

НАЦИОНАЛНА СПОРТНА АКАДЕМИЯ „ВАСИЛ ЛЕВСКИ”
КАТЕДРА „ТЕОРИЯ НА СПОРТА“

Димчо Борисов Мицов

**МОДЕЛ ЗА КОНТРОЛ И ОЦЕНКА НА
ТРЕНИРОВЪЧНОТО НАТОВАРВАНЕ В БЯГАНИЯТА НА
ДЪЛГИ РАЗСТОЯНИЯ В ЛЕКАТА АТЛЕТИКА**

АВТОРЕФЕРАТ

за присъждане на научната степен „Доктор“
в професионално направление 7.6. Спорт, докторска програма
„Теория и методология на спортната наука“

Научен ръководител:

Доц. Михаил Кончев, доктор

СОФИЯ, 2022

НАЦИОНАЛНА СПОРТНА АКАДЕМИЯ „ВАСИЛ ЛЕВСКИ”
КАТЕДРА „ТЕОРИЯ НА СПОРТА“

Димчо Борисов Мицов

**МОДЕЛ ЗА КОНТРОЛ И ОЦЕНКА НА
ТРЕНИРОВЪЧНОТО НАТОВАРВАНЕ В БЯГАНИЯТА НА
ДЪЛГИ РАЗСТОЯНИЯ В ЛЕКАТА АТЛЕТИКА**

АВТОРЕФЕРАТ

за присъждане на научната степен „Доктор“
в професионално направление 7.6. Спорт, докторска програма
„Теория и методология на спортната наука“

Научен ръководител:

Доц. Михаил Кончев, доктор

Официални рецензенти:

Проф. Кирил Аладжов, доктор

Доц. Михаил Михайлов, дн

СОФИЯ, 2022

Дисертационният труд съдържа 212 стандартни страници. Онагледен е с 36 таблици, 43 фигури и списък на използваната литература. Библиографската справка съдържа 231 източника, от които 38 на кирилица, 190 на латиница и 3 интернет източника.

Номерацията на таблиците и фигурите в автореферата съвпада с тази от дисертацията.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за публична защита пред научно жури на разширено заседание на катедра „Теория на спорта“ при НСА „Васил Левски“, проведено на 29.09.2022 г.

Публичната защита на дисертационния труд за присъждане на образователната и научна степен „доктор“ ще се състои на 11.01.2023 г. от 14:00 часа в зала „А1“ на НСА „Васил Левски“, Студентски град, София.

Увод

Основните фактори свързани с управлението на тренировъчния процес в бяганията на дълги разстояния са нивото на тренираност, ниво на умората и величината на тренировъчното натоварване. С оглед на правилното построяване на тренировъчния процес е необходимо всяко тренировъчно натоварване да бъде оптимално според моментното състояние на спортиста в дадения етап на спортна подготовка. Биологичните фактори, определящи спортното постижение в бяганията на дълги разстояния са **максималното потребление на кислород (VO_{2max})**, **анаеробният праг (AnT)**, **енергетичният потенциал на мускулите** (основно нивото на гликоген в мускулната клетка) и **икономичността на бягане** (NealA, 2011; Midgley at al., 2007).

Измерването и проследяването на горе изброените фактори е възможно чрез лабораторни и теренни тестове и изследвания, посредством използване на инвазивни и неинвазивни методи. Някои от тези методи са скъпи и честото им използване не винаги е съвместимо с целите на тренировъчния процес. Проследяването на сърдечната честота (СЧ), като резултат на интензивността на тренировъчното натоварване е лесно измерим показател, намиращ се във взаимовръзка с факторите свързани с управлението на тренировъчния процес.

В настоящия дисертационен труд е разработен математически модел на индекс на бегова ефективност (RI) оценяващ ниво на тренираност, икономичност на бягане, ниво на умора и величина на тренировъчното натоварване. Индексът е моделиран на основата на

полиномна функция $V=f(HR)$ от втора или по-висока степен и се построява индивидуално за всеки състезател, това прецизира точността в измерването в сравнение с предходните методи. В индекса е включена методика за измерване изменението на скоростта в зависимост от големината на наклона по време на бягане по терен с денивелация. Връзката между изменението на скоростта и големината на наклона е базирана на физиологичния отговор на организма отчетен посредством СЧ. Предложеният модел дава възможност за контрол и оценка на тренировъчното натоварване ежедневно и комплексно без използване на допълнителна апаратура и без да се нарушава целостта на тренировъчния процес. Индексът се изчислява от показателите: Сърдечна честота (СЧ), скорост на бягане и денивелация на терена, измерени по време на физическо натоварване.

1. Постановка на проблема

1.1 Обобщаване на литературният анализ

Ефективността на тренировъчния процес зависи от спазването на основните принципи на спортната тренировка. Те са базирани на биологични закони свързани с адаптацията на организма към условията на външната среда. В литературния обзор на настоящия дисертационен труд са разгледани основни принципи за осъществяване на адаптационните процеси свързани с натоварвания характерни за тренировъчно-състезателния процес в бяганията на дълги разстояния. В обобщен вид, това са: (1) фазите за осъществяване на суперкомпенсация на енергетични и структурни вещества, което увеличава потенциала на определени (натоварените) биохимични и физиологични функции; (2) оптималният синхрон на споменатите фази с компонентите на тренировъчните натоварвания (величина, характер и насоченост), които пряко корелират с прираста на физическата работоспособност и подобряване на ефективността при бягане.

Друг проблем, който е свързан с оптимизацията на тренировъчния процес е разкриването на факторите на спортното постижение. Тези фактори от своя страна могат да послужат за създаване на нормативна база от показатели за проследяване и контрол на основните качества и функции на спортиста от които зависи спортния резултат. Ключовите фактори в бяганията на дълги разстояния са максимално потребление на кислород (VO_{2max}), анаеробния праг (AnT) енергетичния потенциал на мускула (нивото на

глюкоген в мускулната клетка) и икономичността на бягането (Midgley at al., 2007). Спазването на физиологични, морфологични и спортно технически норми в развитието на споменатите показатели са предиктор за хармонично развитие на функциите и качествата на спортиста за конкретна състезателна дисциплина.

Контрола и оценката на фазовия характер на тренировъчния процес и показателите свързани с факторите на спортното постижение е трудна задача, която изисква използването на скъпоструваща апаратура за измерване на необходимите физиологични и биохимични показатели. В същото време споменатите изследвания не винаги се синхронизират със задачите на тренировъчния процес и могат да доведат до неговото нарушаване и обременяване. Поради тази причина в спортната теория и практика се разработват методи за контрол и оценка на споменатите фактори без да бъде нарушавана целостта на тренировъчния процес. Такива методи са разработени основно на два принципа – проследяване на изменението на СЧ по време на тренировъчно натоварване и сън и посредством психологични въпросници за контрол и оценка на нивото на оперативната и постоперативната умора.

В настоящия дисертационен труд сме предложили модел на индекс за етапен контрол и оценка на тренираността, базиран на измерването на лесно проследими показатели – сърдечна честота (СЧ), скорост и денивелация на терена. Разработения индекс е опит за надграждане на съществуващите досега индекси базирани на принципа на взаимозависимост между СЧ и скорост на бягане, която е константна

величина в широк диапазона на интензивност. Споменатата зависимост може да бъде описана математически и съответно проследявана по време на натоварвания с различна интензивност. Това ни позволява да отчитаме оперативно и постоперативно изменението на СЧ при относително константа на скорост. На практика изменението на СЧ на даден спортист във времето сравнена с натоварвания с еднаква интензивност е показател за изменение на нивото на тренираност. От проучената литература стана ясно, че такова изменение се наблюдава и по време на натоварване с голяма величина, т.е. увеличаването на СЧ при запазване на константна скорост на бягане е показател за нарастване на оперативната умора на спортиста. На база споменатата математическа зависимост между СЧ и скорост на бягане, предложението от нас **индекс на бегова ефективност** е в състояние да измерва споменатите изменения във вътрешната среда на организма (измерени посредством СЧ) независимо от промяната във външно натоварване (скоростта на бягане). Следователно индексът може да се изчисли без да е необходимо да се провежда стандартизиран тест и да се спазва условие за поддържане на точно определена скорост. Изчислен от различни комбинации между сърдечна честота и скорост, стойността му ще е идентична и ще отразява адекватно състоянието на спортиста.

Тъй като индексът се влияе от наклона на терена, причина за което е, че при една и съща скорост срещу наклон СЧ е по-висока или обратното по наклон е по-ниска. Формулата с която се изчислява индекса има възможност посредством взаимовръзката между големината на наклона и изменението в скоростта да адаптира

скоростта при бягане срещу или по наклон, към физиологичния отговор на организма измерен чрез СЧ. Също така ако за изчисляване на индексът се използва отношението между показателите СЧ и скорост на бягане той ще покаже погрешно по-висока икономичност или тренираност, ако бъде изчислен преди първия или след втория вентилаторен праг. За да бъде избегната тази неточност новия индекс ще се изчислява на база на полиномна зависимост между СЧ и скоростта на бягане, като по този начин ще се измери адекватно изменението на линейната зависимост между споменатите показатели под първия и над втория вентилаторен праг.

Следователно предимство на индекса, който престой да бъде валидиран е увеличена прецизност в измерването, отчитане изменението на скоростта на бягане в зависимост от наклона и възможност за измерване и проследяване на ниво на оперативна (настъпваща по време на тренировка) и постоперативна умора (възстановяването между отделните тренировъчни занимания) по време на тренировъчния процес.

1.2 Работна хипотеза

Извършеният литературен анализ и обобщението на научните резултати са предпоставка за формулиране на следната **работна хипотеза**:

На базата на модел, отразяващ взаимовръзките между сърдечна честота, скорост и наклон, може от всяко натоварване, независимо от наклона и скоростта, и без изпълнението на стандартизирани тестове,

да се изчисли индекс, който да предоставя надеждна и валидна информация за икономичността на бягане и състоянието на бегачите на дълги разстояния, това е предпоставка за усъвършенстване на контрола и подобряване на специфичната работоспособност при бегачи на дълги разстояния.

2. Цел, задачи и методика на изследването

2.1. Цел на изследването

Да се разработи високоинформативен индекс на бегова ефективност, който същевременно да е лесно приложим в контрола на тренировъчния процес в дългите бягания.

2.2. Задачи на изследването

1. Да се установи и анализира необходимостта от разработване на индекс на беговата ефективност (RI) за контрол и оценка на тренировъчното натоварване в бяганията на дълги разстояния.
2. Да се изведат основните фактори на спортното постижение.
3. Да се разработи математически модел на индекс на беговата ефективност.
4. Да се разработи модел за контрол и оценка на субективни и обективни показатели за умора и параметри на тренировъчното натоварване.
5. Да се апробира изведеният математически модел на индекс на беговата ефективност, чрез съпоставяне на неговите стойности, измерени по данни от лабораторните тестове и тренировъчните натоварвания проведени от изследваните спортисти с директно измереният показател – скорост на ниво анаеробен праг (AnT_V).

б. Да се установи и анализират основни показатели, свързани с функционалната работоспособност на елитни бегачи на дълги разстояния.

2.3. Обект на изследването

Обект на изследването е тренировъчния процес в дългите бягания на леката атлетика.

2.4. Предмет на изследването

Предмет на изследването са параметрите за оценка и контрол на тренировъчния процес в бяганията на дълги разстояния.

2.5. Субект на изследването

Изследвани се 19 висококвалифицирани състезатели в бяганията на дълги разстояния ($N = 19$) (16 мъже и 3 жени), средна възраст (\bar{X}) 27.9 години (27.9 ± 7.9), индекс на телесна маса (BMI) 20.5 (20.5 ± 2), кислородна консумация 66 ml/min/kg ($66,3 \pm 5$), средна скорост на ниво AnT 17.3 (17.3 ± 1.8) (таблица 10 и приложение 2).

Таблица 10. Морфологични и функционални показатели на изследваните лица

Име	Възраст	Ръст	Тегло	BMI	FatP	VO _{2max}	AnT _v	AnT	AnT _{Ecost}
		(cm)	(kg)		(%)	(ml/min/kg)	(km/h)	%VO _{2max} (%)	kcal/kg/km
С. В.	29	179	66,8	20,8	9,4	75	19,2	88,0	1,02
Я.Т.	22	187	75,8	21,7	7,0	63	16,8	90,5	1,00
Д. М.	33	179	66,3	20,7	15,9	69	17,2	84,1	1,01
Й. Н.	37	172	62,1	21	9,3	75	19,2	88,0	1,03
М.С.	25	184	65,4	19,3	6,9	67	19,2	92,5	0,97
А. В.	33	178	61,2	19,3	9,6	66	18,0	87,9	0,97
К.К.	27	182	82,0	24,8	11,2	65	18,0	90,8	0,98
Н.П.	28	180	72,2	22,3	7,2	70	16,8	84,3	1,04
А.П.	23	169	62,9	22	19,3	64	15,6	89,1	1,10
М. М.	36	177	73,2	23,4	14,6	58	15,6	93,1	1,04
Д.М.	32	179	65,2	20,3	14,2	73	18,0	84,9	1,05
Р.Л.	46	172	59,2	20	9,2	71	18,0	88,7	1,05
Р. Н.	14	160	47,3	18,5	13,5	62	14,4	83,9	1,10
К.П.	14	167	41,8	15	10,0	60	13,2	90,0	1,20
М. Г.	27	168	60,5	21,4	12,8	59	14,6	91,5	1,11
М.Ц.	27	182	67,2	20,3	6,1	70	19,6	85,7	0,91
И.А.	19	193	72,3	19,4	5,3	61	17,5	93,4	0,98
М.С.	25	184	67,1	19,8	7,7	67	19,0	91,0	0,97
А.В.	33	178	61,6	19,4	7,7	64	17,5	87,5	0,97
\bar{X}	27,9	177,4	64,7	20,5	10,4	66,3	17,2	88,7	1,00
SD	7,9	7,8	9,2	2,0	3,8	5,2	1,8	3,1	0,1

Легенда:

FFM (kg)= Активна Телесна маса;

MM (%)= скелетна мускулна маса;

BMI= индекс на телесната маса;

BF (%) - съдържание на мазнини в тялото;

EcostAnT - енергетична цена при бягане със скорост на ниво AnT;

\bar{X} - средна стойност;

SD - стандартно отклонение.

2.6. Методика на тестирането

Участниците в изследването са преминали две лабораторни и две теренни изследвания.

Първото лабораторно изследване представлява субмаксимален тест при който се бяга по наклон с различна големина. По време на теста се отчитат СЧ, скоростта на бягане и кислородната консумация, а след това се изчислява и индекс на бегова ефективност за всяко от стъпалата с различен по големина наклон. Целта на теста е да бъде сравнено изменението на физиологичния отговор на организма по време на бягане срещу различен по големина наклон и при терен без наклон.

Второто лабораторно изследване представлява максимален стъпаловиден тест до отказ. По време на теста се отчита СЧ, скоростта на бягане и кислородната консумация, а след това се изчислява и индекса на бегова ефективност за всяко стъпало на теста, които са различни по интензивност. Целта на теста е да се установи функционалната подготвеност на изследваните лица и да се сравни индекса на бегова ефективност изчислен при всяко стъпало със стойността на реалния анаеробен праг, към който е приравнен индекса.

Първият теренен тест включва две пробягвания на разстояние от 1000м. Първата отсечка се пробягва срещу наклон вариращ от 7 до 10 %, при СЧ съответстваща на 3-ра прагова зона. Втората отсечка се пробягва по същия наклон, но в обратна посока (спускане), с СЧ съответстваща на 2-ра прагова зона. По време на теста се измерва средната СЧ, денивелацията в метри и скоростта на бягане по време на пробяганото разстояние. Целта на теста е да бъде установено изменението на физиологичния отговор на организма, измерен чрез СЧ, при бягане на равно, срещу наклон и по-наклон.

Вторият теренен тест представлява четири пробягвания на дистанцията от 1600 м на стадион със различна интензивност, като между тях се измерват стойностите на лактата в кръвта. Целта на теста е да бъдат определени зони на натоварване базирани на изменението в лактатната стойност в кръвта и да бъде моделирано регресионното уравнение на взаимовръзката между изменението на сърдечната честота и скоростта на бягане. На база на функцията $V=f(HR)$ получена от този тест се изчислява индекса на бегова ефективност измерен по време на проведените тренировъчни натоварвания от спортистите за период от една седмица.

Тренировъчните натоварвания проведени от изследваните 19 бегачи на дълги разстояния за период от една седмица са необходими за да бъде валидиран индекса на бегова ефективност и пори теренни условия, чрез съпоставяне на неговите стойност със стойността на показателя скорост на ниво анаеробен праг. От проведените тренировъчни занимания се отчитат средни стойности на СЧ, средна скорост на бягане и денивелация на терена, по който е извършено натоварването. Изчислява се беговия индекс за всяко едно тренировъчно или състезателно натоварване. Интензивността на тренировъчните натоварвания, които са и на всяко от които е изчислен **RI** има следното средно процентно разпределение по физиологични зони на натоварване:

- **I зона** - 45% (горна граница максимално мастно окисление (*FatMax*));

- **II зона** - 31% (горна граница първи лактатен праг (лактат = 2 ммол/л) ($AeT2$));
- **III зона** - 15% (горна граница AnT);
- **IV зона** - 7% (горна граница скоростта при достигане на максимално потребление на кислород ($VO_{2max}V$);
- **V зона** – 3% (над $VO_{2max}V$).

Зоните на натоварване са определени на база индивидуалните прагови зони измерени чрез лабораторен и лактатен тест. Тренировъчните натоварвания са проведени по терен със здрава текстура на повърхността (асфалт, черен път, тартанов или кортов стадион) и при относително стабилни условия на външната среда (влажност на въздуха, температура и др.). Състезателите се подготвят посредством собствена тренировъчна методика, която не е променена за целите на настоящото изследване.

Моделът е апробиран посредством статистически методи за проверка на хипотези и регресионен анализ. Стойностите на индекса, изчислени от лабораторните тестове и тренировъчните натоварвания са сравнени с директно измерените стойности от вентилаторния AnT и лактатния AnT (базиран на ниво на лактата – 4 mmol/l). Стойностите на RI базиран на предложената в настоящия дисертационен труд методика изчислени по данни от лабораторния тест, са сравнени със стойностите на бегови индекс, базиран на съотношението между СЧ и скорост на бягане (RI_{HRV}).

2.7. Етапи на изследването

Изследването бе проведено в периода от октомври 2019 г. до септември 2022г. Организацията на работата по осъществяването му премина през три етапа.

Първи етап: октомври 2019 г. – септември 2020 г.

Работа по изграждане на концептуалната рамка на дисертационното изследване и очертаване на изследователската стратегия и структурата на дисертационния труд. Подбор на методическия инструментариум на изследването.

Втори етап: октомври 2020 г. – септември 2021 г.

Реализиране на основния научен експеримент. Статистическа обработка на резултатите от изследването.

Трети етап: октомври 2021 г. – септември 2022 г. Анализ на резултатите от емпиричното изследване и оформяне на основните изводи. Цялостно написване на дисертационния труд и подготовката за вътрешната му защита.

2.8. Методология на изследването

За постигането на целта и решаването на основните задачи е проведена комплексна методика разработена на базата на: (1) проучване на литературни източници, (2) извеждане на факторите на индекс на бегова ефективност за контрол и оценка на тренираността, нивото на умора и величината на натоварването, (3) математическо моделиране на индекс на бегова ефективност за контрол и оценка на специфичната работоспособност в бяганията на дълги разстояния, (4)

разработване на лабораторни и теренни тестове за апробиране на модела, (5) разработване на въпросник за субективни и обективни показатели за умора и оценка на тренировъчното натоварване, (6) математико-статистически методи за анализ и оценка на получените резултати от тестирането на изследваните състезатели.

За постигане на научноизследователските цели и за решаване на предварително формулираните задачи е използвана методика, която включва:

1) теоретични методи - за разработване на методологическата концепция и обосноваване на актуалността и същността на изследвания проблем.

- критичен анализ.

2) Методи за математическо моделиране.

- метод на индексите.

3) Експериментални методи за апробиране на изведения математически модел за контрол и оценка на тренировъчния процес в бяганията на дълги разстояния.

- лабораторно тестиране;

- теренно тестиране;

4) За статистическата обработка на данните е използван софтуерния пакет за статистически анализ SPSS 25 и следните статистически методи за анализ.

- вариационен анализ.

- корелационен и регресионен анализ.

- тестове за проверка на нормалното разпределение на данните.

- тестове за проверка на хипотези.

2.9. Моделиране на индекс на бегова ефективност за контрол и оценка на тренировъчния процес в бяганията на дълги разстояния

Получените уравнения описващи зависимостта между СЧ и скорост на бягане са получени на база тестово натоварване с прогресивно увеличаване на скоростта на бягане. Те имат следния вид и графично представляват полином от трета или по-висока степен:

$$V = aHR^3 + bHR^2 + cHR + d \quad (1)$$

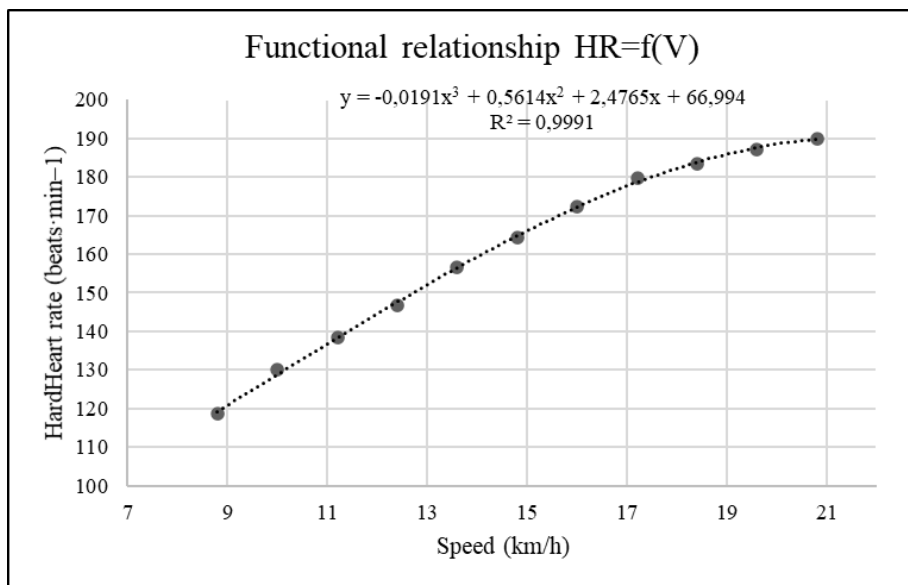
$$HR = aV^3 + bV^2 + cV + d \quad (2)$$

Където

a,b,c и d са параметри на уравнението

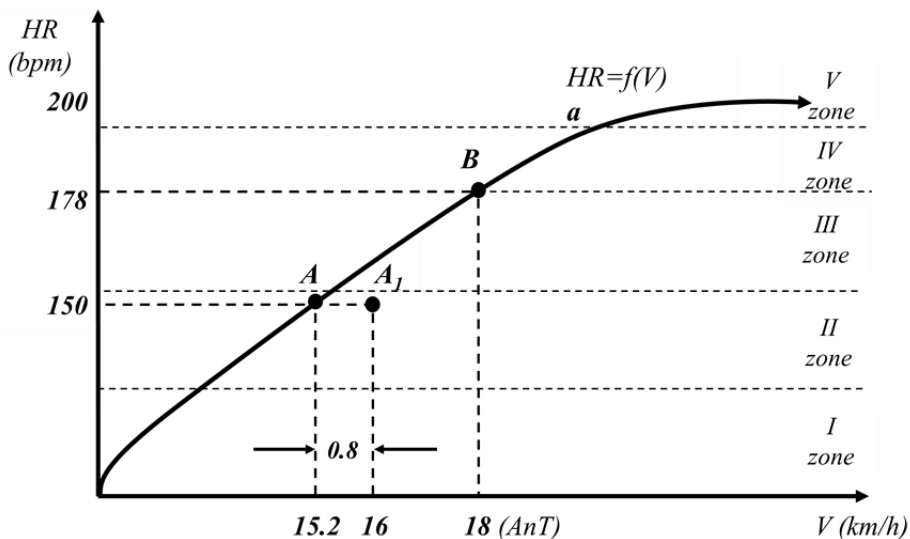
HR - изменението в СЧ

V – скоростта съответстваща на СЧ.



Фиг. 29. Функционална зависимост между СЧ и скоростта измерена по време на стъпаловиден максимален тест до отказ на тредбан.

Ако допуснем, че дадено тренировъчно натоварване се извършва, след като графиката на функцията между СЧ и скоростта е построена. Неговата стойност, графично представена, като m . А може да лежи на кривата $HR = f(V)$ (т. А) или да се намира в ляво или в дясно от нея (m . А_l) (фиг. 30).



Фиг. 30. Графичен модел на моделирания бегови индекс (RI)

В случай, че $t. A$ лежи на кривата a , то при нарастване скоростта на бягане, ще нарасне и СЧ на спортиста, като се следва зависимостта, измерена от тестирането. Движението на т. А нагоре по кривата a , ще продължи, докато т. А съвпадне с т. В, която съответства на скоростта при нивото на AnT на дадения състезател. Може да се предположи, че разгледаната позиция на т. А спрямо позицията на кривата a в краткосрочен план (в рамките на микроцикъла) означава, че не се наблюдава наличие на умора. При проследяване в дългосрочен план, ако т. А остане непроменена, това означава, че не е настъпила промяна в тренираността на спортиста.

В случай, че $m. A$ не лежи на кривата a (на фигурата - $m. A_I$), то средната СЧ получена от конкретно тренировъчно натоварване е различна от СЧ получена от проведеното тестиране при бягане с еднаква скорост. Това изместване е възможно да има две геометрични проекции – в ляво и в дясно от кривата a .

Причината за изместването на $m. A$ от графиката на функцията може да се дължи на няколко фактора: промяна в нивото на тренираност на състезателя, промяна в нивото на умората, настилка на терена, надморската височина, на която е проведено тренировъчното натоварване, температурата и влажността на въздуха, здравословното състояние на спортиста и др. (Achten, Jeukendrup, 2003; Lambert, at al., 1998; Wilmore, Costill, 1999). Ако условията по време на измерването бъдат стандартизирани, причините за изместването на положението на $m. A$, ще бъдат сведени до две - промяна в нивото на тренираност на състезателя (Buchheit, at al., 2010). и изменение в нивото на умора (Boudet, at al., 2004).

Превръщането на графичното изместване на $m. A_I$ от графиката на функцията (кривата a) в емпирична стойност е целесъобразно с оглед определяне изменението на RI , като числова стойност.

В координатната система, на позицията на $m. A_I$ (получена от конкретно тренировъчно натоварване) съответства определена СЧ (150 уд/мин) и скорост на бягане (16 км/ч) (фиг. 30). При същата СЧ (150 уд/мин), кривата a (получена по данни от тестовото натоварване) се пресича в т. A , на която съответства различна скорост на бягане (15.2 км/ч). Това изменение предполага, че скоростта на спортиста за

конкретното тренировъчно натоварване се е увеличила или намалила спрямо тази измерена при тестирането. Разликата в тези скорости може да бъде положителна или отрицателна и зависи именно от позицията на т. A_1 спрямо кривата a . Получената стойност се добавя до предварително определената скорост на ниво AnT . Тяхното произведение представлява стойността на RI . Например, ако скоростта се увеличи с 0.8 км/ч в сравнение с тестовите данни (16 км/ч - 15.2 км/ч), тя се добавя към скоростта на ниво AnT (18 км/ч) т.е. 18 км/ч + 0.8 км/ч = 18.8 км/ч (фиг. 30). Получената стойност представлява RI от конкретното тренировъчно натоварване.

Отстраняване въздействието от денивелацията на терена върху изчисляването на RI

Графика на функцията между големината на наклона (%) и метаболитните енергийни разходи по време на бягане е относително линейна в диапазона между $\pm 10\%$ от наклона. Загубата в скоростта по време на бягане при изкачване е по-голяма от печалбата при идентично спускане (Minetti, et al., 2002) (фиг. 34).

От втория теренен тест получаваме следните данни:

- СЧ по време на бягане срещу наклон (HR_+)(уд/мин);
- СЧ по време на бягане по наклон (HR_-)(уд/мин);
- скорост по време на бягане срещу наклон (V_+)(км/ч);
- скорост по време на бягане по-наклон (V_-)(км/ч);
- денивелация изкачване (D_+) (м);
- денивелация спускане (D_-) (м);
- пробягано разстояние изкачване (S_+) (м);

- пробягано разстояние спускане (S_{-}) (м).

Процента на наклона ($D\%$) се определя по следните формули:

$$D\%_{+} = \frac{D_{+}}{S_{+}} \quad (3)$$

$$D\%_{-} = \frac{D_{-}}{S_{-}} \quad (4)$$

От функцията $V = f(HR)$ (1), се изчислява скоростта на бягане по терен без денивелация, която отговаря на СЧ по време на изкачване (V_{HR+}) и съответно скоростта на бягане по равно, която отговаря на СЧ по време на спускане (V_{HR-}). Скоростта на бягане срещу наклон е по-ниска от тази, която се отчита при същия СЧ на равен терен. Скоростта при бягане по наклон (спускане) е по-висока от тази, която се отчита при същия СЧ на равен терен. Следователно е отчетена загуба на скоростта по време на изкачване (V_{lost}) и печалба по време на спускане (V_{gane}) при константно физиологично натоварване (измерено чрез СЧ). Тези две величини се изчисляват по формули (5) и (6) и зависят от $D\%$, където е проведен теста.

$$V_{lost} = V_{HR+} - V_{+} \quad (5)$$

$$V_{gane} = V_{HR-} - V_{-} \quad (6)$$

Следователно съществува зависимост между $D\%$, V_{lost} и V_{gane} , която се изразява по следния начин: нарастването на $D\%$ води до нарастване на V_{lost} и V_{gane} . Получените уравнения описващи зависимостта имат следния вид (фиг. 31 и 32):

$$V_{lost} = a_1 D\%_{+} \quad (7)$$

$$V_{gane}=a_2D\% \quad (8)$$

Където:

a_1 и a_2 са параметри на линейната функция

Уравнението за изчисляване на RI има следния вид:

$$RI = ((\frac{V_{lost} Den_+ - V_{gane} Den_-}{Den_+ + Den_-} + V) - V_{HR}) + V_{AnT} \quad (10)$$

Където:

RI – бегови индекс, индиректен показател за изменението на скоростта на ниво анаеробен праг с включена денивелация (км/ч)

V_{lost} - скоростта която е загубена под въздействието на наклона при изкачване, по следната зависимост - $V_{lost} = a_1D\%_+$ (км/ч);

V_{gane} - скоростта която е спечелена от въздействието на наклона при спускане ($D\%_{-tren}$), по следната зависимост - $V_{gain} = a_1D\%$ (км/ч);

Den_+ - денивелацията по време на изкачване (м);

Den_- - денивелацията по време на спускане (м);

V - средната скорост на тренировката (км/ч);

V_{HR} - скоростта на равно, която отговаря на средния СЧ по време на тренировката (км/ч);

V_{AnT} - скоростта на AnT (км/ч).

3. Резултати и анализ

3.1. Надеждност на индекса на бегова ефективност

Предварителния анализ на измерените стойности от тестовите и тренировъчните натоварвания показват наличие на нормално разпределение, съгласно приложените тестове на Shapiro-Wilk и Kolmogorov-Smirnov. Това ни дава основание да използваме T-test Student за една извадка и дисперсионен анализ (ANOVA).

Размерът на ефекта при тестване на хипотезата е изчислен чрез коефициента на Cohen's d за One sample t-test (табл. 20 и 21). Изчислява се, като разликата между средната стойност на данните и изследваната стойността, разделена на стандартното отклонение на данните. Интерпретацията на размера на ефекта задължително варира в зависимост от дисциплината и очакванията на експеримента, но насоките, предложени от Коен (1988), са: $(0,2 - < 0,5$ – Малък размер на ефекта; $0,5 - < 0,8$ – Среден размер на ефекта; $\geq 0,8$ – голям размер на ефекта).

В таблица 20 са представени резултатите от индивидуалния RI , изчислен за всяко стъпало на лабораторния тест до отказ и директно измерения показател скорост на ниво анаеробен праг (към която е приравнен RI). За да бъде оценена надеждността на предложения от нас индекс на бегова ефективност при изследваните състезатели, той е сравнен посредством T-test Student за една извадка с измерената скорост на ниво анаеробен праг посредством измерване на вентилаторни показатели и проследяване на лактата в кръвта по време

на натоварване. RI е изчислен на база функцията $V = f(HR)$ и $V_{gane/lost} = f(D\%)$, построени по данни от лабораторните тестове. Получените резултати показват, че няма съществена разлика между изследваните показатели при ниво на грешка $\alpha = 0,05$ ($Sig. > 0,005$) (табл. 20). Тези резултати показват, че методът чрез, които се изчислява индекса на бегова ефективност е надежден метод за отчитане на скоростта на ниво анаеробен праг през целия диапазона на тренировъчно- състезателните скорости. Което означава, че независимо от скоростта на бягане предложения от нас индекс е индикатор за нивото на тренираност на спортиста. Степента на точност на индекса при стандартни условия е предпоставка за отчитане и на други показатели, като ниво на оперативна или постоперативна умора по време на тренировъчния процес.

Таблица 20. Статистическа значимост на средната разлика в RI измерен от лабораторен тест и скоростта на ниво анаеробен праг

ЛАБОРАТОРЕН ТЕСТ							
Състезател №	N	\bar{X}_{RI}	\bar{S}_{RI}	Mean Difference	AnT_{VE}	Cohen's d	One-Sample T test Sig
1. М.С.	9	18.00	0.24	0.002	18	0.00	.98
2. М.С.	8	18.00	0.16	0.000	18	0.00	.99
3. Р.Л.	8	16.78	0.18	-0.013	16.8	0.11	.85
4. Д.М.	8	17.22	0.15	0.005	17.22	0.00	.93
5. Д.М.	11	17.57	0.23	0.018	17.56	0.04	.80
6. С.В.	9	19.19	0.23	0.000	19.2	0.04	.99
7. Я.Т.	6	16.81	0.16	0.015	16.8	0.06	.82
8. А.В.	8	18.00	0.15	0.001	18	0.00	.99
9. М.М.	7	15.71	0.46	-0.021	15.74	0.07	.91
10. Н.П.	9	16.79	0.15	-0.001	16.8	0.06	.98
11. Й.Н.	10	19.19	0.28	-0.001	19.2	0.04	.99
12. И.А.	7	18.00	0.15	0.000	18	0.00	.99
13. А.П.	6	15.60	0.09	0.004	15.6	0.00	.92
14. К.К.	7	18.00	0.07	0.000	18	0.00	.99
15. М.Ц.	10	19.56	0.28	-0.035	19.6	0.14	.70
16. М.Г.	7	14.81	0.06	0.016	14.8	0.17	.50
17. Р.Н.	8	14.36	0.15	-0.038	14.4	0.26	.50
18. К.П.	6	13.43	0.14	0.003	13.43	0.00	.95
19. А.В.	7	17.47	0.03	-0.025	17.5	1.15	.05
Средни стойност	7,947	17.08	0.18	-0.004	17.09	0.11	.84

Легенда:

N – брой изследвания на беговия индекс

\bar{X}_{RI} – средно аритметична стойност беговия индекс

\bar{S}_{RI} – стандартно отклонение бегови индекс

AnT_{VE} – вентилаторен анаеробен праг

В таблица 21 са представени резултатите от RI изчислен по данни от тренировъчните натоварвания проведени от състезателите за период от една седмица. RI е изчислен на база функцията $V = f(HR)$ и $V_{gane/lost}=f(D\%)$ построени по данни от теренните тестове. Резултатите за RI получени от тренировките са сравнени със стойностите на показателя скорост на ниво анаеробен праг измерен посредством теренен тест с измерване на лактата в кръвта. Посочените показатели са сравнени чрез T-test Student за една извадка. Получените резултати

показват, че няма съществена разлика между изследваните показатели за всички изследвани групи при ниво на грешка $\alpha = 0,05$ ($Sig.>0,005$) (таблица 21). Целта на анализа е да бъде валидиран предложението метод за измерване на индекс на бегова ефективност и при теренни условия, по време на реалния тренировъчен процес проведен от изследваните от нас спортист за период от една седмица. Получените резултати статистически потвърждават надеждността на метода и при теренни условия.

Таблица 21. Статистическа значимост на средната разлика в RI измерен по данни от тренировъчни натоварвания и скоростта на ниво анаеробен праг

ТЕПЕНЕН ТЕСТ							
Състезател N_2	N	\bar{X}_{RI}	\bar{S}_{RI}	Mean Difference	AnT_{LT}	Cohen's d	One- Sample T test Sig
1. М.С.	10	18.01	0.52	-0.191	18.2	0.37	.27
2. М.С.	24	18.61	0.50	0.014	18.6	0.03	.89
3. Р.Л.	10	17.43	0.60	-0.013	17.56	0.23	.49
4. Д.М.	8	17.17	0.25	-0.047	17.22	0.19	.61
5. Д.М.	16	17.10	0.41	0.293	17	0.25	.33
6. С.В.	16	19.44	0.41	0.165	19.5	0.14	.01
7. Я.Т.	12	16.53	0.36	-0.085	16.36	0.46	.14
8. А.В.	11	17.12	0.32	0.370	17.2	0.27	.40
9. М.М.	9	14.89	0.52	-0.140	14.52	0.72	.06
10. Н.П.	9	17.42	0.44	-0.162	17.56	0.32	.37
11. Й.Н.	14	19.04	0.46	-0.071	19.2	0.36	.21
12. И.А.	24	17.83	0.44	0.036	17.9	0.16	.44
13. А.П.	16	15.44	0.35	-0.214	15.4	0.10	.69
14. К.К.	20	18.19	0.48	-0.199	18.4	0.44	.06
15. М.Ц.	16	19.31	0.41	-0.013	19.5	0.49	.07
17. Р.Н.	12	14.99	0.35	-0.085	15	0.04	.89
19. А.В.	11	17.12	0.52	-0.191	17.2	0.16	.40
Средна стойност	14	17.39	0.43	-0.031	17.43	0.28	.37

Легенда:

N – брой изследвания на беговия индекс

\bar{X}_{RI} – средно аритметична стойност беговия индекс

\bar{S}_{RI} – стандартно отклонение бегови индекс

AnT_{LT} – лактатен анаеробен праг

За да бъде оценена ефективността на предложения от нас индекс на бегова ефективност са сравнени неговите стойности със стойностите получени от най-често използвания метод за изчисляване на бегови индекс базиран на отношението между СЧ и скорост на бягане. В таблица 22 са представени резултатите от индекса на бегова ефективност, изчислен по предложената методика (RI) и индекса, калкулиран по метода на съотношението $HR/V (RI_{HR/V})$. Разсейването на

стойностите около средната аритметична величина, изразено в проценти, дава информация за прецизността на метода. При сравняването на резултатите на съответните показатели (RI и $RI_{HR/V}$) е използван коефициент на вариация ($V\%$), който дава информация за разсейването на стойностите около средно аритметичната величина в проценти. Колкото коефициента на вариация е по-нисък толкова метода е по-точен.

Средната стойност на коефициента на вариация ($V\%$) за *индекса на бегова ефективност* е между $0,96\%$ и $1,4\%$ (при средна стойност 1%). При тестирането, посредством HR/V метода, вариацията е в границите от $3,6$ до 4% (при средна стойност $3,8\%$) (табл. 22). Получените стойности показват високата степен на прецизност на предложения метод, спрямо метода базиран на отношение между СЧ и скорост на бягане (HR/V). Видно е, че разсейването изчислено посредством коефициент на вариация при предложения от нас метод е $3,8$ пъти по малко в сравнение с метода на отношението СЧ и скорост на бягане, което показва по-висока прецизност на метода.

Таблица 22. Резултати от сравняване между разсейването на стойностите на RI изчислен по предложената в дисертационния труд методика и $RI_{HR/V}$ изчислен по на база отношението между СЧ и скорост на бягане измерени по време на лабораторния стъпаловиден тест до отказ

СРАВНИТЕЛНА ТАБЛИЦА $RI/RI_{HR/V}$

Състезател №	N	RI			$RI_{HR/V}$		
		\bar{X}_{RI}	\bar{S}_{RI}	V%	\bar{X}_{RI}	\bar{S}_{RI}	V%
1. М.С.	9	18,00	0,238	1,3	5,19	0,208	4,0
2. М.С.	8	18,00	0,161	0,9	5,24	0,168	3,2
3. Р.Л.	8	16,78	0,181	1,1	6,29	0,365	5,8
4. Д.М.	8	17,22	0,154	0,9	6,24	0,203	3,2
5. Д.М.	11	17,57	0,227	1,3	6,72	0,267	4,0
6. С.В.	9	19,20	0,229	1,2	4,83	0,272	5,6
7. Я.Т.	6	16,81	0,156	0,9	5,84	0,077	1,3
8. А.В.	8	18,00	0,150	0,8	5,16	0,083	1,6
9. М.М.	7	15,71	0,458	1,6	6,42	0,225	3,5
10. Н.П.	9	16,79	0,154	0,9	5,39	0,130	2,4
11. Й.Н.	10	19,19	0,277	1,4	5,18	0,111	2,1
12. И.А.	7	18,00	0,153	0,8	6,17	0,210	3,4
13. А.П.	6	15,60	0,086	0,6	6,74	0,172	2,5
14. К.К.	7	18,00	0,065	0,4	6,289	0,311	5,0
15. М.Ц.	10	19,56	0,278	1,4	5,48	0,229	4,2
16. М.Г.	7	14,81	0,058	0,4	6,53	0,371	5,7
17. Р.Н.	8	14,36	0,153	1,1	8,39	0,549	6,5
18. К.П.	6	13,43	0,136	1,0	8,752	0,558	6,4
19. А.В.	7	17,47	0,026	0,2	4,88	0,091	1,9
средни стойности	7,947	17,08	0,176	1,0	6,09	0,242	3,8

Легенда:

N – брой изследвания на беговия индекс

\bar{X}_{RI} – средно аритметична стойност беговия индекс

\bar{S}_{RI} – стандартно отклонение бегови индекс

AnT_{LT} – лактатен анаеробен праг

RI – бегови индекс изчислен по предложената в настоящата научна разработка методика

$RI_{HR/V}$ – бегови индекс базиран на отношението между пулс и скорост на бягане

За да бъде верифициран предложения от нас метод за отчитане на физиологичния отговор на организма по време на бягане срещу наклон е необходимо да се сравнят следните показатели: изменението на кислородната консумация и изменението на СЧ в лабораторни и теренни условия. В таблица 22 и 24 са представени резултатите от

загубата за скорост V_{lost} при преодоляване на +1% наклон измерена на база на изменението на кислородната консумация в зависимост от големината на наклона по време на първия лабораторен тест ($V_{lost\ 1\%V2max}$) и загубата на скоростта при преодоляване на 1% наклон измерена на база изменението на СЧ в зависимост от големината на наклона по време на първия лабораторен и теренен тест ($V_{lost1\%HRlab}$ и $V_{lost1\%HRter}$).

Получените резултати показват, че няма съществена разлика между $V_{lost\ 1\%V2max}$, $V_{lost\ 1\%HR}$ и $V_{lost1\%HRter}$ при ниво на грешка $\alpha = 0,05$ ($Sig. = 0,735 > 0,05$) (табл. 23). Това показва, че изменението на СЧ е надежден метод за измерване на изразходваната енергия при бягане срещу наклон, което пряко кореспондира с предложението от нас индекс.

Таблица 23. Резултати от дисперсионния анализ за сравнените групи на стойностите за $V_{lost1\%V2max}$, $V_{lost\ 1\%HR}$ и $V_{lost1\%HRter}$

ANOVA					
Загуба на скорост при 1% наклон					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,012	2	,006	,310	,735
Within Groups	1,049	54	,019		
Total	1,061	56			

За да бъде верифициран предложението от нас модел за отчитане на влиянието на наклона върху изменението на скоростта, е необходимо да бъдат сравнени следните показатели: индекс на бегова ефективност измерен при различен наклон на пътеката в лабораторни условия и скорост на ниво анаеробен праг.

Средните стойности на *индекса на бегова ефективност* са измерени, както следва:

Първи лабораторен тест - второ стъпало при наклон на пътеката 3% (RI_{2stage}) и трето стъпало при наклон 6% (RI_{3stage});

Втори лабораторен тест - стойността на скоростта на вентилаторния AnT ($AnTV$), на база на която са приравнени измерените индекси на бегова ефективност.

В *таблица 26* са представени резултатите от дисперсионния анализ на показателите RI_{2stage} , RI_{3stage} и $AnTV$. Получените резултати показват, че няма съществена разлика между сравняваните показатели при ниво на грешка $\alpha = 0,05$ ($Sig. = 0,922 > 0,05$) (*табл. 26*). Това е предпоставка за твърдението, че използваната от нас методика е надежден метод за отчитане на изменението на скоростта на бягане в зависимост от наклона.

Таблица 26. Резултати от дисперсионния анализ за сравнените групи на стойностите на показателите RI_{2stage} , RI_{3stage} и $AnTV$

ANOVA					
RI_{2stage} , RI_{3stage} и $AnTV$					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0,578	2	0,289	0,081	0,922
Within Groups	193,103	54	3,576		
Total	193,681	56			

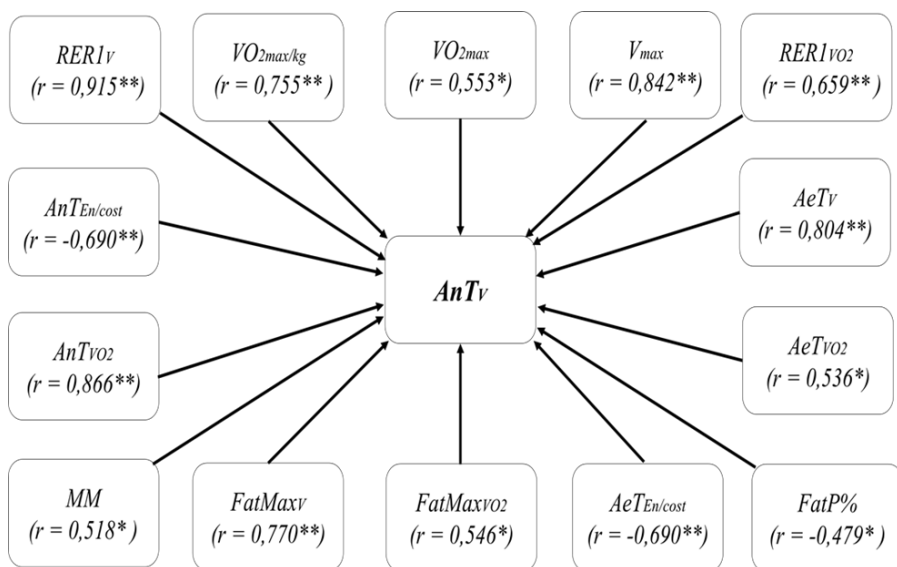
3.2. Изследване зависимостите между морфологичните, функционални показатели и скоростта на ниво анаеробен праг

Целта на анализа е да се определят взаимовръзката между функционалните и морфологични показатели на изследваните лица и

скоростта на ниво анаеробен праг. Данните от проведения анализ могат да бъдат използвани за изготвяне на нормативни таблици.

От извършения корелационен анализ се установи, че показателя скоростта на ниво анаеробен праг (AnT_V), към който е приведен индекса на бегова ефективност предложен в настоящия дисертационен труд, корелира статистически значимо със следните показатели (фиг. 43): относителна максимална кислородна консумация - $VO_{2max/kg}$ ($r = ,755^{**}$), абсолютна максимална кислородна консумация - VO_{2max} ($r = ,553^*$), максимална скорост достигната по време на стъпаловидния функционален тест до отказ - V_{max} ($r = ,842^{**}$), скорост при достигане на ниво аеробен праг - AeT_V ($r_s = ,804^{**}$), кислородна консумация на ниво аеробен праг - AeT_{VO_2} ($r_s = ,536^*$), относителна изразходвана енергия за пробягване на един километър на ниво аеробен праг $AeT_{En/cost/km}$ ($r_s = -,737^{**}$), кислородна консумация на ниво максимално мастно окисление - $FatMax_{VO_2}$ ($r_s = ,546^*$), скорост на ниво максимално мастно окисление - $FatMax_V$ ($r_s = ,770^{**}$), кислородна консумация на ниво анаеробен праг - AnT_{VO_2} ($r_s = ,866^{**}$), относителна изразходвана енергия за пробягване на един километър на ниво анаеробен праг - $AnT_{En/cost/km}$ ($r_s = -,690^{**}$), скорост на ниво респираторен квотиент равен на единица - RER_I_V ($r_s = ,915^{**}$), кислородна консумация при кислороден квотиент равен на единица - $RER_I_{VO_2}$ ($r_s = ,659^{**}$), процентно съдържание на мазнини в тялото - $FatP\%$ ($r_s = -,479^*$), процентно съдържание на мускулна маса - $MM\%$ ($r_s = ,518^*$). Наблюдаваните взаимовръзки са между RI и всички показатели, които индикират работоспособността и икономичността по време на бягане с

интензивност, характерна за основните физиологични прагови зони (FatMax, AeT, AnT и RER=1). Резултатите от извършения анализ подкрепят твърдението, че беговият индекс отчита промените в нивото на работоспособност (тренираност) в целия спектър на интензивността по време на натоварване.



Фиг. 43. Статистически значими корелационни зависимости между функционални и морфологични показатели и скоростта на ниво анаеробен праг представен чрез индекса на бегова ефективност изразен като скорост при ниво анаеробен праг

Изводи и препоръки.

Изводи

1. Индексът на бегова ефективност е надежден метод за определяне скоростта на ниво анаеробен праг. Това е потвърдено от абсолютните (малка систематична грешка, липса на достоверни разлики) относителните (много високи коефициенти на вътрешнокласова корелация) статистически показатели за надеждност.
2. Индексът е и с високо ниво валидност по отношение на работоспособността в бяганията на дълги разстояние. По-конкретно той носи най-много информация за равнището на показателите за икономичност и за аеробна мощ.
3. Индексът има числово изражение, приравнено към конкретна физиологична или състезателна скорост, което улеснява проследяването и интерпретацията на получените данни.
4. Изменението на СЧ е надежден метод за измерване на изразходваната енергия при бягане срещу наклон при еднакъв физиологичен отговор на организма, което пряко кореспондира с предложения от нас индекс.
5. Използваната от нас методика е надежден метод за отчитане на изменението на скоростта на бягане в зависимост от наклона при едно и също функционално натоварване. Благодарение на изведените уравнения, описващи зависимостта между наклон, скорост, СЧ и енергоразход, може да се изчисли индекс, който

адекватно да отчита работоспособността и икономичността без да се влошават или съответно подобряват неговите стойност заради измененията в скоростта или наклона.

6. Резултатите от настоящото изследване показват, че представения метод за изчисление на бегови индекс е по-прецизен от метода на отношението СЧ/скорост.
7. Проследяването на динамичното изменение на стойностите на индекса на бегова ефективност по време на бягане може да има практическо приложение за оценка нивото на оперативна и постоперативна умора, величина на натоварване и достигната фаза на суперкомпенсация.

Препоръки

1. Стойностите на индекса на бегова ефективност да бъдат изчислени по зони на натоварване. Това може да послужат, като индикатор за специфична тренираност, ниво на постоперативна и оперативна умора в съответните зони на натоварване.
2. Прилагането на индекса да бъде при еднакви тренировъчни условия с цел подобряване на неговата надеждност.
3. Нивото на тренираност да бъде проследявано посредством предложения от нас индекс за продължителен период от време.

Научни приноси

1. Изведени са основните функционални и морфологични показатели, оказващи съществено влияние върху скоростта на ниво анаеробен

праг при изследваните бегачи на дълги разстояния – научно-приложен принос.

2. Разработен е математически модел на индекс на бегова ефективност за контрол и оценка на специфичната работоспособност в бяганията на дълги разстояния – научен принос.
3. Разработеният модел е апробиран при деветнадесет елитни бегачи на дълги разстояния, като е установена неговата валидност – приложен принос.

Публикации свързани с темата на дисертационния труд:

1. Мицов, Д., (2020). Специфики на енергетичното обезпечаване в дългите бягания на леката атлетика; *Лека атлетика & наука* бр. 1(20), ст. 40-48; ISSN 2603-4263, София.
2. Мицов, Д., (2021). Биологични фактори на спортното постижение при бяганията на дълги разстояния в леката атлетика; *Лека атлетика & наука* бр. 1(21), ст. 36-46; ISSN 2603-4263, София.