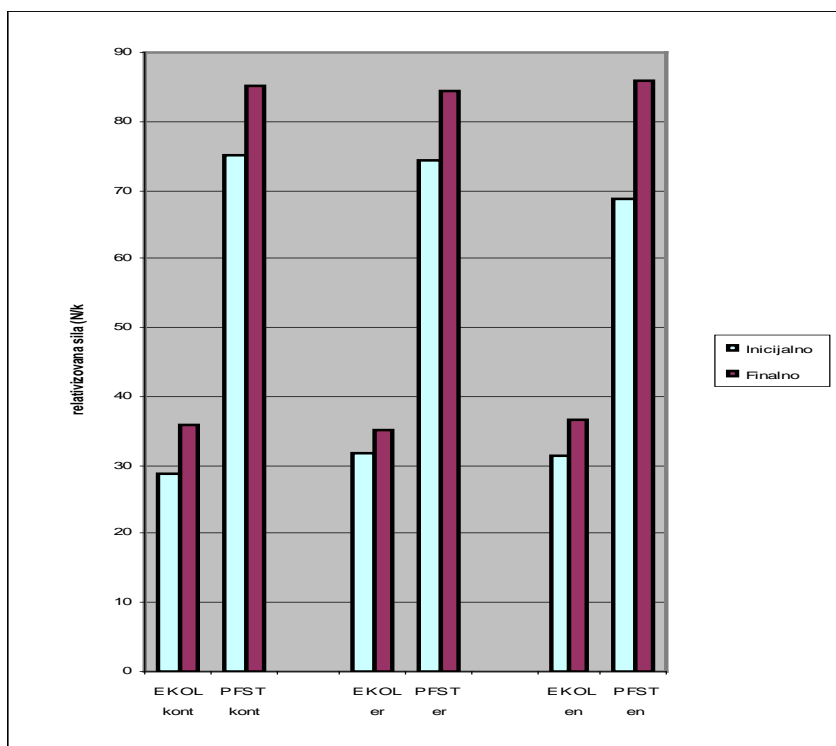
Graph 1. Results of initial and final measurement for variables coefficient of force increase of knee joint extensors - (κ - EKOL) and coefficient of force increase of plantar feet flexors - (κ - PFST) for control group, experimental group E-R and experimental group E-N.



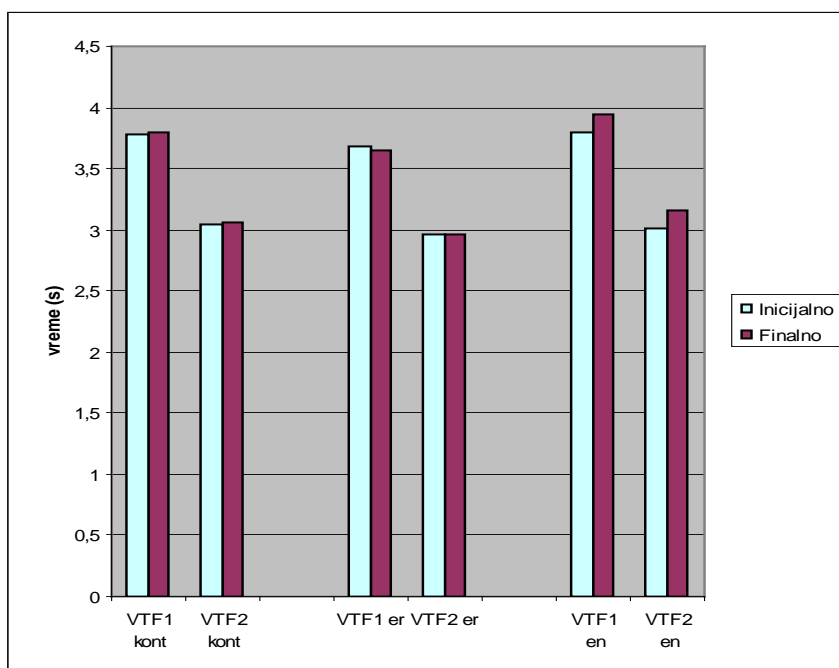
Graph 2. Results of initial and final measurement for variables force level of knee joint extensors achieved in 100 milliseconds (F_{100ms} - EKOL) and force level of plantar flexors achieved in 100 milliseconds (F_{100ms} - PFST) for control group, experimental group E-R and experimental group E--N



Graph 3. Results of initial and final measurement for variables force of knee joint extensors (EKOL) and plantar feet flexors (PFST)) for control group, experimental group E-R and experimental group E--N



Graph 4. Results of initial and final measurement for variables running time in acceleration phase (VTF1) and running time in maximal velocity phase (VTF2)) for control group, experimental group E-R and experimental group E--N



Statistical significance of the measured variables **velocity of force development, normalized maximal isometric force**, as well as times achieved in the phases of acceleration and maximal running

speed at **initial and final measurement**, including pre test and post test, arithmetic means and standard deviation was shown in tables 5, 6 and 7.

Table 5. Results of T-test for motor variables **velocity of force development** and **normalized maximal isometric force** and times achieved in acceleration phases and maximal running velocity at **initial and final** measurement for control group K.

		Paired Differences			t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean			
Pair 1	I-k-EKOL - F-k-EKOL	-111,47667	100,3298	40,95948	-2,722	5	,042
Pair 2	I-k-PFST - F-k-PFST	-1,07833	92,32834	37,69289	-,029	5	,978
Pair 3	I-F100ms EKOL – F-F100ms EKOL	-4,22333	10,09679	4,12200	-1,025	5	,353
Pair 4	I-F100ms PFST – F-F100ms PFST	-59,07667	54,59522	22,28840	-2,651	5	,045
Pair 5	I-EKOL - F-EKOL	-1,92667	1,16156	,47421	-4,063	5	,010
Pair 6	I-PFST - F-PFST	-8,77000	6,07357	2,47953	-3,537	5	,017
Pair 7	I-VTF1 - F-VTF1	,05167	,09152	,03736	1,383	5	,225
Pair 8	I-VTF2 - F-VTF2	-,04167	,10458	,04269	-,976	5	,374

Table 6. Results of T-test for motor variables **velocity of force development** and **normalized maximal isometric force** and times achieved in acceleration phases and maximal running velocity at **initial and final** measurement for experimental group E-R.

		Paired Differences			t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviat,	Std. Error Mean			
Pair 1	I-k-EKOL - F-k-EKOL	-41,94333	236,8815	96,70648	-,434	5	,683
Pair 2	I-k-PFST - F-k-PFST	-46,48667	68,81481	28,09353	-1,655	5	,159
Pair 3	I-F100ms EKOL – F-F100ms EKOL	-13,15333	20,28482	8,28124	-1,588	5	,173
Pair 4	I-F100ms PFST – F-F100ms PFST	-36,66500	55,48087	22,64997	-1,619	5	,166
Pair 5	I-EKOL - F-EKOL	-3,40333	1,86402	,76098	-4,472	5	,007
Pair 6	I-PFST - F-PFST	-9,98167	5,23457	2,13700	-4,671	5	,005
Pair 7	I-VTF1 – F-VTF1	,03000	,02280	,00931	3,223	5	,023
Pair 8	I-VTF2 – F-VTF2	,00167	,09806	,04003	,042	5	,968

Table 7. Results of T-test for motor variables **velocity of force development** and **normalized maximal isometric force** and times achieved in acceleration phases and maximal running velocity at **initial and final** measurement for experimental group E-N.

		Paired Differences			t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean			
Pair 1	I-k-EKOL - F-k-EKOL	-133,45	80,59586	32,90312	-4,056	5	,010
Pair 2	I-k-PFST - F-k-PFST	3,23833	111,0695	45,34394	,071	5	,946
Pair 3	I-F100ms EKOL – F-F100ms EKOL	-17,1783	24,28619	9,91480	-1,733	5	,144
Pair 4	I-F100ms PFST – F-F100ms PFST	-60,5533	41,83375	17,07855	-3,546	5	,016
Pair 5	I-EKOL - F-EKOL	-5,28167	1,30389	,53231	-9,922	5	,000
Pair 6	I-PFST - F-PFST	-16,8533	4,11114	1,67837	-10,04	5	,000
Pair 7	I-VTF1 – F-VTF1	-,13833	,34055	,13903	-,995	5	,365
Pair 8	I-VTF2 – F-VTF2	-,15667	,35517	,14500	-1,080	5	,329

DISCUSSION

In this research we analyzed changes of some motor variables, assumed to significantly influence manifestation of maximal running velocity, as a consequence of application of programmed training procedure with additional load on distal parts of arms and legs.

The results of the statistical analysis of the control group K, indicate that affected by experimental factor, improvements were achieved in variables (k-EKOL, $p < .042$, F_{100ms} PFST, $p < .045$, EKOL, $p < .010$, PFST, $p < .017$).

The results of the statistical analysis of the experimental group E-N indicate that affected by experimental factor, improvements were achieved in variables (k-EKOL, $p < .010$, F_{100ms} PFST, $p < .016$, EKOL, $p < .000$, PFST, $p < .000$).

The results show that changes in control group K and in the experimental group E-N have the same tendency, although that is not the case if we compare changes in absolute values. It was expectable that the group carrying a load on their legs would have greater increase in variables of force when compared to control group. Significant changes in the same variables of force in the control group K when compared to the experimental E-N can be explained by excessive sensitivity of the sample of subjects, their famil-

iarization with the tests, since for realization of the experiment, we chose students who were not training actively. At the same time in these groups, there were no statistically significant changes in maximal running speed in both phases. In control group, in the phase of acceleration there was a certain improvement of velocity (0.052c), but not on the level of statistical significance, and overall running time in both phases was not improved. That could be explained by the fact that intensity and volume of the load for this group were very small, and conditioned by the intensity and volume of load of the experimental groups which at that same treatment (number of sets, number of repetition in a set), carried additional load. It is noticeable that in the experimental group E-N there was reduction in running velocity in both phases (VTF1 – from 3.803 to 3.941, and VTF2 – from 3.006 to 3.163) but, although not statistically significant, it can be considered from the aspect of sports practice, that deceleration of running in both phases is significant. The reasons for velocity drop in the experimental group E-N could lie in the presumption that the applied load caused **inadequate adaptation of the neural system** in managing of the motions i.e. change of kinematics pattern of leg movement. That would mean that there was violation of technique, i.e. of coordination of movements.

Stegman (1981) established that a leg behaves as a pendulum whose frequency depends on its inertial features. Since the inertial features of lower extremities were significantly modified in this experiment, the subjects adapted to new optimal frequency and step length (Bobbert et al., 1986, according to Pajic, 2006). The said authors explained that insufficient velocity of a leg in swing, since loaded with inertial load, can be a limiting factor for further increase of running velocity. The assumption that these changes result from the adaptation of nervous system to managing of the movements aimed at creation of the most economic movement structure (frequency – step length) for each type of load in the conditions of attempt of maintaining constant velocity. The adaptation, among other things, due to changed inertial conditions for legs, occurs in the extension of swing phase, which together causes decrease of step frequency. If the velocity is the same, or in slight decline any reduction of frequency results in extension of steps.

The second reason for velocity drop in the experimental group E-N could be a deficit in velocity (reactive) force that is necessary in the modified conditions of overcoming gravitational forces, forces of surface reaction, as well as of intertion of lower extremities. Although there was a statistically significant increase in the results of variables (k-EKOL, $p < .010$, F_{100mc} PFST, $p < .016$, EKOL, $p < .000$, PFST, $p < .000$), the assumption is that an overall effect of adaptation to newly created conditions was not sufficient and that maybe duration of experimental treatment can be a limiting factor.

The adaptation in the mentioned conditions is of **neurogenous and miogenous nature** (Thornton & Rummel, 1974; Milner-Brown et al., 1975; Moritani & De Vries, 1979 according to Bosco et al, 1986; Bosco et al., 1984; Rusko & Bosco, 1987). Firstly, the neural factors adapt relatively fast by increasing the number of recruited motor units, by increased level of discharge and their better mutual work synchronization. However, the second phase (miogenous adaptations) is featured by increase of their glycolitic potential and can last a few months (McDonagh and Davies, 1984, according Bosco et al., 1984). That justifiably points out to **necessity of special discharge of the length of duration of the experimental treatment** and can possibly raise doubt about the length of the prepared treatment in this research, with regard to different plasticity of certain examined variables, as

well as the specificity of the experimental factor.

The results of the statistical analysis of the experimental group E-R indicate that a statistically significant improvement of the results in variables (EKOL, $p < .007$, PFST, $p < .005$). occurred by action of the experimental factor. In this experimental group there was a statistical change in running velocity in acceleration phase (VTF1, $p < .023$).

The explanation for this could be in the fact that **adaptations of arm movements to modified conditions of inertia momentum**, and thus gravitational forces, **is much greater when compared to the legs**. They happen because of aspiration to keep the intensity of movement, so a reduction of an angle upper arm – forearm, in order to eliminate action of force on the longer branch, i.e. reduction of rotation moment, which causes increase of frequency. The **increased arm frequency**, whereby with regard to the body. Left leg an right arm move ventrally, and the other two extremities dorsally and vice versa, **provokes an elevated level of neural activities (reciprocal inhibition) and thus positively influences kinematics of legs**. Having in mind that the reductions of amplitude of movements are more possible by flexion in elbow joint than in knee and hip joints (Maidell & Alexander, 1991) it can be presumed that such adaptive processes, as consequences of arms loading, can influence change of legs kinematics. It is assumed that there was adding of positive effects of carrying arms load with simultaneous insignificant change of the basic pattern of motion kinematics of legs, which probably positively affected the overall neuro-muscular adaptation (Pajic, 2006). In this group, affected by the experimental treatment there was a statistically significant increase of variables of maximal force of knee-joint extensors (EKOL, $p < .007$) and of plantar flexors (PFST, $p < .005$), which can be linked to running velocity increase in the phase of acceleration. It is known that force generated in muscles is greater, if the time of contractions is longer, because certain time is required to reach tension of the muscular contractile components. In the course of acceleration phase, when contact time of each step is around 200ms, greater part of capacity of muscular force can be used. At maximal running speed (surface contact time around 100ms) only a small portion of muscular force can be manifested during each contact with surface (Alabin & Uchkevich, 1976, according to Pajic, 2006), so that superiority of measurements of variables of maximal force is greater in the accel-

eration phase, and of variables of velocity of force development (RFD) is greater in the phase of maximal running speed (Pajic, 2006).

The reasons for quantity and quality of the above described adaptation, when applying this specific experimental factor could be in the following statements.

It has already been suggested that additional load causes increased muscular activity (Martin, 1985), increase of gravitational forces (Rusko & Bosco, 1987), as well as increased reaction of the surface during the phase of push-off (Frederich & Hagy, 1986). When running with additional load, due to interaction of forces of inertial load with force of gravitation (Rusko & Bosco, 1987), velocity of foot lowering during the preparation phase of push-off phase are greater, and therefore also the forces generated during eccentric muscular contraction. Consequently, the reached inertial concentric force of plantar flexors is greater, and therefore the executed subsequent work is greater.

Increase of force influenced by application of additional loads, causes also increased muscle firmness, creating thus conditions for more efficient usage of cycles of extension-contraction while going from the eccentric into the concentric phase. This increased efficiency can be created since firmer muscle is more resistant to stretching that is caused during to the eccentric phase. Muscle firmness can also help in coupling time between eccentric and concentric muscular contractions. The greater the firmness, the greater ability of muscles to endure great load. This can lead to shorter contact time with surface, greater force production during contact time with surface and therefore to greater running velocity.

It can be assumed that application of additional loads can influence efficiency of functioning of a cycle extension-contraction (SSC), and thus positive effects of exercising in the feedback work regimen are additionally increased, and especially because the velocity of eccentric muscular contraction is greater. The consequence of velocity increase of muscular contraction is shortening of time of generation of the reached force level.

The aforesaid activities caused moving of (F-t) relation to the left, increase of explosive force (RFD), and therefore also raising of the level of manifestation of legs reactive force. The graph (F-t) relation identifies that by **shifting of the curve force-time to the left** and by shortening of time needed to generate

force of equal intensity, more than by increasing its intensity and/or by shifting upwards by increase of intensity of generated force for the same time, based on greater intensity of generating maximal force, more than by shortening time and/or by combination of both of them. It is assumed, due to the nature of the experimental factor and therefore adequate training, that moving of the curve force-time to the left **in this research are more the result of the shortening of time for force generation, that of the intensity of force generation**. The moving of the curve shows that exercising with additional load modified mechanical work of legs, during the contact with surface, increased force production and velocity of its development, and therefore also increase of the reactive force, which again caused shortening of the contact phase. Such relations were reported by Maidell and Alexander (1991), and determined by monitoring of EMG activities (Evans et al., 1983).

It is assumed that the applied load on arms and legs in experimental groups presumed increased use of fast muscular fibers, more significant activation of glycolytic potential, as well as increased nervous impulsion towards active muscles (Holland, 1984; Mero et al., 1987; Tinning & Davis, 1978). It should be noted that efficiency of the said changes depends also on structure of muscular fibers of the subjects. Since running is at maximal velocity, "fast" individuals when compared to the "slow" ones, show better performances in velocity of force development after the training procedure, and therefore also in reactive force because running actually represents a series of reactive jumps. The aforesaid differences can be explained by differences in length of duration of junction of transversal bridge of myofilaments of myosin and actine during muscular contraction. Slow fibers are characterized by longer duration of this junction, with regard to fast fibers, so that slow fibers show better usage of energy of elastic deformation while carrying out slower amortizing movements, and vice versa, fast fibers show better usage when carrying out reactive movements (Bosco et al., 1983).

From the aforesaid it could be concluded that training for force development could move the curve force-time to the left only to the limit determined by the capacity for increase of the impulse from CNS through alpha motor neurons. Then, it is necessary to reintroduce the training of maximal strength. Evidently by applying of this experimental training procedure (strength training with inertial load) one can

influence moving of the curve force-time to the left only by shortening the time of strength generation (Pajic, 2006).

Since the level of force increase rises even when compared to capacity for generating of maximal force, from the aspect of force increase, **it is essential to know which is the level of maximal force to start with in the strength training.** In other words, **since force is function of strength, it is necessary first, by applying adequate training procedure, to “build up” the curve force-time, and then to shift it to the left.** Whereby you cannot develop maximal force by simply, constantly increasing the load up to a certain value,⁷⁾ and then concentrate to development of strength (Hakkinen, 1991, according to Bompa, 1999). The solution is **successive replacing of phases of development of maximal force and strength**, conditioned by periodisation of training and physiological laws of adaptation processes of neuro-muscular system to appropriate training conditions.

It is well known that the increase of level of force rise from the aspect of capacity for generation of maximal force, exercises are carried out by maximal voluntary activation of muscular fibers against great (even up to supra maximal) loads. The velocity of execution of such motor tasks is small and/or equal to zero, but the velocity of neuromuscular activation is maximal, so that the level of force growth is increased. However, even such increased level of force growth, isolated for itself is unfitting, so this method can be used **only in combination with another method, more appropriate for specific requests of manifestation of reactive force in motor tasks, in its motion structure similar** to those requested by the given event. In this case it is running at maximal velocity, and method is force development by small inertial loads. The method of force development with small loads and maximal velocity of execution, increases the level of force growth, and the result of such work is increased force in the zone of lower loads, at higher speed of execution. Since it increases the level of force growth exactly in the time interval of duration of contact in the phase of push-off, it can be a useful method of force development in running at maximal velocity, but again only in combination

⁷⁾ It is well known that testosterone level rises in the first six to eight weeks of training for development of maximal force, and then decreases gradually (Hakkinen, 1991, according to Bompa 1999). The researches indicate that training with constant load of high intensity can reduce resistance of bone tissue.

with other methods, in order to compensate shortages in generation of higher intensity force.

Thus, the above statements proved that the experimental training procedure requires also successive application of training for force development from the aspect of exploiting of capacity for generation of maximal force, since it is always more **suitable to apply the selected training of reactive force at higher initial level of maximal force.** That way, the applied experimental procedure would have better efficiency from the aspect of greater influence of maximal force and strength on kinematics and dynamic variables of maximal running velocity.

CONCLUSIONS

Force and strength variables cannot completely and with great sensitivity describe technically extremely complex activity as running at maximal velocity is.

Since, the students who do not train actively are chosen for realization of the experiment (excessive susceptibility of sample), there was not an expected improvement of running velocity, except in the phase of acceleration in the experimental group E-R. This indicates that such applications of inertial load without prior individualization, (normalization when compared to mass and height of the subjects) cause suspicion about the justification of their application for development of maximal running velocity. This particularly refers to legs load, whose function is much more complex because they generate propulsive impulses and perform swings. From the athletic practice it is well known that minimal influences can cause great changes in running speed (type or brand of footwear, surface etc.).

Application of inertial load positively affected force parameters and in that sense it could be applied in training practice. Increase of force of selected muscular groups could be realized by regular dozing and adequate positioning and consequently it could have a feedback influence the increase of running velocity.

According the aforesaid assertion on connection of maximal running velocity and some parameters of force it can be concluded that through influence on strength one can also influence maximal running velocity.

That causes shifting of (F-v) relation of experimental groups to the right and of (F-t) relation to the left. Shifting of the curves (F-v, F-t) shows that

exercising with additional load modified mechanical work of leg muscles, increased force production during contact time with surface, which influenced certain increase of explosive force.

It can be ascertained that application of additional load further increases the positive effects of exercising in feedback work regimen, especially due to greater velocity of eccentric muscular contraction. They **represent efficient means intensifying effects of training in feedback work regimen**. By their application you influence the efficiency of functioning of the cycle extension-contraction(SSC), and thus the possibility of its application in realization of reactive force. The intensity of stretching of active muscle in eccentric muscular contraction is increased by applied additional load. That intensified muscle stiffness and provokes activity of the reflex of stretching, which increases velocity of eccentric muscular contraction as well as production of initial force of concentric phase. The increased velocity of muscular contraction causes shortening of time of generation of the achieved force level.

It can be assumed that the applied training treatment at development of velocity (reactive) force of the subjects, because small load was applied with maximal execution velocity. That increased the level of force growth and therefore of strength as well, in the zone of small loads at great velocities of execution. The level of force growth occurs exactly in the time interval of duration of surface contact, so this method of force development can be useful for improvement of running at maximal velocity, but only in combination with other methods which would compensate for defects in generating force of higher intensity.

Based on the obtained results there was a significant change in the level of variable **velocity of force development** of knee extensors in the group with leg load and of variable **plantar foot flexors** in the group with arm load. It is assumed that, having in mind features of the experimental treatment, influence was made on moving of the curve force-time (F-t) to the left, only by shortening of time of force generation without influence on force development for the aspect of capacity for generation of maximal force, so successive shifting of phases of maximal force and strength is suggested.

Since body dimensions are factor which influences the results of the test of muscular force, the applied normalization of muscular strength related to

body dimensions is important in order to eliminate their impeding influence.

For achieving efficiency necessary in maximal running velocity in the phase of supporting, vertical moving of body center of gravity (generated during fall in the phase of flight), as well as horizontal velocity in decrease (created due to stopping in the phase of supporting), **must be optimized**. For fulfillment of those requests of efficiency, force production must be maximized, because it will limit flexion in the phase of supporting, creating thus conditions for usage of reactive force from eccentric to the concentric phase. Therefore, a minimal flexion in the hip, knee joints and ankle is requested during contact with surface at any step.

The training applied in this paper, affected knee extensors i.e. increase of knee resistance to flexion (increase of efficiency in the isometric work regimen), as well as the ability of plantar flexors to increase velocity extension-flexion (efficiency of the feedback work regimen), for greater mechanical limitation on the vertical axis, and primarily for greater stabilization of movement of hip joint. That causes smaller lowering of body center of gravity, its shorter path and therefore greater body velocity. Additionally, by blocking flexion in knee joint, conditions are created for establishment of optimal values of the critical angle of body inclining, which is vital for neutralization of negative influence of the horizontal component of force of reaction of surface in dorsal direction, as well as of favoring of influence of that component in ventral direction. Thus slowing down of bodies are significantly neutralized at every step contributing at the same time to its greater velocity.

It is assumed that the described changes resulted mainly from adaptation of nervous system to managing of movements aimed at creation of the most economic movement structure (frequency before all) for each type of load in conditions of keeping the constant velocity. The adaptation occurs by dozing of the intensity of force and strength, thus by change of the moment of quantity of movement and moment of inertia segment, by control of action of the components of forces of reaction, gravitational force, as well as by coordinating the work of kinetic chains through activities on single-ankle and double-ankle muscles when matching velocities and simultaneous pairing of movements.

REFERENCES

1. Aagaard, P., Simonsen, E., Andersen, J., Magnusson, P., Dyhre-Poulsen, P. (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol*, 93, 1318-1326.
2. Abernethy, P. Wilson, G. & Logan, P. (1995). Strength and strength assessment: issues, controversies and challenges. *Sport Med*, 19 (6), 401-407.
3. Alexander, M. J. L. (1989). The relationship between muscle strength and sprint kinematics in elite sprinters. *Can. J. Spt. Sci*, 14, 48-157.
4. Aragon-Vergac, L. & Gross, M. (1997). Kinesiological factors in vertical jump performance: difference within individuals. *J Appl Biomech*, 13, 45-65.
5. Baker, D., Wilson, G., & Caryon, B. (1994). Generality versus specificity: a comparison of dynamic and isometric measure of strength and speed-strength. *Eur J Appl Physiol*, 68, 350-355.
6. Berg, K., Miller, M., & Stephens, L. (1986). Determinants of 30 meter sprint time in pubescent males. *J Sports Med*, 26, 225-230.
7. Bosco, C., Luthanen, P., & Komi, P. (1983). A simple method for measurement of mechanical strength in jumping. *Eur J Appl Physiol*, 50, 273-282.
8. Bosco, C., Zanon, S., Rusko, H., Dal Monte, A., Bellotti, P., Latteri, F., et al. (1984). The influence of extra load on mechanical behavior of skeletal muscle. *Eur. J. Appl. Physiol.* 53, 149-154.
9. Bosco, C., Rusko, H., & Hirvonen, J. (1986). The effects of extra - load conditioning on muscle performance in athletes. *Med. Sci. Sports Exerc*, 18 (4), 415-419.
10. Cronin, B.J. & Hansen, TK. (2005). Strength and strength predictors of sports speed. *J Strength Conditioning Rec*, 19(2), 349-357.
11. Delecluse, C., Van Copenolle, H., Willems, E., Leemputte, M., Diels R., & Goris, M. (1995). Influence of high-resistance and high-velocity training on sprint performance. *Med Sci Sport Exerc*, 27, 1203-1209.
12. Ewans, O. M., Zabib, Y., Faria, M. H., & Monod, H. (1983). Physiological responses to load holding and load carriage. *Ergonomics*, 26, 161-171.
13. Farrar, M. & Thorland, W. (1987). Relationship between isokinetic strength and sprint times in college-age men. *J. Sports Med*, 27. 368-372.
14. Haff, G., Stone, M., O'Bryant, H., Harman, E., Dinan, C., Johnson, R., & Han, K. (1997). Force-time dependent characteristics of dynamic and isometric muscle action. *J Strength Conditioning Rec*, 11, 269-272.
15. Hakkinen, K. (1987). Force production characteristics of leg extensor, trunk flexor and extensor muscles in male and female basketball players. *J Sports Med Phys Fitness*, 31, 325-331.
16. Holland, R. G. (1984). Increasing your speed. *Running times*, May, 18-22.
17. Izquierdo, M., Aquado, X., Gonsales, R., Lopez J.L. and Hakkinen, K. (1999). Maximal and explosive force production capacity and balance performance in man of different ages. *Eur J Appl Physiol*, 79, 260-267.
18. Maidell, R., & Alexander, M.J. (1991). The effect of overspeed training on kinematic variables in sprinting. *J. Human Mov. Studies*, 21, 19-39.
19. Martin, P. E., & Cavanagh, P. R. (1990). Segmental interactions within the swing leg during unloaded and loaded running. *J. Biomechanics*, 23,, (6), 529-536.
20. Matavulj, D. (1998). Uticaj pliometrijskog treninga na vertikalni odskok i relaciju sila-vreme kod osoba razlicite structure mišića. (Influence of plyometric training on vertical jump and relation force-time in persons with different muscular structure.) Master thesis. Belgrade: Faculty of Sport and Physical Education.
21. Mero, A.(1985). Relationship between muscle fiber characteristics, sprinting and jumping of sprinters. *Biology of Sport*, 2, (3), 155-161.
22. Mero, A., Komi, P. V., & Gregor, R. J. (1992). Bio-mechanics of sprint running. *Sport Medicine*, 13. 376-392.
23. Mero, A., Komi, P. V., Rusko, H., & Hirvonen, J. (1987). Neuromuscular and anaerobic performance of sprinters at maximal and supermaximal speed. *International Journal of Sports Medicine*, 8, 55-60.
24. Mero, A., Luthanen, P., & Vittacalo, T. (1981). Relationship between maximal running velocity, muscle fibre characteristics, force production and force relaxation of sprinters. *Scan J Sports Sci*, 3, 16-22.
25. Nilsson, J. and Thorstensson, A. (1987). Adaptability in frequency and amplitude of leg movements during human locomotion at different speeds. *Acta Phyciol Scand*, 129, 107-114.

26. Pajic, Z. (2006). Efekti primene inercionog opterećenja na motoricke, morfoloske i biomehanicke performanse kretanja maksimalnom brzinom (Effects of application of inertial load on motor, morphological and biomechanic performances of motion at maximal speed) Doctoral dissertation. Belgrade: Faculty of Sport and PE.
27. Ropret, R. (1998). Influence of inertial load on kinematics of running at maximal speed. Doctoral dissertation. Belgrade: Faculty of Sport and PE.
28. Rusko, H. & Bosco, C. (1987). Metabolic response of endurance athletes to training with added load. *Eur. J. Appl. Physiol*, 56, 412-418.
29. Stefanovic, DJ. (1979). Methods of training for improvement of phase of maximal running speed in 100-meter sprinters. *Physical Culture*, 33(5), 383-90.
30. Stegman, J. (1981). *Exercise physiology: Physical bases of work and sport*. J.S. Skinner (Tranc. and Ed.). Chicago: Year book medical publishers, 258-264.
31. Tinning, R., & Davis, K. (1978). The effectiveness of towing in improving sprinting speed. *Australian Journal for Health, Physical Education and Recreation*, March, 19-21.
32. Thorland, W. G., Johnson, G. O., Cicar, C. J., Houch, T. J., & Tharp, G. D. (1990). Muscular strength and strength in elite young male runners. *Pediatric Exercise Science*, 2, 73-82.
33. Wilson, G., Murphy, A., & Walche, A. (1995). The specificity of strength training: the effect of posture. *Eur J Appl Physiol*, 73, 346-352.
34. Wilson, G., & Murphy, A. (1996). The use of isometric test of muscular function in athletic assessment. *Sports Med*, 22, 19-37.
35. Young, W., Mclean, B. & Ardagna, J. (1995). Relationship between strength qualities and sprinting performance. *J Sports Med Phys Fitness*, 35, 13-19.

Zoran Pajic, PhD, Assistant for General Antropomototics
University of Belgrade, Faculty of Sport and Physical Education
Blagoja Parovica 156, Belgrade, PhD
e-mail: zoran.pajic@dif.bg.ac.rs.rs

Duško Ilić, PhD, Associate prof. For Biomechanics and Motor control
University of Belgrade, Faculty of Sport and Physical Education
Blagoja Parovica 156, Belgrade, PhD
e-mail: dusko.ilic@dif.bg.ac.rs.rs

Vladimir Mrdaković, Assistant for Biomechanics
University of Belgrade, Faculty of Sport and Physical Education
Blagoja Parovica 156, Belgrade, PhD
e-mail: vladimir.mrdakovic@dif.bg.ac.rs.rs

Nenad Janković, PhD, Assistant for Athletics
University of Belgrade, Faculty of Sport and Physical Education
Blagoja Parovica 156, Belgrade, PhD
e-mail: nenad.jankovic@dif.bg.ac.rs.rs

Željko Rajković MA, assistant researcher
e-mail: zeljko.rajkovic@ub2009.org