УНИВЕРЗИТЕТ ,,СВ КИРИЛ И МЕТОДИЈ" – СКОПЈЕ

ФАКУЛТЕТ ЗА ФИЗИЧКО ОБРАЗОВАНИЕ, СПОРТ И ЗДРАВЈЕ

СЕМИНАРСКИ ТРУД

Предмет: Технологија во Биомеханиката

КИНЕМАТИЧКИ ПОКАЗАТЕЛИ НА ЕДНО ПОДИГНУВАЊЕ НА ВРАТИЛО СО МАКСИМАЛНА ВОЛЕВА БРЗИНА КАКО ПРЕДИКТОРИ НА МАКСИМАЛНИОТ БРОЈ ПОВТОРУВАЊА

Предметен професор:

Проф. д-р. Александар Ацески

Изработил:

Кристијан Бучевски (437)

Скопје, 2026

www.biomehanika.com.mk

С О Д Р Ж И Н А

1. ВОВЕД 5
2. ДОСЕГАШНИ ИСТРАЖУВАЊА 8
3. ПРЕДМЕТ, ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО 10
   3.1. Предмет на истражување 10
   3.2. Цел на истражувањето 10
   3.3. Задачи на истражувањето 10
4. ХИПОТЕЗИ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО 11
5. МЕТОД НА РАБОТА 11
   5.1. Примерок на испитаници 11
   5.2. Процедура 12
   5.3. Варијабли 13
      5.3.1. Предикторски варијабли 13
      5.3.2. Критериумска варијабла 14
   5.4. Обработка на податоци 14
6. РЕЗУЛТАТИ 15
7. ДИСКУСИЈА 20
8. ТЕОРЕТСКО И ПРАКТИЧНО ЗНАЧЕЊЕ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО 24
9. ЗАКЛУЧОК 25
10. ЛИТЕРАТУРА 26

www.biomehanika.com.mk

КИНЕМАТИЧКИ ПОКАЗАТЕЛИ НА ЕДНО ПОДИГНУВАЊЕ НА ВРАТИЛО СО МАКСИМАЛНА ВОЛЕВА БРЗИНА КАКО ПРЕДИКТОРИ НА МАКСИМАЛНИОТ БРОЈ ПОВТОРУВАЊА

АПСТРАКТ

Целта на истражувањето беше да се утврди можноста за предвидување на максималниот број правилно изведени подигнувања на вратило врз основа на кинематичките показатели на едно повторување изведено со максимална волева брзина. Во истражувањето учествуваа 10 машки студенти од прва година со претходно искуство во тренинг со отпор. Испитаниците изведоа едно подигнување на вратило со максимална волева брзина, по што изведуваа подигнувања до волев отказ. Со дводимензионална видеоанализа беа определени четири кинематички показатели: вкупното времетраење на подигнувањето (Ttotal), времетраењето до достигнување на релативен агол од 90° во зглобот на лактот (T90), времетраењето од достигнување на релтивен агол од 90° до крајот на подигнувањето (T90end) и просечната аголна брзина до достигнување на релативен агол од 90° (AV90). Нивната поврзаност со максималниот број повторувања (MaxREP) беше проценета со Pearson-овиот коефициент на корелација, а предиктивната вредност со одделни едноставни линеарни регресиски анализи. Сите четири кинематички показатели имаа статистички значајна предиктивна вредност за MaxREP. Најголема објаснета варијанса и најмала грешка на проценката беа утврдени кај Ttotal (R^2 = 0.923; SEE = 1.887; $p < 0.001$), додека речиси идентични вредности беа добиени кај AV90 (R^2 = 0.921; SEE = 1.916; $p < 0.001$). T90end објаснуваше 82.1% од варијансата (R^2 = 0.821; SEE = 2.888; $p < 0.001$), а T90 67.6% (R^2 = 0.676; SEE = 3.881; p = 0.003). Временските показатели беа негативно поврзани со MaxREP, додека AV90 покажа позитивна поврзаност. Кинематичките показатели добиени од едно подигнување на вратило изведено со максимална волева брзина покажаа значајна предиктивна вредност за MaxREP во испитуваниот примерок. Особено Ttotal и AV90 покажаа висока објаснета варијанса и мала грешка на проценката. Поради малиот примерок и отсуството на независна валидација, добиените регресиски модели треба да се разгледуваат како прелиминарни и да се потврдат на поголеми и независни примероци.

Клучни зборови: аголна брзина, видеоанализа, временски параметри, регресиска анализа, физичка изведба.

www.biomehanika.com.mk

KINEMATIC INDICATORS OF A SINGLE PULL-UP PERFORMED AT MAXIMAL VOLUNTARY VELOCITY AS PREDICTORS OF MAXIMUM REPETITIONS

ABSTRACT

The aim of this study was to determine the possibility of predicting the maximum number of correctly performed pull-ups based on kinematic indicators obtained from a single repetition performed at maximal voluntary velocity. Ten first-year male university students with previous resistance training experience participated in the study. The participants performed one pull-up at maximal voluntary velocity, followed by pull-ups to volitional failure. Two-dimensional video analysis was used to determine four kinematic indicators: total pull-up duration (Ttotal), time to reach a 90° relative elbow angle (T90), time from reaching a 90° relative elbow angle to the end of the pull-up (T90end), and average angular velocity until reaching a 90° relative elbow angle (AV90). Their associations with the maximum number of repetitions (MaxREP) were examined using Pearson's correlation coefficient, while their predictive value was assessed using separate simple linear regression analyses. All four kinematic indicators showed statistically significant predictive value for MaxREP. The greatest explained variance and the lowest standard error of the estimate were observed for Ttotal (R^2 = 0.923; SEE = 1.887; $p < 0.001$), while nearly identical values were obtained for AV90 (R^2 = 0.921; SEE = 1.916; $p < 0.001$). T90end explained 82.1% of the variance (R^2 = 0.821; SEE = 2.888; $p < 0.001$), whereas T90 explained 67.6% (R^2 = 0.676; SEE = 3.881; $p = 0.003$). The temporal indicators were negatively associated with MaxREP, whereas AV90 showed a positive association. Kinematic indicators obtained from a single pull-up performed at maximal voluntary velocity showed significant predictive value for MaxREP in the examined sample. In particular, Ttotal and AV90 demonstrated high explained variance and low estimation error. Given the small sample size and the lack of independent validation, the regression models should be considered preliminary and require confirmation in larger, independent samples.

Key words: angular velocity, video analysis, temporal parameters, regression analysis, physical performance.

www.biomehanika.com.mk

1. ВОВЕД

Максималниот број повторувања што човекот може да ги изведе со определено оптоварување претставува важен показател на способноста за репетитивно развивање на мускулната сила и одржување на перформансот во текот на изведбата. Овој показател често се користи при процена на мускулната издржливост и при определување и следење на тренажното оптоварување. Максималниот број повторувања што можат да се изведат до отказ е поврзан и со релативното оптоварување (%1RM), но истовремено покажува меѓуиндивидуална варијабилност и може да се разликува во зависност од видот на вежбата (Nuzzo et al., 2024). Поради ваквата варијабилност, од практичен и истражувачки аспект посебен интерес претставува можноста максималниот број повторувања да се предвиди врз основа на показатели добиени од едно или од мал број повторувања, без претходно да се изведува серија до отказ.

Тренингот со отпор претставува широко применуван метод за развој на мускулната сила, моќта, хипертрофијата и мускулната издржливост, при што ефектите од тренингот зависат од начинот на планирање, програмирање и манипулирање со основните тренажни варијабли (Kraemer & Ratamess, 2004). Интензитетот на тренингот вообичаено се определува во однос на едно максимално повторување (one-repetition maximum – 1RM), односно максималното оптоварување што може да се совлада еднаш со правилна техника на движење. Врз основа на релативното оптоварување, најчесто изразено како процент од 1RM или како оптоварување што овозможува определен број максимални повторувања (RM), се дизајнира тренингот во согласност со специфичните тренажни цели (American College of Sports Medicine, 2009). Едно максимално повторување (1RM) претставува тест за процена на максималната динамичка мускулна сила, кој генерално покажува добра до одлична test–retest сигурност (Grgic et al., 2020).

Сепак, определувањето на релативниот интензитет преку %1RM само по себе не дава целосна информација за индивидуалниот одговор при изведувањето на вежбата. При ист релативен интензитет различни лица можат да изведат различен број повторувања до отказ, што укажува на меѓуиндивидуална варијабилност во односот помеѓу %1RM и максималниот број повторувања (Nuzzo et al., 2024). Поради тоа, покрај големината на оптоварувањето и бројот на повторувања, дополнителни информации за индивидуалните карактеристики на изведбата можат да обезбедат и кинематичките показатели, особено брзината со која се изведува движењето.

Во таа насока, тренингот базиран на брзината на изведување (Velocity-Based Training – VBT) претставува современ пристап во тренингот со отпор, при кој брзината на движењето се користи за објективно следење и регулирање на тренажното оптоварување (Weakley et al., 2021; Held et al., 2022). Овој метод на тренинг се темели на зависноста помеѓу оптоварувањето и брзината на движењето, при што со зголемување на оптоварувањето брзината на изведување се намалува. Односот помеѓу оптоварувањето и брзината е утврден

www.kinemetrika.com.mk

кај различни вежби и претставува основа за користење на брзината при процена на релативниот интензитет и максималната сила (Marston et al., 2022).

Покрај проценатa на релативниот интензитет, следењето на брзината овозможува да се добијат информации и за промените на перформансот во текот на серијата. Со акумулирањето на заморот, брзината на изведување се намалува, поради што загубата на брзината (velocity loss) може да се користи како показател на нивото на замор и напор во текот на серијата (Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011; Sánchez-Moreno et al., 2017). Особено значајно за подигнувањето на вратило е сознанието дека процентот на загуба на брзината е тесно поврзан со процентот на изведени повторувања во серијата (Sánchez-Moreno et al., 2017). Поврзаноста помеѓу брзината на изведување и способноста за продолжување на серијата укажува дека кинематичките карактеристики регистрирани на почетокот на изведбата можат да содржат информации за последователната способност за изведување повторувања до отказ (Beckham et al., 2018).

Ова прашање е особено релевантно кај подигнувањето на вратило (pull-up), вежба при која сопствената телесна маса претставува основно надворешно оптоварување, а максималниот број правилно изведени повторувања може да се користи како показател на способноста за репетитивно совладување на сопствената телесна маса. Досегашните наоди укажуваат дека брзината на изведување на едно повторување може да биде поврзана со максималниот број репетитивно изведени подигнувања на вратило (Beckham et al., 2018). Ваквите наоди ја отвораат можноста кинематичките карактеристики на едно повторување да се користат како показатели за предвидување на максималниот број повторувања.

Брзината на движењето во рамките на VBT најчесто се регистрира со специјализирани мерни инструменти, меѓу кои се и линеарните трансдуцери на позиција. Овие уреди го регистрираат поместувањето во однос на времето и овозможуваат мерење на различни кинематички показатели, вклучувајќи ја брзината на движењето. Сепак, примената на специјализирана мерна опрема може да биде ограничена од нејзината достапност и финансиските трошоци, особено во услови на теренско тестирање и секојдневна тренажна пракса.

Биомеханичката анализа на подигнувањето на вратило овозможува квантитативно следење на различни карактеристики на изведбата. Garavaglia et al. (2024) покажале дека преку анализа на линеарната и аголната кинематика може да се следат карактеристиките на поединечните повторувања, како и нивните промени во текот на серијата. Ваквиот пристап укажува на значењето на кинематичките показатели за објективна процена на карактеристиките на изведбата при подигнување на вратило.

Дополнително, основните кинематички показатели на движењето можат да се определат и преку дводимензионална видеоанализа. Со примена на софтвер за анализа на движењето, како Kinovea, можат да се определат временски и аголни карактеристики на изведбата. На тој начин може да се определи времетраењето

www.biomehanika.com.mk

на целото движење или на одделни делови, да се следи промената на аголот во определен зглоб во однос на времето и да се добијат показатели поврзани со аголната брзина.

Во таа смисла, при подигнувањето на вратило од посебен интерес се вкупното времетраење на движењето, времетраењето од почетокот на движењето до достигнување на релативен агол од 90° во зглобот на лактот, времетраењето од достигнување на оваа позиција до крајот на подигнувањето и просечната аголна брзина до достигнување агол од 90°. Вкупното времетраење претставува временски показател на целото подигнување, додека времетраењата пред и по достигнувањето на релативен агол од 90° овозможуваат одделно согледување на временските карактеристики на почетниот и завршниот дел од движењето. Просечната аголна брзина до 90° дополнително ја опишува динамиката на промената на аголот во почетниот дел од движењето. Нивното одделно утврдување може да покаже во која мера секој од овие показатели е поврзан со максималниот број повторувања и дали може да се користи за негово предвидување.

И покрај досегашните сознанија за поврзаноста помеѓу брзината на изведување и максималниот број повторувања при подигнување на вратило, останува недоволно истражена можноста максималниот број повторувања да се предвиди врз основа на едноставни кинематички показатели добиени преку видеоанализа на само едно повторување. Особено ограничени се сознанијата за предиктивната вредност на временските карактеристики на различни делови од движењето и просечната аголна брзина во зглобот на лактот. Оттука, постои потреба да се истражи потенцијалната предиктивна вредност на вкупното времетраење на движењето, времетраењето до достигнување агол од 90° во зглобот на лактот, времетраењето од достигнување на реалтивен агол од 90° до крајот на подигнувањето и просечната аголна брзина до достигнување на релативен агол од 90°, определени при едно подигнување на вратило изведено со максимална волева брзина.

www.biomehanika.com.mk

2. ДОСЕГАШНИ ИСТРАЖУВАЊА

Во последните години, брзината на движењето се почесто се применува како објективен показател за процена на интензитетот, невромускулните способности и изведбата при вежби со отпор. Во контекст на подигнувањето на вратило, истражувањата покажуваат дека кинематичките показатели, особено брзината на движењето, можат да обезбедат информации за релативното оптоварување, нивото на вложен напор и максималниот број повторувања.

Sánchez-Moreno et al. (2017) ја утврдувале применливоста на брзината на движењето како показател на релативниот интензитет и нивото на вложен напор при подигнување на вратило. Во истражувањето учествувале 52 мажи со претходно искуство во изведување на оваа вежба. Авторите го анализирале односот помеѓу средната пропулзивна брзина (mean propulsive velocity – MPV) и релативното оптоварување изразено како процент од едно максимално повторување (%1RM), како и односот помеѓу загубата на брзината во текот на серијата и процентот на изведени повторувања во однос на максимално можниот број. Утврдена била многу силна негативна поврзаност помеѓу MPV и релативното оптоварување ($r = -0.96$), додека односот помеѓу процентуалната загуба на брзината и процентот на изведени повторувања бил висок ($R^2 = 0.88$). Авторите утврдиле и дека овој однос останал стабилен по 12-неделен период на тренинг, и покрај подобрувањето на максималниот број повторувања. Врз основа на резултатите, заклучиле дека следењето на брзината може да обезбеди корисни информации за релативниот интензитет и нивото на вложен напор при подигнување на вратило.

Односите помеѓу оптоварувањето, силата, моќноста и брзината при подигнување на вратило биле предмет на истражување кај 82 мажи со повеќегодишно искуство во тренинг со отпор (Muñoz-López et al., 2017). Испитаниците изведувале подигнувања со различни оптоварувања, приближно од 70% до 100% од 1RM, при што брзината на движењето била регистрирана со линеарен трансдуцер на позиција. Утврден бил речиси совршен индивидуален однос помеѓу релативното оптоварување и средната пропулзивна брзина, при што просечната вредност на индивидуалните коефициенти на детерминација изнесувала $R^2 = 0.975 \pm 0.02$. Исто така, биле утврдени многу силни индивидуални односи сила–брзина ($R^2 = 0.954 \pm 0.04$) и моќ–брзина ($R^2 = 0.966 \pm 0.04$). Врз основа на добиените резултати, авторите укажуваат дека брзината на движењето може да претставува корисен показател за процена на релативниот интензитет при подигнување на вратило, при што ја нагласуваат и важноста на индивидуалните профили оптоварување–брзина.

www.biomehanika.com.mk

Од особено значење за предметот на ова истражување е трудот на Beckham et al. (2018), во кој директно била испитувана можноста за предвидување на максималниот број подигнувања на вратило врз основа на брзината на едно повторување. Во анализата биле вклучени 49 здрави испитаници, од кои 42 мажи и 7 жени. Испитаниците изведувале едно подигнување со максимална намера за брзо изведување, а потоа серија подигнувања до отказ. Брзината била регистрирана со линеарен трансдуцер на позиција, при што како кинематички показател била користена средната концентрична брзина (mean concentric velocity – MCV). Резултатите покажале силен линеарен однос помеѓу MCV и максималниот број повторувања, при што регресискиот модел објаснувал 84.1% од варијансата на максималниот број подигнувања (R^2 = 0.841). Добиената регресиска равенка била дополнително проверена со петкратна вкрстена валидација, при што просечното отстапување на предвидениот од реално постигнатиот број изнесувало приближно две повторувања. Авторите заклучиле дека брзината на едно повторување може да обезбеди корисна процена на максималниот број подигнувања и потенцијално да овозможи поефикасно тестирање на оваа способност.

Сличен истражувачки пристап, но применет кај друга вежба, користеле García-Ramos et al. (2018). Авторите ја испитувале можноста за предвидување на максималниот број повторувања и бројот на преостанати повторувања врз основа на брзината на шипката при потисок од клупа. Во истражувањето учествувале 21 физички активен маж со најмалку две години искуство во тренинг со отпор. Испитаниците изведувале серии до отказ со оптоварувања од 60%, 70%, 80% и 90% од 1RM, а како предиктор била користена најголемата средна брзина постигната во серијата, која најчесто била регистрирана во првото повторување. На групно ниво, брзината објаснувала 77.4% од варијансата на максималниот број повторувања (R^2 = 0.774), со стандардна грешка на проценката од 3.57 повторувања. При индивидуалната анализа биле утврдени уште посилни односи, при што медијаната на индивидуалните коефициенти на детерминација изнесувала R^2 = 0.984. Сепак, авторите утврдиле значителна меѓуиндивидуална варијабилност кај генерализираната равенка и укажале дека индивидуализираните односи брзина–максимален број повторувања обезбедуваат попрецизна процена.

www.biomehanika.com.mk

3. ПРЕДМЕТ, ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО

3.1. Предмет на истражување

Предмет на ова истражување се кинематичките карактеристики на едно подигнување на вратило изведено со максимална волева брзина и нивната поврзаност со максималниот број подигнувања на вратило.

3.2. Цел на истражување

Основна цел на истражувањето е да се утврди можноста за предвидување на максималниот број правилно изведени подигнувања на вратило врз основа на кинематичките показатели на едно повторување изведено со максимална волева брзина.

3.3. Задачи на истражување

За остварување на поставената цел беа дефинирани следните задачи:

- да се утврди поврзаноста помеѓу вкупното времетраење на подигнувањето на вратило и максималниот број повторувања;
- да се утврди поврзаноста помеѓу времетраењето од почетокот на движењето до достигнување на релативен агол од 90° во зглобот на лактот и максималниот број повторувања;
- да се утврди поврзаноста помеѓу времетраењето од достигнување на релативен агол од 90° во зглобот на лактот до крајот на подигнувањето и максималниот број повторувања;
- да се утврди поврзаноста помеѓу просечната аголна брзина до достигнување на релативен агол од 90° во зглобот на лактот и максималниот број повторувања;
- да се утврди предиктивната вредност на секој од испитуваните кинематички показатели и да се споредат добиените регресиски модели

www.biomehanika.com.mk

4. ХИПОТЕЗИ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО

Врз основа на предметот, целта и задачите на истражувањето беа поставени следните хипотези:

X1: Вкупното времетраење на едно подигнување на вратило изведено со максимална волева брзина има статистички значајна предиктивна вредност за максималниот број правилно изведени подигнувања на вратило.

X2: Времетраењето од почетокот на движењето до достигнување на релативен агол од 90° во зглобот на лактот има статистички значајна предиктивна вредност за максималниот број правилно изведени подигнувања на вратило.

X3: Времетраењето од достигнување на релативен агол од 90° во зглобот на лактот до крајот на подигнувањето има статистички значајна предиктивна вредност за максималниот број правилно изведени подигнувања на вратило.

X4: Просечната аголна брзина од почетокот на движењето до достигнување на релативен агол од 90° во зглобот на лактот има статистички значајна предиктивна вредност за максималниот број правилно изведени подигнувања на вратило.

5. МЕТОД НА РАБОТА

5.1. Примерок на испитаници

Во истражувањето учествуваа 10 испитаници од машки пол, студенти од прва година на Факултетот за физичко образование, спорт и здравје во Скопје, со просечна возраст од 19.45 ± 0.84 години.
Критериуми за вклучување во истражувањето беа: најмалку шест месеци искуство во тренинг со отпор, редовно тренирање најмалку двапати неделно и познавање на правилната техника на изведување подигнувања на вратило. Критериуми за исклучување беа актуелни мускулоскелетни повреди на горниот дел од телото, како и медицински состојби кај кои максималниот или повторуваниот физички напор е контраиндициран.
Сите испитаници дадоа писмена информирана согласност пред учеството во истражувањето.

www.biomehanika.com.mk

5.2. Процедура

Една недела пред започнувањето на собирањето на податоците, испитаниците беа запознаени со целта и процедурите на истражувањето, по што дадоа писмена информирана согласност за учество.

Тестирањето и снимањето беа реализирани во гимнастичката сала на Факултетот за физичко образование, спорт и здравје во Скопје. Пред започнувањето на тестирањето, испитаниците реализираа стандардизирано 15-минутно загревање, кое вклучуваше трчање и вежби за подготовка на телото за изведување на тестот.

За дефинирање на телесните сегменти потребни за кинематичката анализа, кај секој испитаник беа поставени три бели самолепливи маркери со кружна форма и дијаметар од 3 cm. Маркерите беа поставени на левата страна од телото, која беше ориентирана кон камерата, на претходно дефинирани анатомски точки во пределот на центарот на зглобот на рамото, лактот и шаката. Кај сите испитаници маркерите беа поставени од ист истражувач со цел да се стандардизира нивното поставување и да се намали варијабилноста поврзана со позиционирањето на анатомските маркери.

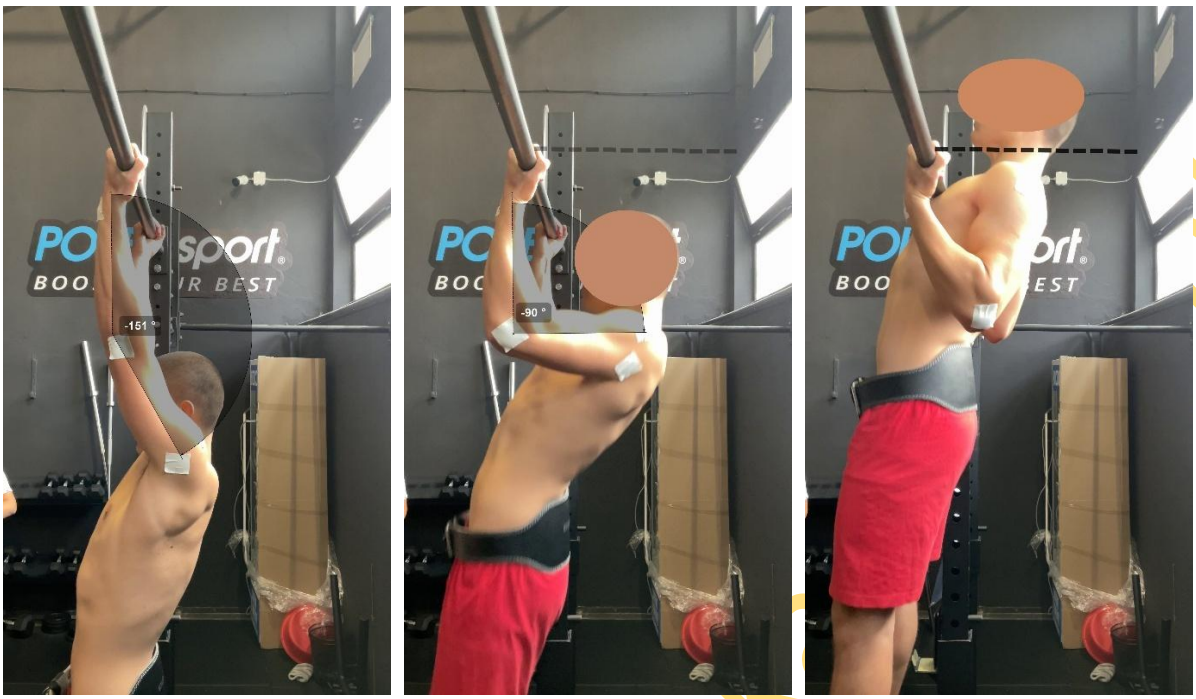
За снимање на изведбата беше користен iPad 10.9-inch (10th generation, Apple Inc., Cupertino, CA, USA), фиксиран на триножец на растојание од 1.5 m од испитаникот и на висина од 1.8 m. Снимањето беше реализирано со фреквенција од 120 fps и просторна резолуција од 1920 × 1080 пиксели. Оптичката оска на камерата беше поставена нормално на рамнината на движење.

Анализата на видеоснимките беше извршена со софтверот Kinovea (верзија 2025.2), кој овозможува дводимензионална кинематичка анализа и определување на временски и аголни параметри. Претходните истражувања покажале задоволителна валидност и сигурност на Kinovea при определени услови на мерење, вклучително и при определување на аголни параметри (Puig-Diví et al., 2019; Fernández-González et al., 2020).

По завршувањето на загревањето, секој испитаник изведе едно подигнување на вратило со максимална волева брзина. По изведувањето на единечното повторување следуваше 30-минутна пасивна пауза. По завршувањето на паузата, испитаниците, по истиот редослед, изведоа серија подигнувања на вратило до волев отказ, при што беа инструирани секое повторување да го изведуваат со максимална волева брзина.

Подигнувањата на вратило се изведуваа со потфат (супинација), при што дланките беа насочени кон испитаникот и поставени во ширина на рамениците. Почетната положба се карактеризираше со целосно испружени лакти, додека како карактеристична положба за кинематичката анализа беше определен и моментот кога внатрешниот релативен агол во зглобот на лактот достигнуваше 90°. Завршната положба беше определена во првиот кадар кога брадата ја помина висината на вратилото (слика 1).

www.biomehanika.com.mk



(а) (б) (в)

Слика 1. Карактеристични положби при кинематичката анализа на подигнувањето на вратило: (а) почетна положба; (б) положба при достигнување на релативен агол од 90° во зглобот на лактот; (в) завршна положба.

5.3. Варијабли

Во истражувањето беа анализирани четири кинематички показатели како предикторски варијабли додека максималниот броја на подигнувања на вратило претставуваше критериумска варијабла.

5.3.1. Предикторски варијабли

1. Вкупно времетраење на подигнувањето (Ttotal) – времето од почетокот на движењето до првиот кадар во кој брадата на испитаникот ја поминува висината на вратилото. Варијаблата е изразена во секунди (s).

3. Просечна аголна брзина до 90° (AV90) – количник од апсолутната промена на аголот во зглобот на лактот (|Δθ|) и времетраењето на анализираниот интервал (Δt) и беше изразена во степени во секунда (°/s).

2. Времетраење до 90° во зглобот на лактот (T90) – времето од почетокот на движењето до првиот кадар во кој внатрешниот релативен агол во зглобот на лактот достигнува вредност од 90°. Аголот е дефиниран со трите маркери поставени на левата страна на телото во пределот на центарот на зглобот на

www.biomehanika.mk

рамото, лактот и шаката, при што маркерот во пределот на лактот го претставува темето на аголот. Варијаблата е изразена во секунди (s).

4. Времетраење од 90° до крајот на подигнувањето (T90end) – времето од моментот кога внатрешниот реалтивен агол во зглобот на лактот достигнува вредност од 90° до првиот кадар во кој брадата на испитаникот ја поминува висината на вратилото. Варијаблата е изразена во секунди (s).

5.3.2. Критериумска варијабла

1. Максимален број подигнувања на вратило (MaxREP) – максималниот број правилно изведени последователни подигнувања на вратило во една серија до волев отказ. Резултатот е изразен како број на правилно изведени повторувања.

5.4. Обработка на податоци

За сите анализирани варијабли беа пресметани основните показатели на дескриптивната статистика: аритметичка средина (Mean), стандардна девијација (SD), минимална вредност (Min) и максимална вредност (Max). Нормалноста на распределбата на податоците беше проверена со Shapiro–Wilk тестот, како и со визуелна анализа на Q–Q графиците.

Поврзаноста помеѓу кинематичките показатели и максималниот број правилно изведени подигнувања на вратило беше утврдена со Pearson-овиот коефициент на корелација (r).

Предиктивната вредност на испитуваните кинематички показатели беше испитана со примена на четири одделни едноставни линеарни регресиски анализи. Во сите регресиски модели максималниот број правилно изведени подигнувања на вратило (MaxREP) претставуваше критериумска (зависна) варијабла, додека како предикторска (независна) варијабла одделно беа внесени: вкупното времетраење на подигнувањето (Ttotal), времетраењето до достигнување на релативен агол од 90° во зглобот на лактот (T90), времетраењето од достигнување на релативен агол од 90° до крајот на подигнувањето (T90end) и просечната аголна брзина до достигнување на релативен агол од 90° (AV90).

Во секој регресиски модел беа анализирани коефициентот на корелација (R), коефициентот на детерминација (R^2), коригираниот коефициент на детерминација (Adjusted R^2), стандардната грешка на проценката (SEE), F-вредноста и нејзината статистичка значајност, како и нестандардизираниот регресиски коефициент (B) со 95% интервал на доверба. Врз основа на нестандардизираните регресиски коефициенти беа формирани регресиски

www.biomehanika.com.mk

равенки за предвидување на максималниот број правилно изведени подигнувања на вратило.

Пред интерпретацијата на регресиските модели беа проверени основните претпоставки на едноставната линеарна регресија, вклучувајќи ги линеарноста на односот помеѓу предикторската и критериумската варијабла, нормалноста на резидуалите, хомоскедастичноста и присуството на потенцијално влијателни опсервации, при што влијателноста беше проценета преку Cook's distance.

Нивото на статистичка значајност беше поставено на $p < 0.05$. Статистичката обработка на податоците беше извршена со програмскиот пакет IBM SPSS Statistics, верзија 27.

6. РЕЗУЛТАТИ

Во Табела 1 се прикажани основните дескриптивни статистички показатели на анализираните варијабли. Максималниот број правилно изведени подигнувања на вратило (MaxREP) изнесуваше просечно 13.70 ± 6.43 повторувања, со вредности од 4 до 22 повторувања. Просечното вкупно времетраење на подигнувањето (Ttotal) изнесуваше 0.822 ± 0.198 s, додека просечното времетраење од почетокот на движењето до достигнување на релативен агол од 90° во зглобот на лактот (T90) изнесуваше 0.522 ± 0.110 s. Времетраењето од достигнување на релативен агол од 90° до крајот на подигнувањето (T90end) изнесуваше 0.300 ± 0.110 s. Просечната аголна брзина до достигнување агол од 90° (AV90) изнесуваше 115.21 ± 26.47 °/s.

Табела 1. Основни дескриптивни статистички показатели на анализираните варијабли

Варијабли	**N**	**Minimum**	**Maximum**	**Mean**	**Std. Deviation**
MaxREP	10	4.00	22.00	13.7000	6.42996
Ttotal	10	.60	1.10	.8217	.19784
AV90	10	81.82	150.00	115.2094	26.46835
T90	10	.35	.68	.5217	.11001
T90end	10	.17	.52	.3000	.10999

www.fizikalna.com.mk

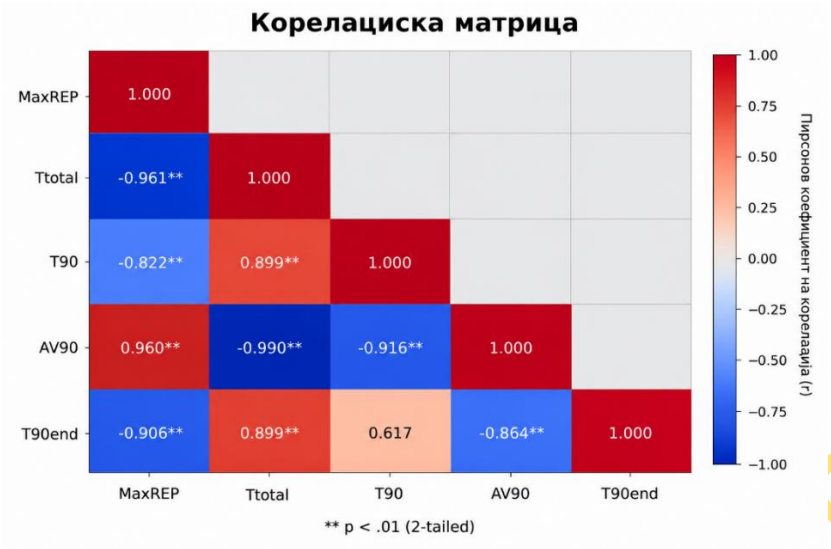
Резултатите од Shapiro–Wilk тестот покажаа дека кај ниту една од анализираните варијабли не беше утврдено статистички значајно отстапување од нормалната распределба ($p > 0.05$) (табела 2). Најниска p-вредност беше утврдена кај Ttotal ($p = 0.087$), додека кај останатите варијабли вредностите се движеа од $p = 0.155$ до $p = 0.776$. Овие резултати, заедно со визуелната анализа на Q–Q графиците, не укажаа на изразени отстапувања од нормалноста.

Табела 2. Резултати од Shapiro–Wilk тестот за нормалност на распределбата на анализираните варијабли

Варијабли	**Shapiro-Wilk**		
	Statistic	**df**	**Sig.**
MaxREP	.912	10	.295
Ttotal	.865	10	.087
T90	.959	10	.776
AV90	.887	10	.155
T90end	.910	10	.283

Како што е прикажано на слика 2, максималниот број правилно изведени подигнувања на вратило (MaxREP) покажа статистички значајни корелации со сите анализирани кинематички показатели. Утврдени се негативни корелации на MaxREP со Ttotal ($r = -0.961$; $p < 0.001$), T90 ($r = -0.822$; $p = 0.003$) и T90end ($r = -0.906$; $p < 0.001$), додека со AV90 беше утврдена позитивна корелација ($r = 0.960$; $p < 0.001$). Добиените резултати покажуваат дека пократкото времетраење на движењето и поголемата просечна аголна брзина до достигнување агол од 90° се поврзани со поголем максимален број правилно изведени подигнувања на вратило.

www.biomehanika.com.mk



Слика 2. Графички приказ на корелациите помеѓу кинематичките показатели и максималниот број на подигнувања на вратило

Проверката на претпоставките на едноставната линеарна регресија не укажа на изразени нарушувања на линеарноста и хомоскедастичноста. Нормалноста на резидуалите беше прифатлива кај сите четири модели (Shapiro–Wilk, $p > 0,05$). Анализата на Cook's distance не укажа на екстремно влијателни опсервации, иако кај моделот со T90end беше забележана релативно повисока максимална вредност (Cook's D = 0,627).

Резултатите од едноставните линеарни регресиски анализи покажаа дека сите четири испитувани кинематички показатели имаа статистички значајна предиктивна вредност за максималниот број правилно изведени подигнувања на вратило (Табела 3).

Моделот во кој како предиктор беше вклучено вкупното времетраење на подигнувањето (Ttotal) беше статистички значаен, $F(1,8) = 96.486$, $p < 0.001$, и објасни 92.3% од варијансата на MaxREP ($R^2 = 0.923$; Adjusted $R^2 = 0.914$). Стандардната грешка на проценката изнесуваше 1.887 повторувања. Нестандардизираниот регресиски коефициент беше негативен и статистички значаен (B = −31.233; 95% CI [−38.565 −23.900]), што покажува дека зголемувањето на Ttotal за 1 s е поврзано со просечно намалување на предвидениот MaxREP за 31.233 повторувања.

T90, исто така, статистички значајно го предвиде MaxREP, $F(1,8) = 16.707$, $p = 0.003$, при што моделот објасни 67.6% од варијансата ($R^2 = 0.676$; Adjusted $R^2 = 0.636$), со SEE = 3.881 повторувања. Регресискиот коефициент беше негативен (B = −48.064; 95% CI [−75.181 −20.948]), што покажува дека зголемувањето на T90 за 1 s е поврзано со просечно намалување на предвидениот MaxREP за 48.064 повторувања.

www.biomehanika.com.mk

Моделот со T90end беше статистички значаен, $F(1,8) = 36.628$, $p < 0.001$, и објасни 82.1% од варијансата на MaxREP ($R^2 = 0.821$; Adjusted $R^2 = 0.798$). Стандардната грешка на проценката изнесуваше 2.888 повторувања. Негативниот регресиски коефициент ($B = -52.959$; 95% CI [−73.138 −32.780]) што покажува дека зголемување на T90end за 1 s е поврзано со просечно намалување на предвидениот MaxREP за 52.959 повторувања.

Просечната аголна брзина до 90° (AV90) исто така беше статистички значаен предиктор, $F(1,8) = 93.325$, $p < 0.001$. Моделот објасни 92.1% од варијансата на MaxREP ($R^2 = 0.921$; Adjusted $R^2 = 0.911$), со SEE = 1.916 повторувања. За разлика од временските показатели, регресискиот коефициент за AV90 беше позитивен ($B = 0.233$; 95% CI [0.177 – 0.289]), што покажува дека поголемата просечна аголна брзина до 90° предвидува поголем MaxREP.

Според вредностите на R^2 и SEE, во испитуваниот примерок најголема објаснета варијанса и најмала грешка на проценката беа утврдени кај моделот со Ttotal ($R^2 = 0.923$; SEE = 1.887), а речиси идентични вредности беа добиени кај моделот со AV90 ($R^2 = 0.921$; SEE = 1.916). Моделот со T90end покажа $R^2 = 0.821$ и SEE = 2.888, додека моделот со T90 имаше најмала објаснета варијанса и најголема грешка на проценката ($R^2 = 0.676$; SEE = 3.881).

Табела 3. Резултати од едноставните линеарни регресиски анализи за предвидување на максималниот број правилно изведени подигнувања на вратило

Предиктор	R	R^2	Adj. R^2	SEE	F(1,8)	p	B	SE(B)	95% CI за B
Ttotal	0.961	0.923	0.914	1.887	96.486	<0.001	−31.233	3.180	−38.565 до −23.900
T90	0.822	0.676	0.636	3.881	16.707	0.003	−48.064	11.759	−75.181 до −20.948
AV90	0.960	0.921	0.911	1.916	93.325	<0.001	0.233	0.024	0.177 до 0.289
T90end	0.906	0.821	0.798	2.888	36.628	<0.001	−52.959	8.750	−73.138 до −32.780

Врз основа на нестандардизираните регресиски коефициенти беа формирани следните равенки за предвидување на максималниот број правилно изведени подигнувања на вратило:

MaxREP = 39.363 - 31.233(Ttotal),

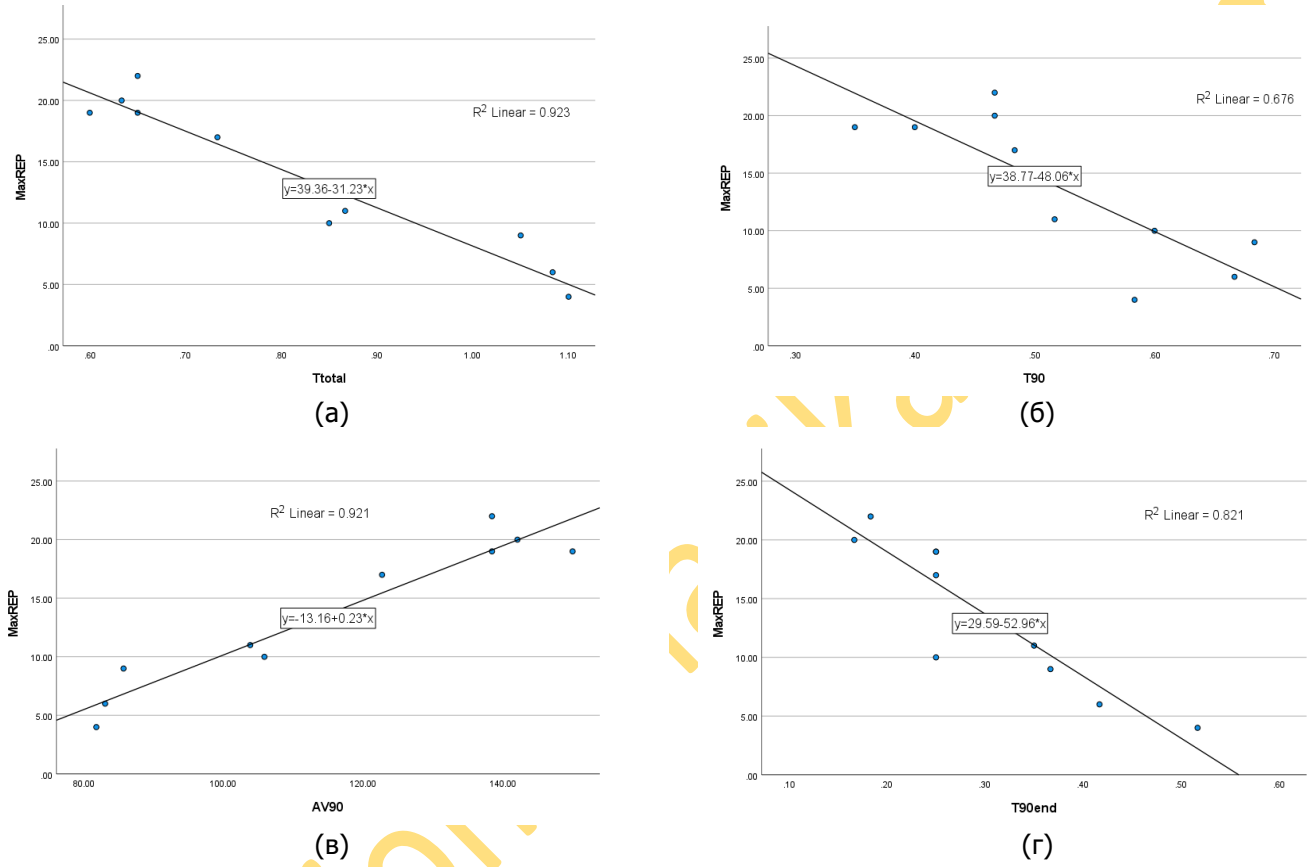
MaxREP = 38.774 - 48.064(T90),

MaxREP = -13.160 + 0.233(AV90)

MaxREP = 29.588 - 52.959(T90end),

www.biomehanika.com.mk

Графичкиот приказ на односите помеѓу анализираните кинематички показатели и максималниот број на подигнувања на вратило е прикажан на Слика 2. Кај временските показатели Ttotal, T90 и T90end се забележува негативен линеарен однос со MaxREP, додека кај AV90 односот е позитивен. Највисоки вредности на коефициентот на детерминација беа утврдени кај Ttotal (R^2 = 0.923) и AV90 (R^2 = 0.921).



Слика 2. Однос помеѓу кинематичките показатели на едно подигнување на вратило изведено со максимална волева брзина и максималниот број подигнувања (MaxREP): (а) Ttotal, (б) T90, (в) AV90 и (г) T90end

7. ДИСКУСИЈА

Целта на ова истражување беше да се испита можноста за предвидување на максималниот број подигнувања на вратило врз основа на кинематичките показатели на едно повторување изведено со максимална волева брзина. Резултатите покажаа дека сите четири анализирани показатели имаа статистички значајна предиктивна вредност за MaxREP. Вкупното времетраење на подигнувањето (Ttotal), времетраењето до достигнување на релативен агол од 90° во зглобот на лактот (T90) и времетраењето од достигнување на релативен агол од 90° до крајот на подигнувањето (T90end) имаа негативна предиктивна поврзаност со MaxREP, додека просечната аголна брзина до достигнување на релативен агол од 90° (AV90) имаше позитивна предиктивна поврзаност.

Од четирите анализирани показатели, најголема објаснета варијанса беше забележана кај вкупното времетраење на подигнувањето (Ttotal), кое објасни 92.3% од варијансата на MaxREP, со стандардна грешка на проценката од 1.887 повторувања. Речиси идентична предиктивна вредност беше утврдена кај AV90, која објасни 92.1% од варијансата, со стандардна грешка на проценката од 1.916 повторувања. T90end објасни 82.1% од варијансата, додека T90 покажа најмала објаснета варијанса од анализираните модели 67.6%. Ваквите резултати укажуваат дека, во испитуваниот примерок, кинематичките показатели добиени од едно повторување изведено со максимална волева брзина се силно поврзани со максималниот број правилно изведени подигнувања на вратило.

Најдиректна поддршка за добиените резултати претставува истражувањето на Beckham et al. (2018), во кое била испитувана можноста максималниот број подигнувања на вратило да се предвиди врз основа на средната концентрична брзина при изведувањето. Кај 49 испитаници авторите утврдиле силен линеарен однос помеѓу средната концентрична брзина и максималниот број подигнувања, при што регресискиот модел објаснувал 84.1% од варијансата на максималниот број повторувања (R^2 = 0.841). Овој наод е концептуално близок до резултатот добиен во ова истражување, во кое AV90 покажа позитивна поврзаност со MaxREP и објасни 92.1% од неговата варијанса. Сепак, директната споредба на вредностите треба да се врши со претпазливост. Beckham et al. (2018) ја мереле средната линеарна брзина на концентричното движење со линеарен трансдуцер на позиција, додека во ова истражување беше анализирана просечната аголна брзина во зглобот на лактот до достигнување агол од 90°, определена со дводимензионална видеоанализа. Дополнително, се разликуваат големината на примерокот и техниката на изведување на вежбата. Сепак, резултатите од двете истражувања укажуваат дека брзината на изведување на подигнувањето е поврзана со максималниот број повторувања.

Дополнителна поддршка за информативната вредност на брзината при подигнување на вратило даваат резултатите на Sánchez-Moreno et al. (2017). Кај 52 мажи авторите ја анализирале брзината на движењето и нејзината промена

www.biomehanika.com.mk

во текот на серија подигнувања до отказ. Била утврдена многу силна поврзаност помеѓу брзината и релативното оптоварување ($r = -0.96$), како и силен однос помеѓу процентот на загуба на брзината и процентот на изведени повторувања во однос на максимално можниот број ($R^2 = 0.88$). Овој наод не е директно споредлив со резултатот AV90–MaxREP од ова истражување, бидејќи Sánchez-Moreno et al. (2017) ја анализирале промената на брзината во текот на цела серија, а не предвидувањето на максималниот број повторувања врз основа на кинематички показател од едно повторување. Сепак, нивните резултати дополнително покажуваат дека брзината на движењето при подигнување на вратило претставува релевантен показател за интензитетот на оптоварувањето и промените што настануваат со приближувањето кон волев отказ.

Релевантноста на брзината како кинематички показател при подигнување на вратило е поткрепена и од Muñoz-López et al. (2017). Кај 82 мажи со искуство во тренинг со отпор, авторите утврдиле речиси совршен индивидуален однос помеѓу релативното оптоварување и средната пропулзивна брзина ($R^2 = 0.975 \pm 0.02$), како и многу силни односи сила–брзина и моќ–брзина. Врз основа на ваквите односи, авторите укажуваат дека мерењето на брзината може да се користи при проценувањето на релативниот интензитет и следењето на перформансот при подигнување на вратило. Сепак, Muñoz-López et al. (2017) не го анализирале максималниот број повторувања до отказ, поради што нивните резултати не претставуваат директна потврда на односот AV90–MaxREP утврден во ова истражување. Нивните наоди, сепак, ја поддржуваат пошироката интерпретација дека брзината на движењето претставува релевантен кинематички показател при проценувањето на изведбата на подигнување на вратило.

Посебно внимание заслужува речиси идентичната предиктивна вредност на Ttotal и AV90 во ова истражување. Ttotal објаснуваше 92.3%, а AV90 92.1% од варијансата на MaxREP, додека меѓу самите показатели беше утврдена речиси совршена негативна поврзаност ($r = -0.990$). Ова покажува дека тие во голема мера содржат слична информација за брзината на изведување на движењето, бидејќи пократкото време потребно за завршување на подигнувањето е поврзано со поголема брзина на движењето. Поради тоа, Ttotal и AV90 не треба да се интерпретираат како два независни механизми на предвидување, туку како различни кинематички показатели кои во голема мера одразуваат слична карактеристика на изведбата.

Интересен резултат претставува и разликата во предиктивната вредност на двата временски сегменти на подигнувањето. T90end објаснуваше 82.1% од варијансата на MaxREP ($R^2 = 0.821$), додека T90 објаснуваше 67.6% ($R^2 = 0.676$). Овој резултат укажува дека, во испитуваниот примерок, времетраењето на делот од движењето по достигнување на релативен агол од 90° во зглобот на лактот било посилно поврзано со максималниот број повторувања отколку времетраењето на почетниот дел. Едно можно биомеханичко објаснување е дека во текот на подигнувањето се менуваат положбата на телесните сегменти, зглобните агли и механичките услови за развивање мускулен момент, поради што одделните делови на движењето можат да поставуваат различни механички

www.biomehanika.com.mk

барања. Сепак, ваквото објаснување треба да се разгледува како претпоставка, бидејќи во ова истражување не беа анализирани зглобните моменти, мускулната активација или други кинетички и невромускулни показатели. Поради тоа, од добиените резултати може да се заклучи дека T90end е посилно поврзан со MaxREP од T90, но не и да се утврди механизмот што ја предизвикува оваа разлика.

Резултатите на García-Ramos et al. (2018) се особено релевантни за интерпретацијата на предиктивните модели добиени во ова истражување. Авторите ја испитувале можноста максималниот број повторувања при потисок од клупа да се процени врз основа на брзината на движењето. На групно ниво била утврдена силна врска помеѓу најголемата средна брзина постигната во серијата и максималниот број повторувања (R^2 = 0.774; SEE = 3.57 повторувања). Меѓутоа, и покрај силниот однос, авторите утврдиле значителна меѓуиндивидуална варијабилност и заклучиле дека општата групна равенка не обезбедува доволна прецизност за индивидуално предвидување. Индивидуалните односи помеѓу брзината и максималниот број повторувања биле посилни, со медијана R^2 = 0.984. Иако García-Ramos et al. (2018) анализирале друга вежба, нивните резултати се важни за интерпретацијата на регресиските равенки добиени во ова истражување. Тие покажуваат дека високата објаснета варијанса на групно ниво сама по себе не гарантира дека равенката ќе обезбеди еднакво точни предвидувања кај нови испитаници.

Ова прашање е особено важно поради малиот број испитаници во ова истражување. Примерокот беше составен од 10 машки студенти од прва година со претходно искуство во тренинг со отпор. Поради малиот и релативно хомоген примерок, високите коефициенти на детерминација може во одредена мера да бидат специфични за анализираните испитаници и треба да се интерпретираат со претпазливост. Дополнително, регресиските равенки беа формирани и оценети на истиот примерок, без нивна проверка на независна група испитаници. Поради тоа, добиените модели треба да се разгледуваат како прелиминарни модели за предвидување, а не како валидирани равенки за поширока популација.

При интерпретацијата на резултатите треба да се земат предвид и методолошките ограничувања поврзани со примената на дводимензионална видеоанализа. Кинематичките показатели беа определени од видеоснимки направени со фреквенција од 120 fps, при стандардизирано поставување на камерата и маркерите. Иако ваквата постапка овозможува релативно едноставно определување на временските и аголните показатели, резултатите можат да бидат под влијание на прецизноста на идентификацијата на анатомските точки, позиционирањето на камерата и евентуалното движење надвор од анализираната рамнина. Дополнително, добиените показатели не беа директно споредени со мерења извршени со референтен инструмент, како линеарен трансдуцер на позиција.

www.biomehanika.com.mk

Треба да се земе предвид и меѓусебната зависност на дел од анализираните предикторски показатели. Ttotal математички претставува збир на T90 и T90end, додека Ttotal и AV90 беа исклучително силно меѓусебно поврзани ($r = -0.990$). Поради тоа, овие варијабли не треба да се третираат како целосно независни карактеристики на движењето. Примената на четири одделни едноставни линеарни регресиски анализи овозможи да се утврди предиктивната вредност на секој показател посебно, но не овозможува определување на нивниот уникатен придонес кога би биле разгледувани истовремено.

И покрај малиот примерок, дополнителна поддршка за интерпретацијата на добиените регресиски модели претставуваат спроведените дијагностички постапки. Не беа утврдени изразени нарушувања на линеарноста и хомоскедастичноста, нормалноста на резидуалите беше прифатлива кај сите модели, а анализата на Cook's distance не укажа на екстремно влијателни опсервации, иако кај моделот со T90end беше забележана релативно повисока максимална вредност. Овие наоди укажуваат дека високите коефициенти на детерминација не се очигледна последица на сериозно нарушување на основните претпоставки на применетите регресиски модели. Сепак, тие не го отстрануваат ограничувањето поврзано со големината на примерокот и не можат да ја заменат проверката на моделите на независен примерок.

Идните истражувања треба да ги проверат добиените наоди на поголеми и похетерогени примероци, вклучувајќи испитаници со различен пол, возраст и ниво на физичка подготвеност. Особено значајна би била независната валидација на добиените регресиски равенки, со што би можело да се утврди колку точно тие го предвидуваат MaxREP кај испитаници кои не учествувале во формирањето на моделите. Корисно би било да се анализира и индивидуалната грешка на предвидување, како и процентот на испитаници кај кои предвидениот број повторувања се наоѓа во однапред дефинирани граници од реално постигнатиот резултат. Дополнително, директната споредба на кинематичките показатели добиени со видеоанализа со показатели регистрирани со линеарен трансдуцер на позиција или друг референтен систем би овозможила попрецизна процена на валидноста на предложениот пристап.

www.bioterapika.com.mk

8. ТЕОРЕТСКО И ПРАКТИЧНО ЗНАЧЕЊЕ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО

Од теоретски аспект, резултатите од ова истражување придонесуваат кон подобро разбирање на односот помеѓу кинематичките карактеристики на едно подигнување на вратило изведено со максимална волева брзина и способноста за репетитивно изведување на истата вежба. Наодите укажуваат дека временските и брзинските карактеристики на едно повторување содржат информации поврзани со максималниот број повторувања што испитаникот може последователно да ги изведе до волев отказ.

Дополнително теоретско значење има анализата на одделни временски сегменти на подигнувањето. Разликата во предиктивната вредност на T90 и T90end укажува дека различните делови од движењето не мора да имаат еднаква поврзаност со способноста за репетитивно изведување. Овој наод отвора простор за понатамошни истражувања на фазната структура на подигнувањето и нејзината поврзаност со други кинематички, кинетички и невромускулни показатели.

Од практичен аспект, истражувањето укажува на можноста за проценување на способноста за изведување максимален број подигнувања врз основа на кинематичките карактеристики на само едно повторување изведено со максимална волева брзина. Ваквиот пристап би можел да има предност во однос на тестирањето до волев отказ, бидејќи бара значително помал физички напор и предизвикува помал замор кај испитаникот.

Посебен практичен интерес претставува вкупното времетраење на подигнувањето (Ttotal). Неговата предиктивна вредност беше речиси идентична со онаа на просечната аголна брзина (AV90), додека неговото определување е методолошки поедноставно. За определување на Ttotal е потребно да се идентификуваат почетокот и крајот на движењето, без дополнително следење на промената на зглобниот агол. Доколку ваквиот наод се потврди во идни истражувања, времетраењето на едно максимално брзо подигнување би можело да претставува едноставен кинематички показател за процена на способноста за репетитивно изведување подигнувања на вратило.

Ваквиот пристап потенцијално би можел да најде примена во спортската дијагностика, тренажниот процес и други услови во кои е потребна процена на физичките способности без изведување тест до отказ. Дополнителна предност претставува можноста анализата да се спроведе со релативно достапна видеоопрема и софтвер, без неопходна употреба на посложена лабораториска опрема.

Сепак, практичната примена на добиените регресиски равенки во оваа фаза треба да биде ограничена на истражувачки контекст. Пред нивна поширока практична употреба потребно е нивната точност да биде потврдена на поголеми и независни примероци. Оттука, значењето на ова истражување пред се се

www.biomehanika.com.mk

состои во поставување основа за развој на едноставен, неинвазивен и помалку заморувачки пристап за процена на способноста за репетитивно изведување подигнувања на вратило.

9. ЗАКЛУЧОК

Врз основа на добиените резултати може да се заклучи дека, во рамките на испитуваниот примерок, кинематичките показатели на едно подигнување на вратило изведено со максимална волева брзина покажаа значајна поврзаност со максималниот број правилно изведени повторувања до волев отказ. Сите четири анализирани показатели – Ttotal, T90, T90end и AV90 – имаа статистички значајна предиктивна вредност за MaxREP.

Од анализираните показатели, вкупното времетраење на подигнувањето (Ttotal) покажа најголема објаснета варијанса и најмала грешка на проценката, при што речиси идентична предиктивна вредност беше утврдена кај просечната аголна брзина до достигнување агол на релативен агол од 90° (AV90). Времетраењето од достигнување на релативен агол од 90° до крајот на подигнувањето (T90end) исто така покажа висока предиктивна вредност, додека времетраењето до достигнување на релативен агол од 90° (T90) имаше најмала објаснета варијанса од анализираните модели.

Насоката на утврдените односи покажа дека пократкото времетраење на подигнувањето е поврзано со поголем максимален број повторувања, додека поголемата просечна аголна брзина е поврзана со поголем број правилно изведени подигнувања.

Врз основа на резултатите од регресиските анализи, **сите поставени истражувачки хипотези се прифаќаат**. Хипотезите X1, X2, X3 и X4, кои се однесуваат на предиктивната вредност на Ttotal, T90, T90end и AV90, соодветно, беа поддржани од добиените резултати.

Имајќи ги предвид карактеристиките на примерокот и отсуството на независна валидација, добиените регресиски равенки треба да се разгледуваат како прелиминарни модели за предвидување. Добиените резултати укажуваат дека кинематичките показатели на едно подигнување изведено со максимална волева брзина можат да обезбедат корисни информации за способноста за репетитивно изведување на оваа вежба, но нивната генерализабилност и точност треба да се потврдат во понатамошни истражувања на поголеми и независни примероци.

www.biomehanika.com.mk

10. ЛИТЕРАТУРА

American College of Sports Medicine. (2009). Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 41*(3), 687–708. https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181915670

Beckham, G. K., Olmeda, J. J., Flores, A. J., Echeverry, J. A., Campos, A. F., & Kim, S. B. (2018). Relationship between maximum pull-up repetitions and first repetition mean concentric velocity. *Journal of Strength and Conditioning Research, 32*(7), 1831–1837. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002431

Fernández-González, P., Koutsou, A., Cuesta-Gómez, A., Carratalá-Tejada, M., Miangolarra-Page, J. C., & Molina-Rueda, F. (2020). Reliability of Kinovea® software and agreement with a three-dimensional motion system for gait analysis in healthy subjects. *Sensors, 20*(11), 3154. https://doi.org/10.3390/s20113154

García-Ramos, A., Torrejón, A., Feriche, B., Morales-Artacho, A. J., Pérez-Castilla, A., Padial, P., & Haff, G. G. (2018). Prediction of the maximum number of repetitions and repetitions in reserve from barbell velocity. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 13*(3), 353–359. https://doi.org/10.1123/ijspp.2017-0302

Garavaglia, L., Romanò, J., Lazzari, F., & Pittaccio, S. (2024). Biomechanical characterisation of the pull-up exercise. *Sport Sciences for Health, 20*(1), 221–234. https://doi.org/10.1007/s11332-023-01097-1

Grgic, J., Lazinica, B., Schoenfeld, B. J., & Pedisic, Z. (2020). Test–retest reliability of the one-repetition maximum (1RM) strength assessment: A systematic review. *Sports Medicine - Open, 6*, 31. https://doi.org/10.1186/s40798-020-00260-z

Held, S., Speer, K., Rappelt, L., Wicker, P., & Donath, L. (2022). The effectiveness of traditional vs. velocity-based strength training on explosive and maximal strength performance: A network meta-analysis. *Frontiers in Physiology, 13*, 926972. https://doi.org/10.3389/fphys.2022.926972

Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2004). Fundamentals of resistance training: Progression and exercise prescription. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 36*(4), 674–688. https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000121945.36635.61

Marston, K. J., Forrest, M. R. L., Teo, S. Y. M., Mansfield, S. K., Peiffer, J. J., & Scott, B. R. (2022). Load-velocity relationships and predicted maximal strength: A systematic review of the validity and reliability of current methods. *PLOS ONE, 17*(10), e0267937. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0267937 PubMed

Muñoz-López, M., Marchante, D., Cano-Ruiz, M. A., Chicharro, J. L., & Balsalobre-Fernández, C. (2017). Load-, force-, and power-velocity relationships in the prone pull-up exercise. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 12*(9), 1249–1255. https://doi.org/10.1123/ijspp.2016-0657

www.biomekanika.com.mk

Nuzzo, J. L., Pinto, M. D., Nosaka, K., & Steele, J. (2024). Maximum number of repetitions performed at percentages of the one repetition maximum: A systematic review and meta-regression analysis. *Sports Medicine, 54*, 303–321. https://doi.org/10.1007/s40279-023-01937-7

Puig-Diví, A., Escalona-Marfil, C., Padullés-Riu, J. M., Busquets, A., Padullés-Chando, X., & Marcos-Ruiz, D. (2019). Validity and reliability of the Kinovea program in obtaining angles and distances using coordinates in 4 perspectives. *PLOS ONE, 14*(6), e0216448. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216448

Sánchez-Medina, L., & González-Badillo, J. J. (2011). Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 43*(9), 1725–1734. https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318213f880

Sánchez-Moreno, M., Rodríguez-Rosell, D., Pareja-Blanco, F., Mora-Custodio, R., & González-Badillo, J. J. (2017). Movement velocity as indicator of relative intensity and level of effort attained during the set in pull-up exercise. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 12*(10), 1378–1384. https://doi.org/10.1123/ijspp.2016-0791

Weakley, J., Mann, B., Banyard, H., McLaren, S., Scott, T., & García-Ramos, A. (2021). Velocity-based training: From theory to application. *Strength & Conditioning Journal, 43*(2), 31–49. https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000560

www.biomehanika.com.mk