

МЕЖДУНАРОДНА НАУЧНА КОНФЕРЕНЦИЯ КАТЕДРА “ЛЕКА АТЛЕТИКА” СОФИЯ, 18.05. 2004 Г.

БИОМЕХАНИЧНИ ПОКАЗАТЕЛИ НА СТАРТОВОТО УСКОРЕНИЕ

доц. Димитър Димитров, дпн

BIOMECHANIC INDEXES OF THE START ACCELERATION

Assoc. prof. Dimitar Dimitrov, DSc

Keywords: sprint, start acceleration, technique, biomechanics

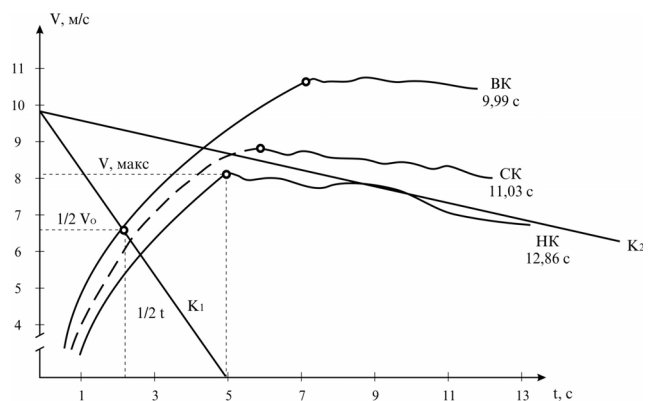
A profound sport-pedagogical analysis of the technique of the start acceleration factor in the sprint runs has been made in the article. The expose is supported with data from scientific studies of the kinematic-dynamic characteristics, bioelectrical activity and elasticity of the muscles during the sprint runs.

Независимо от своята краткотрайност, спринтовите бягания изискват наличието на висока техника, която се изгражда още в най-ранните възрастни етапи. Тя е подчинена на определени анатомически, биомеханически, и биологически закони и условия, при които се изгражда, затвърдява и усъвършенства. Многобройни изследвания посочиха като най-информативни за изменението на скоростта в началните метри на бягането дължината и честотата на беговата крачка [2, 4, 6, 9, 10], динамическите показатели [1, 3, 7, 8, 14, 15, 17], механичната работа и мощност, извършена по време на беговата крачка [8, 9, 10, 13], биоелектрическата активност на мускулите на долните крайници [5, 11, 12, 16, 19], както и техните еластични качества [3, 4, 7, 18].

Послегователно ще се спрем на някои от най-съществените изменения на тези показатели по време на стартовото ускорение.

Стартовото ускорение започва от първите движения след сигнала и завършва в момента на достигане на най-високата скорост. В зависимост от квалификацията на състезателите, отделни автори посочват противоречиви показатели. Едни считат, че тя се достига на 15–25 м след старта, други на 30–60 м, а трети на 50–70 метра. Сравнявайки кривата на изменението на скоростта при спринтьори с различна квалификация, на **фиг. 1** отчетливо се вижда, че при ниско (НК) и средноквалифицираните (СрК) са налице трите общоизвестни фази в нейната динамика, а именно – нарастване, стабилизира-

не и намаляване. През последните няколко години редица спринтьори, в това число и жени, постигнаха увеличаване на скоростта на придвижване от старта до финала. В този случай е налице непрекъснато стартово ускорение и липсват останалите две фази на спринтовото бягане.



Фиг. 1

Тази крива в изменението на скоростта на бягане беше описана за първи път от А. Hill [12], а по-късно коригирана от В. Зацюрскии и Ю. Примаков [6]. В нея е включена и скоростта на ОЦТТ от отпласкването до момента на достигане линията на старта.

$$V(t) = V_{\text{нач.}} + V_{\text{асим.}} (1 - K_1 t),$$

където V_t е скоростта в даден момент, началната скорост ($V_{\text{нач.}}$) и асимптотическата скорост $V_{\text{асим.}}$.

Останалите символи са натуралният логаритъм (e) и константата, характеризираща стартовото ускорение (K_1) в даден момент от времето. Намирането на асимптотическата скорост се постига графически лесно и представлява големината на началната скорост, съответстваща на точката на пресичане на логаритмическата ос на ординатата, като продължение на участъка от кривата на скоростта по време на умората в спринтовото бягане (K_2) (фиг. 1). Както се вижда от графиката, колкото по-голямо е значението на K_1 , което е половината от времето ($1/2 t$) за достигане на максималната скорост, толкова по-големи са възможностите на спринтьора към ускорение в началните метри от бягането.

Интересен момент в графиката е този, че се доказва колкото е по-ниска квалификацията на бегача, толкова по-бързо се достигат максималните стойности на скоростта. Между нея и времето за достигането ѝ е намерена висока корелационна връзка ($r = 0,907$). Това означава, че показателят K_1 , характеризиращ стартовото ускорение, не зависи от квалификацията. От друга страна, намерена е отрицателна връзка между K_1 и максималната скорост, а корелацията с постиженията на 30 м и 100 м е отрицателна за високвалифицирани (ВК) състезатели, което не беше отбелязано за НК. Тези данни потвърждават предишни изследвания, че способността към ускоряване и тази да се поддържа висока скорост по разстоянието не са свързани помежду си.

При НК това се извършва след 4,32 сек от старта, при СрК – 4,71 сек, а при ВК – 5,91 сек Бен Джонсън и К. Люис при резултат на 100 м съответно 9,83 сек и 9,93 сек са достигнали най-високата скорост между 50-тия и 60-тия метър с време от 0,83 сек или при 12,048 м/сек.

Поради това, за усъвършенстване на стартовото ускорение и за поддържане на максимална скорост по разстоянието е необходимо да се използват различни тренировъчни средства.

Дължината и честотата на беговата крачка, като основни биомеханични показатели, характеризиращи промените на скоростта по време на стартовото ускорение, търпят закономерни изменения.

Интересът към изследване на тези два показателя идва от лесното им регистриране и от факта, че производението им дава точна информация за скоростта на бягане.

Становищата на специалистите по тези показатели са доста противоречиви. Според едни ускорянето зависи от дължината на крачката [3, 9, 15] други дават приоритет на честотата (2, 4, 5, 6, 18), а трети [6, 11, 13, 19] установяват, че само при едновременното нарастване и на двата показателя се достига най-висока скорост.

При изследване промените на дължината и честотата на беговата крачка в първите метри след старта и до завършване на стартовото ускорение установихме някои характерни особености (табл. 1). Първо, независимо от квалификацията, с увеличава-

Таблица 1. Пространствено-времеви характеристики на стартовото ускорение при спринтьори с различна квалификация

| Показатели | Поредна крачка от старта | | | | | | Ръст (см) | Тегло (кг) |
|----------------------------|--------------------------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|------------|------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | |
| Нискоквалифицирани | | | | | | | | |
| t крачка (сек) | 0,371±0,046 | 0,260±0,052 | 0,261 ±0,042 | 0,245±0,047 | 0,249±0,061 | 0,248±0,058 | 162,7 ±9,7 | 64,9±4,3 |
| t опора (сек) | 0,293±0,038 | 0,178±0,029 | 0,172 ±0,025 | 0,151 ±0,028 | 0,148±0,032 | 0,145±0,034 | | |
| t летеж (сек) | 0,07 ±0,020 | 0,082±0,018 | 0,089 ±0,014 | 0,094±0,012 | 0,101±0,017 | 0,103±0,014 | | |
| L крачка (см) | 97, ±16,4 | 108,7 ±12,9 | 123,9 ±17,5 | 138,6 ±18,9 | 147,9 ±16,1 | 159,9 ±14,3 | | |
| % нарастване на крачката | 100,0 | 111,7 | 123,7 | 142,4 | 152,0 | 164,3 | | |
| Високвалифицирани | | | | | | | | |
| t крачка (сек) | 0,294 ±0,041 | 0,254±0,052 | 0,250±0,040 | 0,242±0,038 | 0,244±0,046 | 0,248±0,041 | 179,8 ±8,4 | 78,6 ±5,2 |
| t опора (сек) | 0,211 ±0,029 | 0,178±0,033 | 0,170±0,035 | 0,161±0,030 | 0,151±0,029 | 0,138±0,033 | | |
| t летеж (сек) | 0,083 ±0,017 | 0,076±0,019 | 0,080±0,020 | 0,082±0,018 | 0,093±0,012 | 0,111±0,016 | | |
| L крачка (см) | 119,3 ±14,7 | 129,2 ±16,1 | 135,6 ±12,9 | 148,5 ±15,3 | 162,4 ±14,8 | 173,6±11,9 | | |
| % нарастване L на крачката | 100,0 | 8,28 | 13,7 | 24,5 | 36,1 | 45,5 | | |

не на скоростта нараства и дължината на крачката. Това става неравномерно и се дължи на различните силови възможности на единия или на другия голям крайник, или на наличието на антропометрическа симетрия. Второ, вътрешно индивидуално с увеличаването на скоростта в първите 20–30 метра, времето за извършване на крачката не се променя съществено. Когато, обаче спринтьорът направи опит за достигане по-голяма скорост, то нейното нарастване е следствие от намаляване на дължината и от увеличаване на честотата на крачката.

Резултати от наши изследвания показват, че:

1. При спринтьорите с НК на възраст 11–13 г. увеличаването на скоростта след стартирането се дължи предимно на нарастването и на двата показателя на беговата крачка.

2. При спринтьорите със СК на възраст 14–16 г. скоростта се увеличава само в два случая:

- а) при едновременно нарастване дължината и честотата на крачката;
- б) при увеличаване на честотата и намаляване на дължината ѝ.

3. Спринтьорите с ВК (над 18 г.) увеличават скоростта при едновременно нарастване на дължината и честотата на крачката. Не регистрирахме нарастване на скоростта при:

- а) намаляване на честотата и увеличаване на дължината на крачката;
- б) увеличаване на честотата и намаляване дължината на крачката.

Във всички случаи, независимо от квалификацията на състезателя, промените в скоростта по време на стартовото ускорение са свързани с изменението в опорния и в безопорния периоди. Дори когато

времето на отделните крачки остане непроменено, а се увеличава скоростта, то този процес е свързан с намаляване на времето за опора и увеличаване за летежа. Дори след третата крачка от старта, времето за опора при НК спринтьори е по-кратко от това на ВК. Най-добрите спринтьори увеличават скоростта след старта чрез голяма честота на крачките и намаляване на времето за опора. Дължината на крачката е индивидуален показател и варира по описания горе начин.

Динамическите характеристики на беговата крачка са свързани със силите, действащи в ОЦТТ и трябва да се разглеждат като сбор от сили, действащи в центъра на масата на всяко едно от 15-те звена на човешкото тяло [6, 11]. Тези сили са особено удобни за биомеханичен анализ, тъй като са еднакви по големина и противоположни по посока на инерционните сили. Спринтьорът противодейства срещу тях с помощта на собствената си мускулна сила, а големината зависи от максималните ѝ стойности и от нейния импулс и градиент. Тъй като не цялата сила приложена по време на отпласкването, отива за увеличаване скоростта на ОЦТТ, то за нейното изчисление се вземат предвид съпротивлението на въздуха и деформациите на меките тъкани и връзки в човешкото тяло. По време на възникването на отрицателни сили, при поставяне на маховия крак върху опората, силите са насочени срещу движението на масата на спортиста, като уравнението по което се изчисляват тези сили има същите показатели, които в единия случай са с положителен, а в другия с отрицателен знак.

$\pm F = \pm m_a + F_{CB} + F_{gT}$, при което F е силата на отпласкване, m_a е масата на тялото, а $-$ неговото

Таблица 2. Промени в някои показатели на беговата крачка по време на стартовото ускорение (шеста крачка)

| Показател | Пол | Ръст (см) | Тегло (кг) | Средна скорост (м/сек) | Дължина на крачката (см) | Честота на крачката (бр./сек) | Време на опора (сек) | Време на летеж (сек) | Вертикален импулс на силата на опорната реакция (кгс) | Надлъжен импулс на силата на опорната реакция (кгс) | Екстремум | |
|------------------------------------|-------|-----------|------------|------------------------|--------------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------|---|---|---------------------------|-----------------------------|
| | | | | | | | | | | | Вертикална съставка (кгс) | Хоризонтална съставка (кгс) |
| Средна статистическа (\bar{X}) | Юноши | 176,9 | 67,4 | 4,27 | 137 | 3,12 | 0,142 | 0,69 | 7,09 | 5,17 | 146 | 55 |
| | Мъже | 181,4 | 75,6 | 5,06 | 142 | 3,57 | 0,186 | 0,78 | 7,96 | 6,98 | 168 | 63 |

ускорение, F_{CB} – силата на съпротивлението на въздуха и $F_{гТ}$ – деформацията на тялото.

Данните от **табл. 2** потвърждават, че с увеличаване на квалификацията, значително по-рано се навлиза в оптимален ритъм на бягане. Обратно, НК състезатели с недостатъчна ритмова подготовка, слабо отпласкване и неравномерно нарастване на дължината на крачката, много по-късно преминават ритъма на бягане, характеризиращ максималната скорост. Много отгавна [2, 6, 12, 16] беше доказано, че използването на ударни крачки и прекомерно силов елемент при стартирането, води не до увеличаване на скоростта, а до нейното ограничаване и по-голям разход на енергия.

Механичната работа и мощност, произведени по време на стартовото ускорение, характеризират неговата ефективност. Според Г. Кавана (1977), колкото е по-голям разходът на енергия за увеличаване на механичната работа, толкова е по-висок коефициентът на полезното действие и ефективността на беговата техника. Самата външна енергия се състои от кинетичната енергия, изразходвана за предвижването на ОЦТТ в трите равнини – надлъжната, напречната и вертикалната, и от потенциалната енергия на тялото. Това уравнение има следния вид:

$$E_{BH} = \frac{mV_{BH}^2}{2} + \frac{mV_B^2}{2} + \frac{mV_{HP}^2}{2} + mgh,$$

където външната енергия (E_{BH}) е произведение от масата на бегача (m), скоростта на движението на ОЦТТ в трите равнини (V_{HA} , V_B , V_{HP}), височината на ОЦТТ (h) и земното ускорение g . Изследванията показват [11, 17, 19], че надлъжната работа в първите 5–6 сек след старта представлява 80 – 86% от съответната съставна на външната работа. За преодоляване съпротивлението на въздуха се изразходват други 12–18%. Във вертикално направление спринтьорът изразходва 22–34% от работата и то само в първите 1–2 сек след старта.

Мощността на работата $\left(M = \frac{A}{t} \right)$ за по-голяма

информативност, се изчислява спрямо средната мощност на крачката. Установено е, че тя нараства през първите 0,6–0,9 сек до 145 кГм/сек, а през следващите 1–2 сек намалява рязко до 25 кГм/сек. Тук се наблюдават и най-съществените различия между начинаещите и квалифицираните спринтьори. Първите още след 0,5–0,7 сек имат значително по-ниски стойности на мощността и това засяга най-вече надлъжната съставна на извършената механическа работа за придвижване на ОЦТТ. С достигане на хоризонтална скорост от 7,5–8,3 м/сек, мощността на отпласкването отново нараства и в края на стартовото ускорение достига максималните си

стойности. Те са толкова по-големи, колкото е по-висока квалификацията на спринтьора.

Изводът от тази интерпретация е, че на старта спринтьора трябва да се стреми да бяга с по-голяма честота и при непрекъснато увеличаваща се мощност на единичните отпласквания.

Биоелектрическата активност на мускулите при статичен режим е изследвана още през 1924 г. от Е. Наа. По-късно това е било предмет и в изследванията на наши и чужди автори [4, 11, 10, 19, 17].

При регистрирането на биоелектрическата активност на някои мускули, действащи в трите основни става на долните крайници, беше установено, че независимо от абсолютните разлики, най-голяма мощност в началните движения след стартовия сигнал имат мускулите разгъвачи на тазобедрената става на опорния крак. Това са двуглавият бедрен и седалищният мускул, които имат едновременно електрическа активност. През целия опорен период, най-вече в първата му половина, те работят в преодоляващ режим и осигуряват стабилността на опорния крак във всичките му звена. Положителната (преодоляващата) работа на тези мускули води до увеличаване на скоростта на придвижване на ОЦТТ в хоризонталната и вертикалната равнина.

Едновременно с активирането на най-силните разгъвачи в тазобедрената става, започва и това на разгъвачите в колянната става. Тук действа четириглавият бедрен мускул, предимно с правата си глава. Разгъването се подпомага и от останалите мускули (медиалната и литерална глава, полусухожилния и полуципестия и др.). Независимо от тяхната маса, те са до 2 пъти по-слаби от разгъвачите на тазобедрената става.

От анализа на кинограмите беше установено, че големината на ъгъла в който действат мускулите разгъвачи е от 79° до 123° и за време около 0,147 сек при мъжете и 0,161 сек при жените. При мускулите сгъвачи съкращението се извършва при 156°–77° в диапазон от 0,176 сек за мъжете и 0,190 сек при жените.

Разгъвачите на колянната става работят в преодоляващ режим при 110°–137°. Времето за тяхното действие (0,106 – 0,113 сек) е по-кратко от това на мускулите разгъвачи на тазобедрената става. Сгъвачите на стъпалото, действащи в глезенната става (двуглавия мускул на подбедрицата и солеуса) работят също в преодоляващ режим по време на целия опорен период. Той е с продължителност 0,105 сек за мъжете и 0,121 сек за жените, като сгъването се осъществява в рамките на 88°–137°.

В какъв режим работят мускулите на маховия крак при неговото изнасяне напред и нагоре?

В първите 3–6 крачки след старта маховият крак не подпомага амортизационните движения в колянната и глезенната става. Това движение служи пре-

гимно за стабилизиране на опорния крак и не дава възможност да се изменят ставните ъгли. Двуглавият мускул на подбедрицата във втората половина на опорния период е в изометрично напрежение за около 37–42 м/сек. Разгъването на бедрото започва сравнително късно – едва след като премине 2/3 от периода на опората. То се осъществява от двуглавия бедрен и големия седищен мускул. Повдигането на бедрото се подпомага от четириглавия бедрен и поясно-хълбочните мускули, които работят като разгъвачи в тазобедрената става за кратко (51 – 53 мсек) време и изразходват много малко енергия (8 – 14 Дж). Повдигането се подпомага и от инерционните сили, както и от еластичните свойства на мускулите. Това качество им позволява да натрупват кинетична енергия, която по-късно превръщат в потенциална и съдействат на отделните звена при тяхното пренасяне. Спирането на повдигането на бедрото е съпроводено със съкращаване на мускулите разгъвачи за кратко време (от порядъка на 0,072–0,087 сек) до момента на поставяне на маховия крак върху опората. Тук се произвежда голямо количество работа – 142 Дж. Малко преди мускулите разгъвачи на бедрото да завършат своята дейност и опорният период да е в своята последна фаза, започва тяхната преодоляваща, положителна работа в колянната става. Съкращението е кратко (40–48 м/сек), с малък разход на механична работа, но именно в този момент се достига максималната скорост при изнасянето на коляното напред – нагоре. След това въртеливото движение на коляното се забавя, сгъвачите на тази става преминават в отстъпващ режим на работа до момента на поставянето на маховия крак върху опората. Изразходва се голямо количество механична работа в продължение на 0,111–0,120 сек.

Изнасянето на бедрото на маховия крак напред е съпроводено със сгъване в тазобедрената става с помощта на правия бедрен мускул и обтегача на бедрената фасция. В първото движение след отделянето на маховия крак от блокчетата или от опората (в следващите крачки) изотоничната работа на мускулите има продължителност 20–27 м/сек и продължителност до 0,192 сек. Произведената около 123–136 Дж. положителна механична работа отива почти изцяло за ускоряването на маховия крак напред. В този момент настъпва замаяване на подбедрицата назад и нагоре. Максималната скорост на това замаяване съвпада с развитието на най-голям момент на силите в тазобедрената става. Увеличаването на напрежението в разгъвачите в колянната става със спиране на движението на подбедрицата назад. Това се осъществява от увеличаване на тонуса на правия бедрен мускул, който в случая сгъва бедрото и разгъва подбедрицата. Тази противоположност в действията на антагонистите е

свързана с отстъпваща работа на разгъвачите на коляното в продължение на 0,155–0,172 сек, при което се произвежда отрицателна работа в размер на 52–65 Дж. В зависимост от квалификацията на спринтьора. Максималното сгъване на маховия крак по време на опората се извършва в средата на опорния период, и понеже вертикалната съставна сила, действаща в центъра на масата на крака е също най-голяма, тя натовава опорния крак, развива сила от 70–77 кгс и подпомага вертикалната съставна на опорната реакция, при което делът ѝ се оценява на 38–44%.

При стартовото ускорение мускулите, действащи в трите стави на опорния крак имат приблизително еднакво значение за нарастването на скоростта на ОЦТТ. Тяхната последователност започва с работа в тазобедрената става, след това във втората половина на опорния период се включват мускулите разгъвачи колянната става и накрая тези сгъвачи глезенната става.

В този порядък за увеличаване скоростта при старта и по време на стартовото ускорение е необходимо да се работи в режим, отговарящ на електроактивността на мускулите на долните крайници. Така, за сгъвачите и разгъвачите в тазобедрената става е необходима преодоляваща работа в границите на 85°–125° (например полуклек с щанга). За разгъвачите на колянната става (четириглавия бедрен мускул и гр.) се препоръчва преодоляващ режим на работа в границите на 105°–145° при бързо изпълнение на упражнението. И накрая, сгъвачите на глезена (триглавия мускул на подбедрицата) ще се тренират при преодоляващ режим на работа в ъгловия диапазон от 90° до 137° при още по-голяма скорост на изпълнение.

Тренировкото творчество може да запълни празнината от необходимите упражнения, като се съобразява с режима на мускулната работа по време на стартовото ускорение и подбере съответни тренировъчни средства, като за целта използва тренировъчни устройства.

Литература

1. Антонов, Н. Бягане на къси разстояния. С., 1983.
2. Бальсевич, В. Дисертация, 1963.
3. Беликов, В. XI Респ. конф., Ереван.
4. Бъчваров, М. Дисертация, М., 1970.
5. Димитров, К. –ВФК, №8, 1977.
6. Зациорский, В. –ТПФК, №7, 1969.
7. Колесников, Н. Дисертация, Л., 1986.
8. Левченко, А., Д. Димитров. Катапултиращия старт на Б. Джонсън. –Тренировъска мисъл, №6, 1988.
9. Рачев, Кр. –ВФК, №4, 1963.
10. Тюпа, В. –Лёгкая атлетика №9, 1981.
11. Dimitrov, D., J. Titov. I' Inter. congress, N. Sad, 1999.
12. Hill, A., Hill Book Co. USA, 1927.
13. Letzelter, M. Mod. Athl. and coach, 33/4, 1995.
14. Morales, P. Inter.
15. Schot, P. Res. Quart. for exer. and sport, 63/2, 1992.
16. Thidow, G. Leistungssport, 24, 1994.
17. Thys, H. Journ of Appl. Physiol, 4, 1974.
18. Verhoshanskii, J. New, Stnd Athl., 2, 1996.
19. Zukov, J., D. Dimitrov. Cinem, dinamogr. and energy. criteria of the sprinting technique, Fis., 1997.

Рецензент: проф. Никола Антонов, доктор