

НАЦИОНАЛНА СПОРТНА АКАДЕМИЯ

„ВАСИЛ ЛЕВСКИ“

КАТЕДРА „ТЕОРИЯ НА СПОРТА“



АВТОРЕФЕРАТ

БОРИСЛАВА КОСТАДИНОВА ПЕТРОВА

**ВЛИЯНИЕ НА ТРЕНИРОВЪЧНИЯ ПРОЦЕС ВЪРХУ
ВЗАИМООТНОШЕНИЯТА НА
ЕНЕРГООСИГУРЯВАЩИТЕ СИСТЕМИ ПРИ
ФУНКЦИОНАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ**

София 2019

НАЦИОНАЛНА СПОРТНА АКАДЕМИЯ

„ВАСИЛ ЛЕВСКИ“

КАТЕДРА „ТЕОРИЯ НА СПОРТА“

АВТОРЕФЕРАТ

БОРИСЛАВА КОСТАДИНОВА ПЕТРОВА

**ВЛИЯНИЕ НА ТРЕНИРОВЪЧНИЯ ПРОЦЕС ВЪРХУ
ВЗАИМООТНОШЕНИЯТА НА
ЕНЕРГООСИГУРЯВАЩИТЕ СИСТЕМИ ПРИ
ФУНКЦИОНАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ**

Дисертационен труд за присъждане на
образователна и научна степен „Доктор“
по научна специалност
„Теория и методика на спортната тренировка“
Професионално направление 7.6. Спорт

**Научен ръководител:
проф. Даниела Дашева, ДН**

**Официални рецензенти:
Проф. Вихрен Бачев, ДН
Проф. Невена Пенчева, др**

София 2019

Дисертационният труд е обсъден на научен колегиум и предложен за официална защита от катедра „Теория на спорта“ в Националната Спортна Академия „Васил Левски“, на заседание проведено на 14 февруари 2019 г.

Дисертационният труд съдържа 118 стандартни страници, онагледени от 19 таблици и 17 фигури. Библиографията включва 188 литературни източника.

Публичната защита на дисертационния труд ще се проведе на 17 април 2019 г. от 14:00 часа в зала А3 на Националната Спортна Академия “Васил Левски”, Студентски град, София, на заседание на научно жури. Материалите по защитата на дисертационния труд са достъпни в библиотеката на НСА “Васил Левски”.

Използвани съкращения в дисертационния труд:

VO_2 – обем консумиран кислород

$\text{VO}_{2\text{max}}$ – максимална кислородна консумация

WAnT - Wingate Anaerobic Test

PP - пикова мощност

AP - средната мощност

PD - спад на мощността

BMR - Basal Metabolic Rate – основна обмяна

RMR – Resting Metabolic Rate – обмяна в покой

BMI – Индекс на телесна маса

HR – Сърдечна честота

HR_{max} – Максимална сърдечна честота

УВОД

Влиянието на тренировъчния процес върху спортните постижения е една от основните теми, обект на изследване от теорията и практиката на спорта. Разбираемо е, че вниманието на изследователите се концентрира и върху методите за оценка на това влияние.

Проследяват се промените в спортно-техническите показатели, а също така и във функционалните показатели чрез изпълнение от страна на спортистите на различни теренни и лабораторни тестове. Търси се връзката между едните и другите.

От лабораторните функционални тестове, без съмнение най-широко приложение имат стъпаловидните тестове до отказ за директно определяне и оценка на аеробния капацитет на състезателите, изпълнявани в различни схеми и форми на натоварване.

За разлика от аеробните, възможностите на анаеробните енергийни системи не могат да се определят директно, а за целта се използват различни косвени методи. В това отношение разработеният през 70-те години Wingate Anaerobic test (WAnT) е безспорно един от най-известните тестове за измерване на анаеробната мощност и капацитет. Той се използва най-общо за определяне на анаеробното енергийно осигуряване на работната мощност при супрамаксимално натоварване, но познанията ни за метаболитния профил на WAnT са твърде ограничени (Beneke et al., 2002). Данните за постигнатите ергометрични показатели не винаги отразяват спортните резултати. С оглед на това при провеждането на рутинния анаеробен Wingate тест във функционалната лаборатория на ЦНПДС на НСА направихме опит да обогатим получаваната от него информация, като регистрираме по време на теста и показатели

на дишането. Смятаме, че по този начин ще получим ценна информация за съотношението между ангажираността на анаеробните и аеробните енергоосигуряващите системи при изпълнение на краткотрайни, високоинтензивни физически усилия, както и за възможните промени в това съотношение под влияние на тренировъчните въздействия.

Литературният обзор на дисертационния труд разглежда:

- Механизмите на енергийно осигуряване на жизнените функции на човешкия организъм, в частност на спортиста. Видове енергосигуряващи системи и фактори, които определят тяхната активност при извършване на физическа работа (Katch, McArdle, 1993; Kenny et al., 2015; Beker et al., 2010).
- Контрол на тренировъчния процес. Основни форми на контрол и видове тестове за оценка на функционалното състояние на спортиста (Желязков, Дашева, 2002; Бачев, 2011; Брогли, 2012; Михайлов, Андонов, 2013).
- Физиологична характеристика на супрамаксималните натоварвания, енергийно осигуряване (Maughan et al., 1997; Medbø, Tabata, 1993; Стефанова, 2002).
- Характеристика на 30-секундния Wingate Anaerobic Test (WAnT). Показатели за оценка на ефективността при изпълнение на WAnT (Inbar et al., 1996; Brooks et al., 2005; McArdel et al., 2007).
- Енергоосигуряване и максимален акумулиран кислороден дефицит при изпълнение на WAnT. Взаимоотношения между анаеробните и аеробни енергоосигуряващи системи (Gastin, 2001; Bangsbo et al., 1990; Withers et al., 1991).

Работна хипотеза

Предполагаме, че тренировъчният процес води до промени във взаимоотношенията между аеробното и анаеробно енергоосигуряване при изпълнение на WAnT, разкриването на които ефективизира контрола и факторите на спортното постижение и подбора и селекцията в спорта.

ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Целта на дисертационния труд е да се усъвършенства система за контрол на факторите на спортното постижение, чрез нов метод, който да илюстрира относителния дял на анаеробното и аеробното енергоосигуряване при изпълнение на WAnT.

Задачи:

- Да се проучат съществуващите методи за изследване на анаеробното енергоосигуряване при изпълнение на WAnT.
- Да се разработи методика на паралелна регистрация на ергометричните показатели на WAnT с такава на консумацията на кислород (VO_2).
- Да се уточни методът за превръщане на извършената механична работа (във ватове) в нейния енергиен еквивалент.
- Да се подберат физиологичните показатели, които отразяват функционалните взаимоотношения между участващите при изпълнение на WAnT енергийни системи.
- Да се провери ефективността на предлагания нов метод за физиологичен анализ на WAnT чрез апробирането му със спортисти, практикуващи баскетбол и футбол .

Предмет на изследването

Проверка на ефективността на предлагания нов метод за оценка на относителния дял на анаеробното и аеробното енергоосигуряване при изпълнение на WAnT в резултат на целенасочен тренировъчен процес.

Обект на изследването

Установените стойности за относителното участие на аеробната и анаеробна енергийни системи при изпълнение на отделно динамично високоинтензивно натоварване.

Изследвани лица

В изследванията взеха участие две групи – общо 54 спортисти от мъжки пол, 29 от тях юноши, състезатели по футбол (Футболен Клуб „Левски“) и 25 юноши, състезатели по баскетбол (Баскетболен клуб „Спортни таланти“).

Организация на изследването

Всички изследвания бяха проведени във функционалната лаборатория при ЦНПДС на НСА „В. Левски“.

След като беше подробно обяснена целта и процедурата на провеждане на изследванията, от всички участници в експеримента беше получено информирано съгласие за участие в него, подписано и от един от родителите

Времето за провеждане на тестовете беше съобразено с учебното разписание на спортистите и те се изпълняваха от 9 до 12 часа преди обед и от 14 до 17 часа след обед.

В първата група изследвания участваха 29 футболисти на възраст 13-14 години. Изследванията се проведоха двукратно: през

месец февруари 2016 г (начало на подготвителен период на подготовка) и през юли 2016 г (начало на състезателния период). И в двете изследвания се започваше с изпълнение на максимален тест до отказ за определяне на $\dot{V}O_2$ max. Два дни по-късно се изпълняваше велоергометричният анаеробен Wingate test. Проведени бяха общо 39 максимални теста и 44 WAnT.

По същата схема бяха проведени изследванията и с 25 състезатели по баскетбол (16-17 годишни) – съответно в края на състезателния период на подготовка (месец май 2017 г) и в края на подготвителния период (септември 2017 г). Общият брой на максималните тестове беше 34, а на WAnT – 42.

Както показва практиката при изследване на голяма група хора и в нашия случай имаше спортисти, които не се явиха на всяко от предвидените две изследвания, а също така по данни на треньорите не са участвали пълноценно в тренировъчния процес. Поради това в сравнителния анализ на резултатите от въздействието на тренировъчната програма (между двата теста) включихме само тези от участниците, които изпълниха пълния набор от тестове и тренировъчната програма.

12 състезатели по футбол и 17 по баскетбол изпълниха всички необходими условия за прилагане на пълноценен контрол на въздействието на тренировъчния процес: нямат отсъствие от тренировки, провели са двукратно пълния набор от изследвания.

МЕТОДИ НА ИЗСЛЕДВАНЕ

1. *Антропометрични измервания*

Преди изпълнение на тестовете на всеки участник бяха измервани: ръст в cm (с ръстомер SEKA-225), телесна маса в kg и

индекс на телесната маса с анализатор на телесния състав (TANITA-BC-418-MA).

2. *Определяне на максимален аеробен капацитет*

Футболистите, които бяха в предпубертетна възраст, изпълниха специализиран спироергометричен тест на третбан за подрастващи по В. Valke с постоянна скорост от 8,4 km/h, продължителност на всяко стъпало 30 s, начален наклон 0% и увеличение на наклона на всяко стъпало с 0,6%.

Баскетболистите бяха подложени на специализиран максимален спироергометричен тест до отказ по протокол на И. Илиев (времетраене на стъпалото 1:30 s, начална скорост 6 km/h, ускоряване на бягащата пътека на всяко стъпало с 1.2 km/h, с постоянен наклон от 2,5 °).

Състезателите бягаха на третбан H/P/CosmosGermany. Спироергометричните показатели и резултатите от газовия анализ са регистрирани в реално време (breath-by-breath) с портативен газанализатор META-MAX 3B. С оглед достигане на максимални стойности на индивидуалния аеробен капацитет по време на теста състезателите бяха стимулирани вербално.

Максималните тестове се съпътстваха от електрокардиографски контрол – ЕКГ се регистрираше преди, по време и до шеста минута след натоварването с апарат AT- 102 SHILLER.

3. *30-секунден Wingate Anaerobic Test (WAnT)*

30-секундният WAnT се изпълняваше на механичен велоергометър Monark, 894 E, Stockholm, Sweden, по протокола, описан от Inbar et al. (1996). Тестът започва със стандартно 5-минутно разгриване – педалиране с честота 60 оборота/min срещу съпротивление от 60 W, включващо 2 спринта с продължителност 3

сес, изпълнени в края на 3-а и 5-а min. Седалката и ръкохватките на велоергометъра се нагласяваха индивидуално за всеки изследван, за да се осигури комфорт при извършването на физическото усилие. Кракът на изследвания по време на въртене на педалите трябва да бъде почти изпънат в долно крайно положение. 5 минути след края на разгръването изследваното лице, (то е изпълнявало пробно теста), набира за 3-5 s максимален брой обороти и инерция, с които посреща активирането на определеното за него съпротивление, срещу което педалира в продължение на 30 секунди. Съпротивлението, прилагано при нашия контингент спортисти беше 7.5% от телесната им маса. Заданието е да се реализира възможно най-голям брой обороти за 30s. Осъществявана беше вербална обратна връзка, като на изпълняващия теста се съобщаваше за оставащото време на работа на 15-а, 10-а и 5-а секунда от теста, стимулирайки го да поддържа висока честота на въртене на педалите. След края на физическото усилие следва няколко минути разпускане.

Софтуерът на апаратурата регистрира автоматично постигнатата мощност във W за всяка секунда от теста. Обобщено той отчита постигнатата пикова мощност (PP), средната мощност за времето на теста (AP), спад на мощността (PD) и индекс на умората (PD%).

4. Нов метод за определяне на участието на анаеробното и аеробно енергоосигуряване при изпълнение на WAnT

С оглед на оценката на участието на отделните енергийни системи при изпълнението на WAnT приложихме паралелна регистрация на ергометричните постижения (чрез софтуера за WAnT) на изпълняващия теста с консумирания от него кислород (VO_2), отново автоматично регистриран посредством портативен газанализатор META-MAX 3B-R2.

По-долу прилагаме примерен протокол от измерванията в хода на 30-секундния WAnT на един от младите футболисти (Фигура 1).

Тъй като регистрираните от апаратурата стойности за VO_2 са за $\text{ml O}_2/\text{min}$, то те се разделят на 60 за да се получи кислородната консумация за 1 s, което е необходимо за целите на сравняемост с другите резултати. Данните, регистрирани от използваната апаратура са представени в колоните в жълто на Таблица 1.

Таблица 1. Примерен протокол за провеждане на теста и изчисляване на допълнителни физиологични показатели

години	ръст (cm)	тегло (kg)	PP (W)	PP/kg (W)	PD (%)	VO2max (ml/min)
14	166	47	664,94	14	45,8	2427
	sec	W	VO2 ml/min	O2 ml/sec	O2 заW	разлика
	1	594,8	1063	17,7	37,1	-19,4
	2	629,3	1153	19,2	38,8	-19,6
	3	631,6	1153	19,2	38,9	-19,7
	4	645,4	1290	21,5	39,6	-18,0
	5	607,2	1096	18,3	37,7	-19,5
	6	628,5	1096	18,3	38,7	-20,5
	7	609,9	1274	21,2	37,9	-16,6
	8	529,5	1136	18,9	37,0	-18,1
	9	560,6	1136	18,9	35,5	-16,6
	10	583,9	1284	21,4	36,6	-15,2
	11	540,9	1284	21,4	34,6	-13,2
	12	555,7	1126	18,8	35,3	-16,5
	13	529,3	1791	29,9	34,0	-4,1
	14	522,8	1839	30,7	33,7	-3,0
	15	508,6	1839	30,7	33,0	-2,4
	16	518	1729	28,8	33,5	-4,6
	17	478,4	2000	33,3	31,6	1,8
	18	484,7	2045	34,1	31,9	2,2
	19	458,1	2045	34,1	30,6	3,5
	20	433,7	2155	35,9	29,4	6,5
	21	441,7	2295	38,2	29,8	8,4
	22	429,3	2162	36,0	29,2	6,8
	23	426,3	2162	36,0	29,1	7,0
	24	396	2261	37,7	27,6	10,1
	25	398,1	2648	44,1	27,7	16,4
	26	384	2313	38,6	27,1	11,5
	27	375,2	2129	35,5	26,6	8,9
	28	379,8	2129	35,5	26,9	8,6
	29	371,4	2256	37,6	26,5	11,1
	30	364,4	2543	42,4	26,1	16,3
		15080,1		873,9	981,8	
W (30 s)						15080,1
VO2 консумация (ml 30 s)						873,9
VO2 дефицит (ml 30 s)						226,9
VO2 ексцес (ml 30 s)						119
O2 дефицит/O2 излишък (%)						190,7
W изработени анаеробно						4746,9
Общи O2-нужди (за W+BMR) (ml O2)						981,8
Секунди анаеробна работа						16
V % към W (30 s)						31,48

Измерването на кислородната консумация в хода на теста е основа за изчислението на неговата степен на аеробност.

Основният проблем се състои в оценката на кислородните нужди на организма в хода на теста. Те се състоят от:

- Кислородни нужди, за аеробното протичане на натоварването и са свързани с превръщане на измерената извършена работа (във ватове) в нейния кислороден еквивалент;

Кислородни нужди, необходими за поддържане на жизнените функции на организма – за нормалното функциониране на неговите органи. В покой най-често се използва т.н. Basal Metabolic Rate (BMR), и близкото понятие resting metabolic rate (RMR), - това е дневното количество енергия (в килокалории), изразходвани в покой. Обаче изследваният индивид започва теста в състояние, напълно различно от това в покой.

Кислородните нужди за поддържане на функциите на организма при изпълнение на теста считаме, че трябва да се приемат индивидуално за всеки участник и да отговарят на VO_2 при набирането на скорост без съпротивление в началото на теста, преди да се включи съпротивлението на педалиране. В примера, който сме представили той отговаря на 8,7 ml O_2 /s.

Превръщането на изработените ватове в техният кислороден еквивалент се извършва с използване на общоприетите числени стойности:

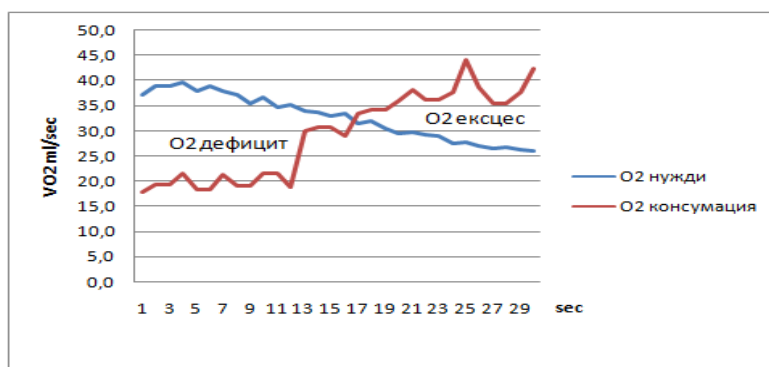
$$1\text{W} = 0,239 \text{ cal/sec}; 1\text{cal} = 0,20 \text{ ml O}_2 \text{ или}$$

$$1\text{cal} = 5 \text{ ml O}_2 (\text{при физическо натоварване})$$

$$1\text{W} = 0,239 \text{ cal/5} \text{ или } \boxed{1\text{W} = 0,0478 \text{ ml O}_2}$$

Така в представения пример, нуждите от кислород за извършване на първата секунда от теста (O_2 за W) се равняват на $((594,8 \text{ W} * 0,239)/5) + 8,7 = 37,1 \text{ ml O}_2$ (5-а колона от Фигура 1).

По този начин, в хода на 30-секундния Wingate test получаваме две колони (4 и 5) от по 30 стойности: едната представлява изменението на изчислените по нашия метод индивидуални кислородни нужди в хода на натоварването, а втората – динамиката в стойностите на реално поетия кислород (кислородната консумация). Движението на стойностите в двете колони може да бъде онагледено добре (Фигура 1).



Фигура. 1 Динамика на промените в O_2 -нужди и O_2 -консумацията при изпълнение на *WAnT*

Разликата между O_2 -нужди и O_2 -консумация е представена в последната колона на таблицата. Стойностите с отрицателен знак показват степента на кислородния недостиг, а тези с положителен знак – величината на кислородния ексцес. Ясно се вижда моментът, в който консумацията на кислород надвишава кислородните нужди, т.е. започва процес на изплащане на натрупания в началото на теста O_2 дефицит. В дадения пример това е седемнадесетата секунда.

От данните в примерния протокол могат да бъдат изведени следните нови показатели за участието на енергийните системи в изпълнението на 30-секундния *WAnT*:

- $W_{30\text{ s}}$ (сумата от W за всяка секунда от теста)
- O_2 консумация 30 s (сумата от $O_2\text{ml/s}$)

- O_2 дефицит 30 s (сумата от отрицателните разлики)
- O_2 ексцес 30 s (сумата от положителните разлики)
- Отношение O_2 дефицит/ O_2 ексцес в %
- W изработени анаеробно (O_2 дефицит*5/0,239)
- В % към общите W ($W_{\text{анаеробни}}/\text{сума } W$)*100
- Секунди с анаеробна част

Математико-статистическа обработка

Резултатите са представени в средни стойности – Average \pm SD. При обработката на експерименталните данни е прилаган Ci^2 тест и t-критерият на Student. Използвана е и техника на алометрично скалиране, както и методът на персентилите. Статистическа достоверност се приема при $P(t) < 0,95$. Изчисленията са правени с компютърна програма Excel 2010.

Метод на алометрично скалиране

Приложен беше и методът на алометрично скалиране на ергометричните показатели, отчитани при изпълнение на WAnT. Силно зависимите от телесната маса на спортиста динамично - силови качества, освен в абсолютните им стойности, в практиката най-често се представят в относителни стойности – приведени към килограм тегло. Този метод на пропорционално скалиране на силовите показатели е обект на силни критики. Нормализацията на данните за силовите показатели към телесната маса при сравнителни изследвания се препоръчва да става чрез алометрично скалиране.

Изработихме алометрични експоненти за скалиране на ергометричните показатели на WAnT, чрез които ефективно да се контролира влиянието на телесното тегло върху тях и на тази база

изготвихме нормативи за оценката на тези показатели (Petrova, 2018). Това би дало възможност на треньорите да анализират в детайли възможностите на състезателите си и въздействието на тренировъчния процес върху тях.

РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ

Футболът и баскетболът са спортове, които изискват от средна до висока интензивност на работа, която ангажира както аеробната, така и анаеробната енергоосигоряващи системи и се класифицират като спортове със смесено енергосигуряване. В състезателни условия интензивността на натоварването варира от ходене до спринтиране. За бързото възстановяване между прекъсванията с висока интензивност играчите трябва да притежават над средния аеробен капацитет.

Футболът и баскетболът също така изискват значителен анаеробен капацитет, който съчетава сила, скорост и мощност. Необходима е взривна сила за скокове, завъртания, спринтиране. Това определя и целта на спортната подготовка – формирането на скоростно-силова издръжливост и ефективна регулация на движенията върху по-широка аеробна основа.

На Таблица 2 представяме данните за изследваните от нас спортисти по отношение на физическото им развитие и функционалната им годност.

Изследваните от нас юноши, трениращи футбол и баскетбол се вменят в съобщаваните в литературата стойности за максимален аеробен капацитет. По отношение на оценката на анаеробния им капацитет наличните сведения са твърде оскъдни.

Таблица2. Средни стойности на антропометрични данни и резултати от максимален тест до отказ на изследвани 29 футболисти и 25 баскетболисти

Спорт	Възраст (години)	Ръст (cm)	Телесна маса (kg)	BMI	VO ₂ max/kg ml/min	HR max
Футбол	14,4 ± 0,9	164,0 ± 9,5	51,8 ± 8,7	18,8 ± 1,9	57,2 ± 7,5	193,7 ± 7,2
Баскетбол	16,4 ± 1,1	184,7 ± 5,9	77,3 ± 9,6	22,6 ± 2,2	58,6 ± 4,5	193,0 ± 7,1

BMI – индекс на телесната маса; HRmax – максимална сърдечна честота;

На Таблица 3 са представени средни стойности на ергометричните показатели от всички изпълнени WAnT:

Таблица 3. Средни стойности на ергометрични показатели от изпълнени 44 WAnT от футболистите и 42 WAnT от баскетболистите

Показател	Пикова мощност PP (W)	Пикова мощност PP(W/kg)	Средна мощност (анаеробен капацитет)AP(W)	Средна мощност (анаеробен капацитет) AP(W/kg)	Спад на мощността в % (Индекс на умората) PD(%)
Футболисти					
Average	788,1	15,9	582,5	11,3	54,5
SD	142,9	2,7	105,8	1,5	13,7
Баскетболисти					
Average	1000,6	13,0	789,0	10,3	44,3
SD	160,4	1,4	106,4	0,9	12,6

Очаквано, абсолютните стойности за пиковата мощност, показана от баскетболистите, е по-висока от тази на футболистите. Това е резултат от по-високата телесна маса и по-високата с две години възраст на баскетболистите. По същата причина те имат достоверно по-ниска относителна пикова и средна мощност. Както футболистите, така и баскетболистите попадат в една и съща група по отношение на оценката на анаеробните им възможности според приложената в софтуера оценителна таблица.

Таблица 4 илюстрира получените средните стойности на физиологичните показатели при изпълнението на същите 30-секундни тестове:

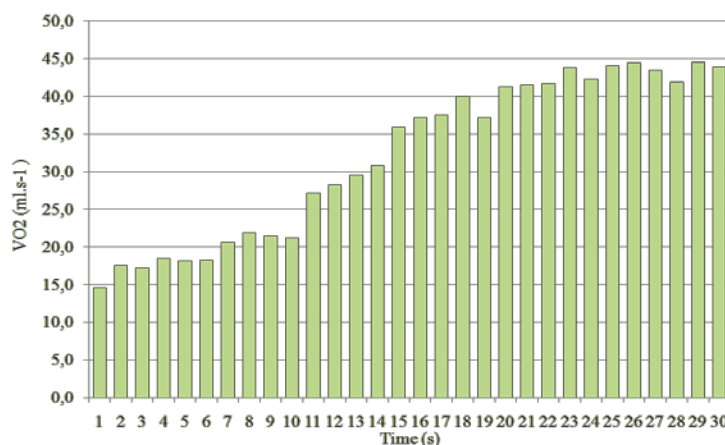
Таблица 4. Средни стойности на физиологичните показатели от изпълнени 44 WAnT от футболистите и 42 WAnT от баскетболистите

Показател	W (30s)	VO ₂ консумация (ml 30 s)	VO ₂ дефицит (ml 30 s)	VO ₂ ексцес (ml 30s)	W изработени анаеробно	% към W (30s)	Анаеробна работа (s)
Футболисти							
Average	17288,6	921,0	345,7	114,1	7239,6	41,5	19,0
SD	2988,0	160,0	119,7	70,9	2548,4	9,5	4,0
Баскетболисти							
Average	23230,3	1314,6	469,3	135,4	9818,4	42,1	19,9
SD	3109,4	196,7	144,9	108,7	3031,3	11,8	4,6

Впечатление прави най-напред високият обем на консумирания O₂ за периода от 30 секунди – 1117,8± 270,2 ml. Ангажираността на дишането по време на изпълнение на WAnT е илюстрирана на Фигура 2.

Вижда се, че дишането е активирано още от първата секунда на работата, и остава на едно ниво до към 6-10 секунда, след което нараства и след 20-а секунда на теста доближава до 90% от VO₂max.

За голямото значение на дишането при този тип натоварване говори и наличието на висока корелация между пиковата мощност (PP) и средната мощност (AP) с кислородната консумацията. Корелационните коефициенти са съответно $r = 0,700$ и $r = 0,781$.



Фигура 2. O_2 -консумация (ml/s) при изпълнение на 30-секунден *WAnT*

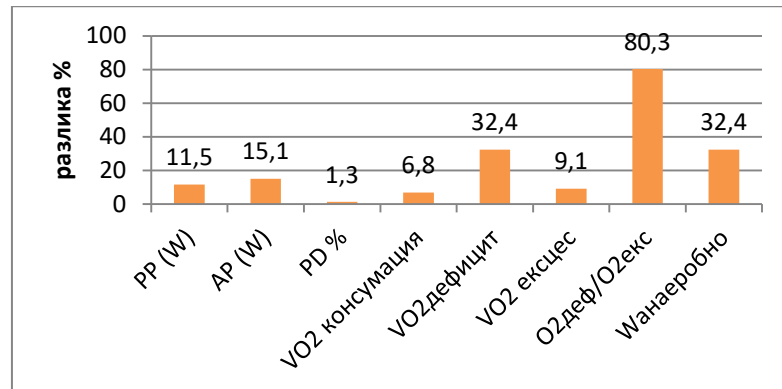
Обемът на кислородния дефицит надвишава с 45% обема на кислородния ексцес. Само 36,1% от реализираната мощност за тридесетте секунди супрамаксимално усилие е осигурена от анаеробния метаболизъм.

Влияние на спортната тренировка върху ергометричните показатели и взаимоотношенията между енергоосигуряващите системи при изпълнение на *WAnT*

Група от 12 футболисти беше тествана 2 пъти – през подготвителния период на подготовка (Тест I) и след 5-месечен период на специализирана тренировъчна програма за скоростна издръжливост (П. Пеев, 2017), (Тест II) – в началото на състезателния период на подготовка. Процентните разлики в постигнатите ергометрични и физиологични показатели между двете изследвания са представени на Фигура 3.

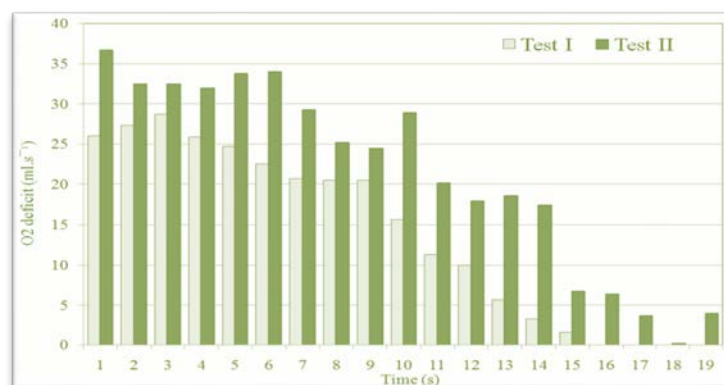
Подобриенето на ергометричните показатели (пикова мощност и средна мощност) са достоверни, но твърде ниски; индексът на умората остава непроменен. За разлика от тях, участието на

анаеробния метаболизъм бележи силен ръст в Тест 2 (32,4% по-голям O_2 -дефицит и 80.3% повишение на съотношението дефицит и ексцес на кислорода). Подобряването на ергометричните резултати се осъществява с по-малко ангажиране на аеробиката.



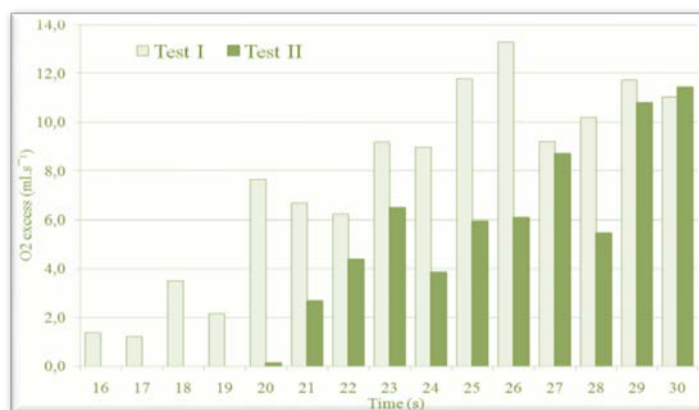
Фигура 3. Процентна разлика в стойностите на изследваните показатели при изпълнение на WAnTв двете тестувания

Тест 2 е протекъл със съществено по-голямо участие на анаеробната система, продължаващо до самия край на натоварването (Фигура 4).



Фигура 4. Разлики между O_2 -дефицит преди (Тест I) и след (Тест 2) изпълнена от юноши футболисти специализирана тренировъчна програма за развитие на скоростна издръжливост

Изплащането на O_2 -дефицит започва по-късно и е с по-малък обем (Фигура 5):



Фигура 5. Изплащане на O_2 -дефицит чрез O_2 -ексцес преди (Тест I) и след изпълнение на специализирана тренировъчна програма за скоростна издръжливост (Тест II) .

Подобно на резултатите при футболистите и при баскетболистите отчитаме най-видима тренировъчна промяна в повишение на процентното отношение между кислородния дефицит и кислородния излишък в полза на дефицита. Потвърждава се фактът, че този показател е най-чувствителен към промените във взаимоотношенията между участващите в енергоосигуряването метаболитни системи.

Получените експериментални данни показват, че предлаганият метод за разширен физиологичен анализ на резултатите от изпълнение на WAnT очертават взаимоотношенията между системите, участващи в енергийното осигуряване на работата на спортиста при изпълнение на анаеробния тест и отразяват промените, настъпващи в тях, свързани с тренировъчните въздействия.

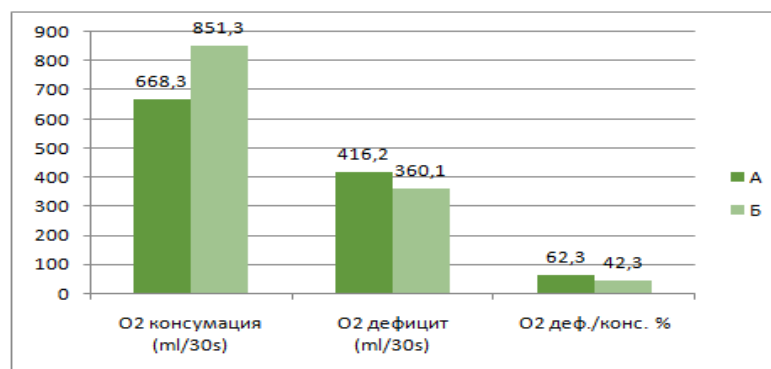
Внимание заслужават и възможностите, които методът предоставя за селекция и спортна насоченост при формиране на групи за начално обучение и тренировка:

От групата на футболистите, бяха избрани двама, с много близки антропометрични данни и ергометрични показатели от изпълнението на WAnT (Таблица 5 и Фигура 6).

Таблица 5. Антропометрични показатели, ергометрични резултати и физиологични показатели на двама футболисти

Лице	А	Б	Разлика %
Възраст (години)	12	12	--
Ръст (cm)	155	157	1,3
Тегло (kg)	48	48	--
PP (W)	858,43	808,36	6,2
AP (W)	611,67	621,45	1,6
O ₂ консумация (ml/30 s)	668,3	851,3	21,5
O ₂ дефицит (ml/30 s)	416,2	360,1	15,6
O ₂ деф/конс %	62,3	42,3	47,3

- Двамата футболисти (А и Б) са на една и съща възраст, с едно и също телесно тегло и с разлика в ръста 2 cm .
- Ергометричните им постижения, отчитани при изпълнение на WAnT са много близки (за това говорят процентните разлики между PP и AP на двамата).
- Ако оценяваме състезатели А и Б според данните от рутинния WAnT ще ги поставим в една и съща категория по отношение на анаеробните им възможности.
- Ако обаче вземем предвид предлаганите от нас физиологични показатели ще установим, че А достига максималните си ергометрични резултати чрез по-голямо активиране на анаеробния метаболизъм, докато състезател Б постига същия ергометричен резултат чрез 21,5% по-голямо участие на аеробния метаболизъм (Фигура 6).



Фигура 6. *Енергоосигуряване на едно и също физическо усилие при футболист А и футболист Б*

- Като се има предвид ниската възраст и краткият спортен стаж на младите футболисти считаме, че имаме основание да допуснем, че състезател А е с по-добри предпоставки за развиване на скоростно-силови качества. Може да се допусне, че при него процентът на белите мускулни влакна е по-голям от този при футболист Б.
- Горните резултати ни дават също така основание да считаме, че WAnT, изпълняван с отчитане и на предлаганите физиологични показатели, може да служи и в процеса на селекция на младежите към спортни дисциплини според спецификата на тяхното енергоосигуряване.

ИЗВОДИ

1. Разработен е метод за физиологична интерпретация и оценка на резултатите на спортистите при изпълнение на WAnT.
2. Изведени са физиологични критерии, отразяващи прецизно относителния дял на участие на енергийните системи, в осигуряване на високоинтензивното физическо усилие.
3. Изчисляването на физиологичните критерии е лесно изпълнимо и прави възможно предоставянето на експресна информация за дела на анаеробния и аеробния метаболизъм при изпълнение на WAnT.
4. Предлагащите физиологични критерии са чувствителни към измененията в характера на енергийното осигуряване на теста в резултат на изпълнявани специализирани тренировъчни програми.
5. Резултатите от физиологичния анализ на изпълнението на WAnT могат да служат като обективен критерий за подбор и селекция на млади спортисти.
6. Резултатите от физиологичния анализ на изпълнението на WAnT могат да бъдат използвани за контрол и управление на тренировъчния процес в годишния тренировъчен цикъл.
7. Показано е предимството на алометричното скалиране на ергометричните показатели на WAnT пред скалирането по относителни стойности.
8. Разработени са персентилни нормативи за абсолютни стойности, относителни стойности и алометрично скалирани стойности на ергометричните показатели на WAnT за 14-15 годишни футболисти.

ПРЕПОРЪКИ

- 1.** Да се задълбочат изследванията върху физиологичната характеристика на WAnT чрез изучаване на участието на биохимичните фактори и кардиореспираторните функции при неговото изпълнение.
- 2.** Да се предложи на лабораториите, в които функционалните изследвания включват изпълнение на WAnT да прилагат предлагания метод за допълнителна физиологична оценка на резултатите от теста при активно спортуващи състезатели от различна възраст, квалификация и видове спорт.
- 3.** Теоретичните обосновки на предлагания метод да бъдат насочени в помощ на спортните педагози.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Бачев В. (2011) Основи на научните изследвания в спорта. *Учебник за студенти от НСА.*
2. Брогли Я. (2012) Въведение в теорията и практиката на контрола върху факторите на спортното постижение. *НСА ПРЕС*
3. Желязков, Цв., Дашева, Д. (2002) Основи на спортната тренировка. *София, ГераАрт ООД.*
4. Михайлов, М., Андонов, Хр. (2013) Теория и методика на спортната тренировка. *НСА прес.*
5. Пеев, П. (2017) Изследване на методически подходи за въздействие върху развитието на скоростната издръжливост при 13-14 годишни футболисти. *Дисертация, НСА*
6. Стефанова, Д. (2002) Някои промени в хомеостазата при супрамаксимални натоварвания. Спортно физиологичен анализ. *София, Авангард*
7. Bangsbo, J., Gollnick, P.D., Graham, T.E. (1990) Anaerobic energy production and O₂ deficit-debt relationships during exhaustive exercise in humans. *J Physiol*; 422: 539-59.
8. Beker, J.S., McCormick, M.C., Robergs, R.A. (2010) Interaction among skeletal muscle metabolic energy systems during intense exercise. *Journal of Nutrition and Metabolism*:905612, 10.1155/2010/905612.
9. Beneke, R., Pollmann, C., Bleif, I., Leithäuser, R.M., Hütler, M. (2002) How anaerobic is the Wingate Anaerobic Test for humans? *Eur J Appl Physiol*;87(4-5):388-92.
10. Brooks, G.A., Fahey, T.D., Baldwin, K.M. (2005) Exercise Physiology: Human Bioenergetics and Its Application. *4th Edition. Boston, MA: McGraw Hill*
11. Gastin, P.B (2001) Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise . *J Sports Med*;31(10):725-41.
12. Inbar, O., Bar-Or, O., Skinner, J.S. (1996) The Wingate Anaerobic Test. *Champaign, IL: Human Kinetics*
13. Katch, F.I., McArdle, W.D.(1993) Introduction to Nutrition Exercise, and Health. *Fourth Edition, Williams & Wilkins.*
14. Kenny, W., Larry, Wilmore, Jack, Costill, David. (2015) Physiology of sport and exercise 6th edition, *Human Kinetics.*

15. Maughan, R., Gleeson, M., Greenhaff, P.L. (1997) Biochemistry of exercise and training p.234.
16. McArdle, W.D., Katch, F.I., Katch, V.L. (2007) Exercise Physiology: Energy, Nutrition, and Human Performance. 6th Edition. Philadelphia, PA: Lippincott Williams and Wilkins.
17. Medbø, J.I., Tabata, I. (1993) Anaerobic energy release in working muscle during 30 s to 3 min of exhausting bicycling. *J Appl Physiol* Oct; 75 (4): 1654-60.
18. Petrova B. (2018) Allometric scaling of Wingate Anaerobic test scores in young soccer players *J of Applied Sports Science*, 1,21-29
19. Vanderford, M.L., Meyers, W.A., Skelly, C.C., Steward, Hamilton K.L. (2004) Physiological and sport-specific skill responses of Olympic youth soccer athletes. *J.Strength Cond. Res.* 18(2):334-342.
20. Withers, R.T., Sherman, W.M., Clark, D.G., Esselbach, P.C., Nolan, S.R., Mackay, M.H., Brinkman, M. (1991) Muscle metabolism during 30, 60, and 90 s of maximal cycling on an air braked ergometer. *Eur J Appl Physiol*; 63: 354-62.

ПУБЛИКАЦИИ:

1. Petrova, B. (2018). Allometric scaling of Wingate Anaerobic Test scores in young soccer players *Journal of Applied Sports Sciences* Vol. 01; 21-29
2. Peev, P., Gadev, M., Petrova, B. (2017). Changes in anaerobic power of youth soccer players in an annual training cycle *International Scientific Congress "Applied Sports Sciences".1-2 December, 30-33.*

NATIONAL SPORTS ACADEMY “VASIL LEVSKI”

DEPARTMENT: “THEORY OF SPORT”



AUTHOR’S ABSTRACT

BORISLAVA KOSTADINOVA PETROVA

**IMPACT OF THE TRAINING PROCESS ON THE
INTERRELATION BETWEEN THE ENERGY
DELIVERING SYSTEMS DURING FUNCTIONAL
TESTING**

Sofia, 2019

NATIONAL SPORTS ACADEMY “VASIL LEVSKI”

DEPARTMENT: “THEORY OF SPORT”

BORISLAVA KOSTADINOVA PETROVA

**IMPACT OF THE TRAINING PROCESS ON THE
INTERRELATION BETWEEN THE ENERGY DELIVERING
SYSTEMS DURING FUNCTIONAL TESTING**

AUTHOR’S ABSTRACT

of Doctoral dissertation for awarding
Educational and scientific degree “PhD”
in a scientific subject
“Theory and Methodology of Sports Science”
in professional field 7.6. Sports

Scientific supervisor:
Prof. Daniela Dasheva, DSc

Reviewers:
Prof. Vihren Bachev, DSc
Prof. Nevena Pencheva, PhD

Sofia, 2019

PhD dissertation was introduced, discussed and directed forward for public defense in front of extended “Theory of Sport” department council, National Sports Academy “Vasil Levski” on February 14th 2019.

The PhD thesis contains 118 standard pages. The text is supported by 19 tables and 17 figures. The bibliography includes 188 references.

The dissertation will be presented for public defense on April 17th 2019 at 2:00 PM in Hall A3, National Sports Academy “Vasil Levski”, Studentski Grad, Sofia at a scientific jury meeting. All documents concerning the dissertation are available in the Library, National Sports Academy “Vasil Levski”.

Abbreviations used:

VO_2 – oxygen consumption

$\text{VO}_{2\text{max}}$ – maximal oxygen consumption

WAnT - Wingate Anaerobic Test

PP – Peak Power

AP –Average Peak

PD–Power Droop

BMR - Basal Metabolic Rate

RMR - Resting Metabolic Rate

BMI – Body Mass Index

HR – Heart Rate

HRmax – Maximal Heart Rate

INTRODUCTION

The impact of the training process on competitive sports achievement is one of the basic subject in the study of the theory and practice of competitive sport. It is understandable that researchers' attention concentrates on the methods of assessing this impact.

Changes in sports and technical performance are monitored, as well as in functional performance through athletes' efficiency of various field and laboratory tests. The relationship between one and the other is sought.

Out of the laboratory functional tests, no doubt the most extensive application is the incremental maximal test for directly determination and evaluation of the aerobic capacity of athletes, designed in different modes and forms of loading.

Unlike aerobic, the capabilities of anaerobic energy systems cannot be determined directly, different indirect methods are used for this purpose. In this regard, the Wingate Anaerobic Test (WAnT), developed in the 1970s is undoubtedly one of the most frequently applied tests for measuring anaerobic power and capacity. It is generally used to determine the anaerobic energy supply during supramaximal workload, however our knowledge of the metabolic profile of WAnT is rather limited (Beneke et al., 2002). Considering that ergometric data do not always reflect sports scores, in the High Performance Exercise Physiology Laboratory at the Center for Scientific and Applied Research in Sport, National Sports Academy, Sofia, we decided to enrich the information by registering the expired gas data during the test. We believe that this way we will receive valuable information about the interrelationship of anaerobic and aerobic energy systems to short-term, high-intensity physical efforts as well as the possible changes in this ratio under the impact of training programs.

The review of literature deals with:

- Mechanisms of energy supply for the functions of the human body, in particular the athlete. Types of energy-supply systems and factors that determine their activity during physical work (Katch, McArdle, 1993; Kenny et al., 2015; Beker et al., 2010).
- Monitoring of the training process. Basic forms of control and types of tests to evaluate the athlete's functional status (Желязков, Дашева, 2002; Бачев, 2011; Брогли, 2012; Михайлов, Андонов, 2013).
- Physiological properties of supramaximal load execution and energy supply (Maughan et al., 1997; Medbø, Tabata, 1993; Стефанова, 2002).
- Features of the 30-second Wingate Anaerobic Test (WAnT). Benchmarks for performance evaluation of WAnT (Inbar et al., 1996; Brooks et al., 2005; McArdel et al., 2007).
- Energy supply and maximum accumulated oxygen deficit during WAnT. Relationships between anaerobic and aerobic energy contribution systems (Gastin, 2001; Bangsbo et al., 1990; Withers et al., 1991).

Working hypothesis

We assume that the training process may provoke changes in the relationships between anaerobic and aerobic energy supply in WAnT implementation, and the disclosure of these relations effects in enhancing the control of sport achievement and the selection in competitive sport.

OBJECTIVE AND TASKS OF DISSERTATION THESIS

The aim of the dissertation thesis is to improve the system of control of the factors of sport training, by a new method, illustrating the relative share of the anaerobic and aerobic energy supply in WAnT implementation..

Tasks:

- To examine the existing methods for determining of anaerobic energy supply in the implementation of WAnT.
- To develop a methodology for the parallel registration of WAnT ergometric indicators with oxygen consumption (VO_2).
- Specify the method for converting the mechanical work (in watts) into its energy equivalent.
- Select the physiological data that reflect the differences in the relationships of the energy systems between the sportsmen involved in WAnT performance.
- Check the effectiveness of the proposed new WAnT physiological analysis method by testing it with athletes practicing soccer and basketball.

Subject of the survey

Verification of the effectiveness of the proposed new method for assessing the relative share of anaerobic and aerobic energy supply in WAnT as a result of a specialized training process.

Object of the study

The established values for the relative participation of aerobic and anaerobic energy systems in the implementation of a separate dynamic high intensity load.

Participants

A total of 54 male athletes participated in the studies: 29 adolescents, football players (Levski Football Club) and 25 adolescents basketball players (Basketball Club "Sports Talents").

Setting of the study

All testing procedures were conducted at the High Performance Exercise Physiology Laboratory at the Center for Scientific and Applied Research in Sport, National Sports Academy, Sofia.

Once the purpose and procedures for conducting the research was explained in detail, an informed consent for participation was signed by all participants in the experiment, signed by one of the parents too.

The timing of the tests was in line with the school schedule of the athletes, and they were performed from 9am to 12pm or from 14am to 5pm.

The 29 soccer players aged 13-14 years were tested twice: in February 2016 (start of preparatory period) and in July 2016 (start of the competition period). In both cases, a test was performed for determining the maximal oxygen consumption ($\text{VO}_2 \text{ max}$). Two days later, the anaerobic Wingate test was performed. A total of 39 maximum tests and 44 WAnT were performed.

Under the same scheme 25 basketball players aged 16-17 years were tested at the end of the preparatory season (May 2017) and at the end of the preparatory period (September 2017). The total number of maximal tests was 34 and of WAnT – 42.

In the comparative analysis of the results of the impact of the training program (between the two tests) we included only those of the participants who performed the full set of tests and the complete training program.

Total of 12 football players and 17 basketball players met all the necessary requirements for full control of the impact of the training process: they did not miss any training, and they did the full set of tests twice.

METHODOLOGY

1. *Anthropometric measurements*

The stature in cm (with SEKA-225 height gauge), body weight in kg, and body mass index with body composition analyzer (TANITA-BC-418-MA) were measured before each performance test.

2. *Determination of maximum aerobic capacity (VO_2 max)*

Soccer players who were in pre-pubertal age performed a special spiroergometer test for adolescents after B. Balke at a treadmill (H/P/ Cosmos, Germany) with constant speed of 8.4 km/h, a duration of each step of 30 s, an initial slope of 0%, and an increase in the slope at each step by 0.6%.

Basketball players were subjected to an treadmill (H/P/ Cosmos, Germany) incremental maximal spiroergometric test under I.Iliev protocol: step duration 1:30 min, initial speed 6 km/h, acceleration of the treadmill at each step by 1.2 km/h, constant slope of 2.5 °.

The respiratory data and gas analysis results were recorded in real-time (breath-by-breath) with a portable gas analyzer META-MAX 3B. In order to reach maximal individual aerobic capacity during the test, the boys were stimulated verbally.

The maximal tests were accompanied by electrocardiographic control – the ECG was recorded before, during and up to sixth minute after loading with the AT-102 SHILLER cardiograph.

3. 30-Wingate Anaerobic Test

The 30-WAnT was performed on a mechanically braked cycle ergometer (Monark, 894 E, Stockholm, Sweden) as described by Inbar et al. (Inbar O, 1996).

The test started with a standardized warming up of 5 min cycling at 60 W and 60 revolution/min including two sprints, each lasting 3 sec, performed at the end of the 3rd and the 5th min. The seat height and handle were individually adjusted for the subject's comfort, with the legs being nearly fully extended during each pedal revolution. After 5 min rest the subjects were instructed to pedal as fast as possible for 30 s. A resistance corresponding to 7.5% of the body mass was applied after an acceleration phase lasting 5 s. Verbal feedback to the time remaining was provided at 15, 10, and 5 sec of remaining time while verbal encouragement was given. The subjects continued pedaling after completion of the test with no load for several minutes to cool down.

When using computerized Wingate test procedure the most often parameters are automatically recorded: Peak Power (PP) in wats; Relative Peak Power per body weight (PP/W/kg); Average power, defined as Anaerobic Capacity (AP); Anaerobic Fatigue index (AF).

4. New Method for Determining the share of Anaerobic and Aerobic Power Supply in WAnT

In order to evaluate the share of the anaerobic and aerobic energy systems in the executing of WAnT, we applied a parallel registration of the ergometric data (in Watts through the WAnT software) and of the oxygen uptake (VO_2) for every second, registered by a portable gas analyzer META-MAX 3B-R2 (breath-by-breath).

The registered results and the subsequent calculations of one participant are presented as an example in Table 1.

Since the VO_2 values recorded are per ml O_2 /min, they have to be divided by 60 to obtain the oxygen consumption for 1 s, which is necessary for unification with the other results. The data recorded are shown in the yellow columns of Table 1.

Table 1. An example of the ergometric and respiratory indices co-registered and calculated when performing Wingate Anaerobic Test

Age	Height (cm)	Weight (kg)	PP (W)	PP/kg (W)	PD (%)	VO2max (ml/min)
14	166	47	664,94	14	45,8	2427
	sec	W	VO2 ml/min	O2 ml/sec	O2 for W	difference
	1	594,8	1063	17,7	37,1	-19,4
	2	629,3	1153	19,2	38,8	-19,6
	3	631,6	1153	19,2	38,9	-19,7
	4	645,4	1290	21,5	39,6	-18,0
	5	607,2	1096	18,3	37,7	-19,5
	6	628,5	1096	18,3	38,7	-20,5
	7	609,9	1274	21,2	37,9	-16,6
	8	529,5	1136	18,9	37,0	-18,1
	9	560,6	1136	18,9	35,5	-16,6
	10	583,9	1284	21,4	36,6	-15,2
	11	540,9	1284	21,4	34,6	-13,2
	12	555,7	1126	18,8	35,3	-16,5
	13	529,3	1791	29,9	34,0	-4,1
	14	522,8	1839	30,7	33,7	-3,0
	15	508,6	1839	30,7	33,0	-2,4
	16	518	1729	28,8	33,5	-4,6
	17	478,4	2000	33,3	31,6	1,8
	18	484,7	2045	34,1	31,9	2,2
	19	458,1	2045	34,1	30,6	3,5
	20	433,7	2155	35,9	29,4	6,5
	21	441,7	2295	38,2	29,8	8,4
	22	429,3	2162	36	29,2	6,8
	23	426,3	2162	36	29,1	7,0
	24	396	2261	37,7	27,6	10,1
	25	398,1	2648	44,1	27,7	16,4
	26	384	2313	38,6	27,1	11,5
	27	375,2	2129	35,5	26,6	8,9
	28	379,8	2129	35,5	26,9	8,6
	29	371,4	2256	37,6	26,5	11,1
	30	364,4	2543	42,4	26,1	16,3
		15080,1		873,9	981,8	
W (30 s)						15080,1
O2 consumption 30 s (ml 30 s)						873,9
O2 deficit (ml 30 s)						226,9
O2 excess (ml 30 s)						119
O2 deficit/O2 excess ratio in%						190,7
W worked out anaerobic						4746,9
Seconds with predominant anaerobic energy supply						16
In % of total W						31,48

W and VO_2 output are registered by the apparatuses;

VO_2 demand = $((W \cdot 0,239)/5) + VO_2 \text{ ml} \cdot \text{s}^{-1}$ from last 5s of acceleration phase (here 8,7);

VO_2 deficit or VO_2 excess = VO_2 output - VO_2 demand

The measurement of oxygen consumption during the test is the basis for the calculation of its aerobic rate.

The main problem is the assessment of the body's oxygen demand during the test. It consist of:

- Oxygen needs for the aerobic energy flow for the load.
- Oxygen requirements needed to maintain the vital functions of the body. At rest, the most commonly used is Basal Metabolic Rate (BMR), and the nearby resting metabolic rate (RMR) term, the daily amount of energy (in kilocalories) consumed at rest. However, the individual oxygen needs for energy of the person under investigation at the start of the test is in a state completely different from that at rest.

Oxygen requirements for maintaining the body functions are considered to be taken individually for each participant. It responds to VO_2 during gaining revolutions in free pedaling at the beginning of the test before the resistance of 7.5% BW is switched on. In this example it corresponds to 8.7 ml O_2 /s.

The conversion of the watts into their oxygen equivalent is made using the generally accepted numerical values:

$$1\text{W} = 0.239 \text{ cal/sec}; 1\text{cal} = 0.20 \text{ ml of } \text{O}_2 \text{ or}$$

$$1\text{cal} = 5 \text{ ml } \text{O}_2 \text{ (at physical load)}$$

$$1\text{W} = 0.239 \text{ cal/5 or } \boxed{1\text{W} = 0.0478 \text{ ml } \text{O}_2.}$$

Thus, in the example shown, the oxygen demand for the first second of the test (ml O_2 for 1W) is equal to $(594.8 \text{ W} * 0.239) / 5 + 8.7 = 37.1$ ml O_2 (5th column of Table 1).

During the 30-second Wingate test, the data are presented in two columns (4 and 5) of 30 values: one is the variation of the individual oxygen requirements calculated in our method during the load, and the

second – the dynamics in the values of real consumed oxygen. The values in the two columns can be well illustrated (Figure 1).

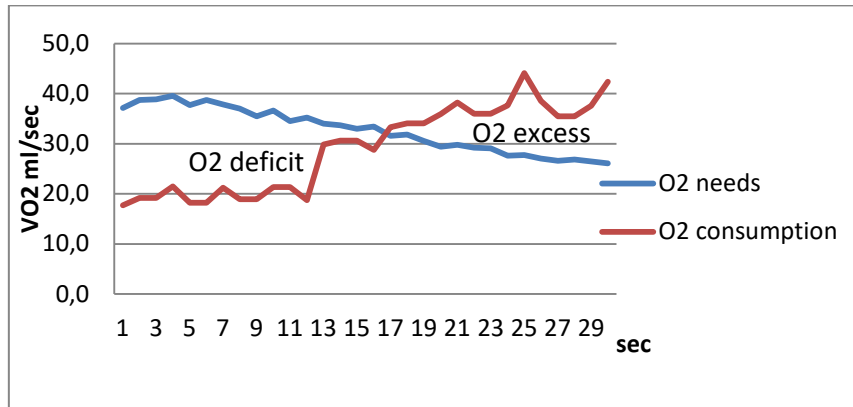


Figure 1. Dynamics of O_2 needs and O_2 consumption during WAnT

The difference between O_2 needs and O_2 consumption is presented in the last column of the table. Values with a negative sign indicate the degree of oxygen deficit, and those with a positive sign – the magnitude of the oxygen excess. The moment when oxygen consumption exceeds oxygen needs is clearly visible: the process of repaying the O_2 deficit accumulated begins. In this example, this is the seventeenth second.

From the data in the model protocol, the following new data for the share of energy systems in the 30-second WAnT can be derived:

- W 30 s (sum of W for each second of the test)
- O_2 consumption 30 s (sum of O_2 ml/s)
- O_2 deficit for 30 s (sum of negative differences)
- O_2 excess for 30 s (sum of positive differences)
- O_2 deficit/ O_2 excess ratio in %
- W worked out anaerobic (O_2 deficit * 5 / 0.239)
- In % of total W (W anaerobic / sum of W) * 100
- Seconds with predominant anaerobic energy supply

Statistics

Results are expressed as mean \pm SD. The statistical power was calculated with the χ^2 -criterion of Pearson (CHITEST – Excel 2010). Statistical significance was accepted at the $P(t) < 0,95$ level. An allometric scanning technique, as well as the percentile method, was also used.

Allometric scaling method

The method of allometric scaling of the ergometric achievements in WAnT was also applied. The values of athlete's power are extremely dependent on the body mass. Apart from their absolute values, in practice they are most often presented in relative values – converted per kilogram body weight. This method of proportional scaling of power is subject to strong criticism. The normalization of exercise power data with body mass in comparative studies by allometric scaling is recommended.

We developed allometric exponents for scaling the ergometric parameters of WAnT to eliminate the influence of body weight (Petrova, 2018). The reported scores may be useful for coaches for accurately assess the individual power possibilities in the management of the training regimes.

RESULTS AND ANALYZES

Soccer and basketball are very popular sports performed by men and women, children and adults with different levels of qualification. Soccer and basketball are intermittent activity sports, taxing both the aerobic and anaerobic system. During competitions, the player's workload intensity will range from walking to sprinting. Thus, to sufficiently sustain the ability to perform during a match, a player must possess an above

average aerobic component to assist rapid recovery between intermittent bouts of high intensity. Soccer also requires a strong anaerobic component that combines strength, speed and power, explosive force for jumps, spins, sprinting (Vanderford et al., 2004).

Table 2 presents the anthropometric and functional data of the athletes investigated.

Table 2. Average anthropometric data and results from a maximal incremental test of 29 soccer players and 25 basketball players

sports	Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)	BMI	VO ₂ max kg/ml/min	HR max
football	14,4 ± 0,9	164,0 ± 9,5	51,8 ± 8,7	18,8 ± 1,9	57,2 ± 7,5	193,7 ± 7,2
basketball	16,4 ± 1,1	184,7 ± 5,9	77,3 ± 9,6	22,6 ± 2,2	58,6 ± 4,5	193,0 ± 7,1

BMI – body mass index; HRmax – maximal heart rate;

The aerobic capacity of the young soccer and basketball players is close to the maximum reported in the literature. Regarding the assessment of their anaerobic capacity, the available information is too scarce.

Table 3 presents the average ergometric score of all WAnT performed.

Table 3. Average values of ergometric data from 44 WAnT performed by soccer players and 42 WAnT by basketball players

Parameter	Peak Power PP (W)	Peak Power/kg PP(W/kg)	Average Power AP(W)	Average Power/kg AP(W/kg)	Power Drop % PD(%)
Soccer players					
Average	788,1	15,9	582,5	11,3	54,5
SD	142,9	2,7	105,8	1,5	13,7
Basketball players					
Average	1000,6	13,0	789,0	10,3	44,3
SD	160,4	1,4	106,4	0,9	12,6

As expected, the absolute peak power values shown by the basketball players are higher than those of the soccer players because of the higher body mass of the two-year-old basketball players. For the

same reason, they have a significantly lower relative peak and average power. Both soccer and basketball players fall into the same group in term of assessing their anaerobic capabilities, according to the appraisal table enclosed in the software.

Table 4 shows the physiological parameters obtained in the same 30-second tests (mean values):

Table 4. Mean values of physiological data from 44 WAnT performed by soccer players and 42 WAnT by basketball players

Parameter	W (30 s)	VO ₂ uptake (ml 30 s)	O ₂ deficit (ml 30 s)	O ₂ excess (ml 30s)	Anaerobic performance (W)	Anaerobic performance In % to W (30 s)	Anaerobic performance (s)
Soccer players							
Average	17288,6	921,0	345,7	114,1	7239,6	41,5	19,0
SD	2988,0	160,0	119,7	70,9	2548,4	9,5	4,0
Basketball players							
Average	23230,3	1314,6	469,3	135,4	9818,4	42,1	19,9
SD	3109,4	196,7	144,9	108,7	3031,3	11,8	4,6

The high O₂ uptake for the period of 30 seconds is impressive (1117.8 ± 270.2 ml), increasing up to 90% VO₂ max as presented in Figure 2.

The great importance of breathing in this type of physical effort is evident from the high correlation between peak power (PP) and average power (AP) with the oxygen consumption with $r = 0.700$ and $r = 0.781$, respectively.

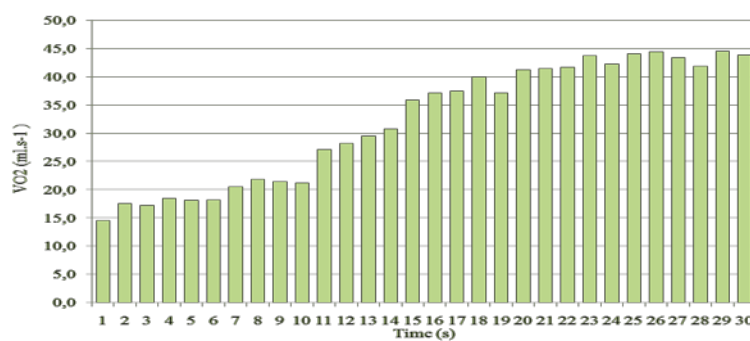


Figure 2. Mean O₂ uptake (ml/s) of young soccer and basketball players during WAnT

The volume of oxygen deficit exceeds by 45% the amount of oxygen excess. Only 36.1% of the power output for thirty seconds of supramaximal effort is provided by the domination of anaerobic metabolism.

Impact of the training process on the interrelation between the energy delivering systems in WAnT performance

A group of 12 soccer players was tested twice – during the preparatory training period (Test I) and after completing a 5 month specialized training program for speed endurance (P. Peev, 2017) at the beginning of the competitive period (Test II). The percentage differences in the achieved ergometric and physiological parameters between the two tests are presented in Figure 3.

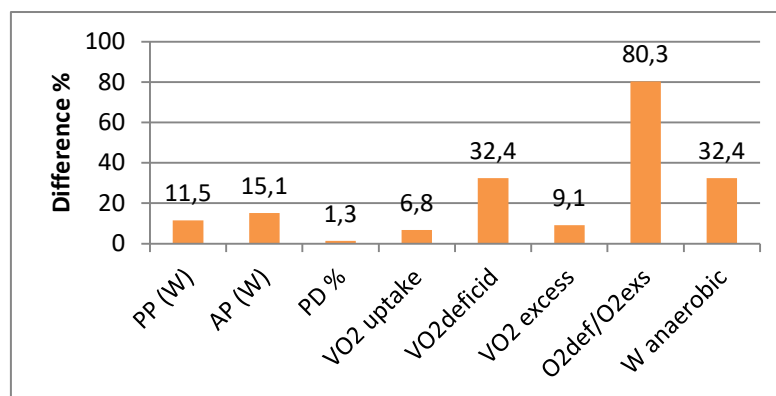


Figure 3. *Percent difference between the WAnT parameters of Test I and Test II*

Improvements in ergometric performance (peak power and average power) are low but statistically significant; the fatigue index remains unchanged. In contrast, the contribution of anaerobic metabolism in Test II rises strongly (32.4% higher O₂ deficit and 80.3% increase in the ratio of O₂ deficit / O₂ excess). Enhancement of ergometric results occurs with

less involvement of aerobic metabolism. Improved anaerobic power is determined.

The energy supply from the anaerobic system in Test 2 is significantly greater and continues to the very end of the effort (Figure 4).

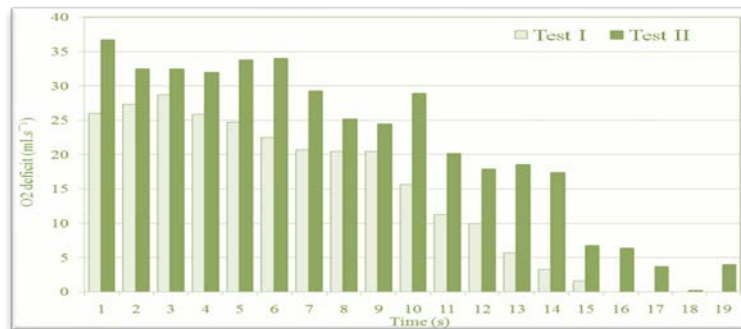


Figure 4. Differences between the O₂ deficit before (Test I) and after five month specialized training program for speed and endurance of young soccer players (Test II).

The payment of O₂ deficit during Test II begins later and O₂ excess is with a smaller volume (Figure 5).

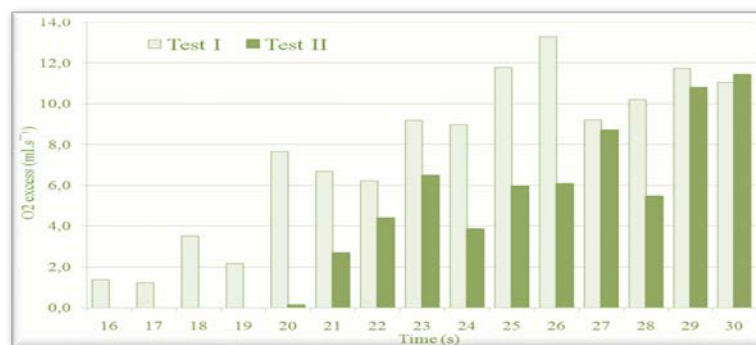


Figure 5. Payment of the O₂ deficit through the excess of O₂ before (Test I) and after (Test II) five month specialized training for speed endurance of young soccer players.

Similar to the results for soccer players basketball players, showed the most visible training change in the increase in the percentage ratio between the oxygen deficit and the oxygen excess in favor of the deficit. It was confirmed that this parameter is most sensitive to changes in the

relationships between the energy supplying metabolic systems. The experimental data obtained suggests that the proposed method of expanded physiological analysis of WAnT performance outlines the relationships between the systems involved in the energy provision of the physical work. They also reflect the changes that occur in these relationships as a impact of the training.

It is worth to stress that the possibilities offered by the proposed method for selection and sporting orientation for beginner athletes are valuable. For instance:

Two soccer players with very similar anthropometric data and ergometric performance in WAnT were selected for example (Table 4 and Figure 6).

Table 5. *Anthropometric data, ergometric score and physiological indicators of two selected soccer players.*

Player	A	B	Difference %
Age (Years)	12	12	--
Height (cm)	155	157	1,3
Weight (kg)	48	48	--
PP (W)	858,43	808,36	6,2
AP (W)	611,67	621,45	1,6
O ₂ uptake (ml/30 s)	668,3	851,3	21,5
O ₂ deficit (ml/30 s)	416,2	360,1	15,6
O ₂ def/O ₂ upt %	62,3	42,3	47,3

- The two players (A and B) are of the same age, with the same body weight and a 2 cm height difference.
- Their ergometric data in WAnT performance are very close (percentage differences between PP and AP of both are small).

- If athletes A and B according to the WAnT routine are ranked, they would be placed in the same category in terms of their anaerobic capabilities.
- However, if taken into account the physiological indicators proposed, it will be seen that athlete A achieves maximum ergometric results by greater activation of anaerobic metabolism while competitor B achieves the same ergometric result by 21.5% greater involvement of aerobic metabolism (Figure 7). This shows that athlete A has greater anaerobic power than athlete B.

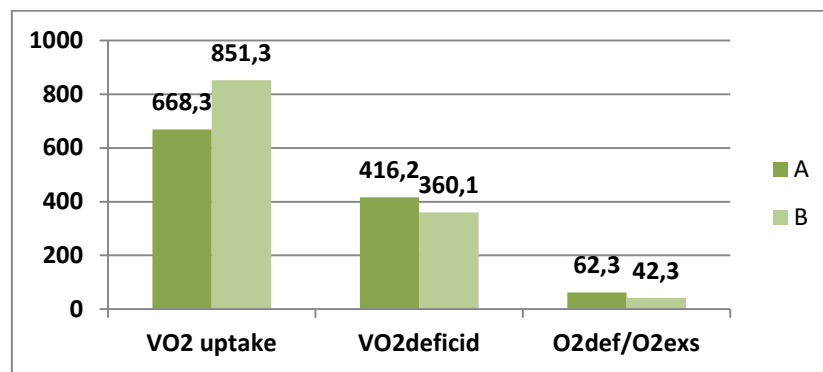


Figure 7. Distribution of energy supply of the same physical load for player A and player B

- Given the low age and short sporting experience of young soccer players, it could be supposed that athlete A has better prerequisites for developing speed-power qualities. It may be assumed that the percentage of white muscle fibers is higher than that of soccer player B too.
- The results shown above allows to believe that proposed method of WAnT combined with O₂ uptake analysis, may be used successfully in the process of selection and orientation of young athletes towards sport disciplines in accordance to their characteristics of energy supply.

CONCLUSIONS

1. A method for physiological interpretation and evaluation of the athletes' performance in Wingate Anaerobic Test combined with O₂ uptake analysis was developed.
2. Physiological criteria, precisely reflecting the relative share of contributions of anaerobic and aerobic energy systems during high intensity physical effort are provided.
3. Calculation of physiological criteria is easily feasible and makes it possible to provide express information on the proportion of anaerobic and aerobic metabolism in WAnT performance.
4. The physiological parameters described are high sensitive and reflect strong associations with the metabolic changes in response to the training modalities.
5. The physiological analysis of WAnT performance described can be applied as an objective criterion for selection and orientation of young athletes.
6. The physiological analysis of the WAnT performance reported may be used in the control and management of training in the annual training cycle.
7. The advantage of allometric scaling of the WAnT ergometric parameters for ranking by relative values independent of body mass is shown.
8. Percentile norms for absolute, relative and allometric scaled values of the WAnT ergometric data for 14-15 years old soccer and basketball players are presented.

RECOMMENDATIONS

- 1.** To expand the research of the physiological characteristics of WAnT by studying the involvement of cardiorespiratory functions and biochemical parameters in its interpretation.
- 2.** To recommend including WAnT implementation in laboratories where functional tests are routine, to apply the proposed method for additional physiological assessment of anaerobic capacity of sportsmen.
- 3.** The theoretical basis of the proposed method should be directed to assist trainers.

BIBLIOGRAPHY

1. Бачев В. (2011) Основи на научните изследвания в спорта. *Учебник за студенти от НСА.*
2. Брогли Я. (2012) Въведение в теорията и практиката на контрола върху факторите на спортното постижение. *НСА ПРЕС*
3. Желязков, Цв., Дашева, Д. (2002) Основи на спортната тренировка. *София, Гера Арт ООД.*
4. Михайлов, М., Андонов, Хр. (2013) Теория и методика на спортната тренировка. *НСА прес.*
5. Пеев, П. (2017) Изследване на методически подходи за въздействие върху развитието на скоростната издръжливост при 13-14 годишни футболисти. *Дисертация, НСА*
6. Стефанова, Д. (2002) Някои промени в хомеостазата при супрамаксимални натоварвания. Спортно физиологичен анализ. *София, Авангард*
7. Bangsbo, J., Gollnick, P.D., Graham, T.E. (1990) Anaerobic energy production and O₂ deficit-debt relationships during exhaustive exercise in humans. *J Physiol*; 422: 539-59.
8. Beker, J.S., McCormick, M.C., Robergs, R.A. (2010) Interaction among skeletal muscle metabolic energy systems during intense exercise. *Journal of Nutrition and Metabolism*:905612, 10.1155/2010/905612.
9. Beneke, R., Pollmann, C., Bleif, I., Leithäuser, R.M., Hütler, M. (2002) How anaerobic is the Wingate Anaerobic Test for humans? *Eur J Appl Physiol*;87(4-5):388-92.
10. Brooks, G.A., Fahey, T.D., Baldwin, K.M. (2005) Exercise Physiology: Human Bioenergetics and Its Application. *4th Edition. Boston, MA: McGraw Hill*
11. Gastin, P.B (2001) Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise *J Sports Med*;31(10):725-41.
12. Inbar, O., Bar-Or, O., Skinner, J.S. (1996) The Wingate Anaerobic Test. *Champaign, IL: Human Kinetics*
13. Katch, F.I., McArdle, W.D.(1993) Introduction to Nutrition Exercise, and Health. *Fourth Edition, Williams & Wilkins.*
14. Kenny, W., Larry, Wilmore, Jack, Costill, David. (2015) Physiology of sport and exercise *6th edition, Human Kinetics.*
15. Maughan, R., Gleeson, M., Greenhaff, P.L. (1997) Biochemistry of exercise and training *p.234.*

16. McArdle, W.D., Katch, F.I., Katch, V.L. (2007) *Exercise Physiology: Energy, Nutrition, and Human Performance. 6th Edition. Philadelphia, PA: Lippincott Williams and Wilkins.*
17. Medbø, J.I., Tabata, I. (1993) Anaerobic energy release in working muscle during 30 s to 3 min of exhausting bicycling. *J Appl Physiol* Oct; 75 (4): 1654-60.
18. Petrova B. (2018) Allometric scaling of wingate anaerobic test scores in young soccer players *J of Applied Sports Science* 1. 21-29.
19. Vanderford, M.L., Meyers, W.A., Skelly, C.C., Steward, Hamilton K.L. (2004) Physiological and sport-specific skill responses of Olympic youth soccer athletes. *J. Strength Cond. Res.* 18(2):334-342.
20. Withers, R.T., Sherman, W.M., Clark, D.G., Esselbach, P.C., Nolan, S.R., Mackay, M.H., Brinkman, M. (1991) Muscle metabolism during 30, 60, and 90 s of maximal cycling on an airbraked ergometer. *Eur J Appl Physiol*; 63: 354-62.

PUBLICATIONS RELATED TO THE DISSERTATION:

1. Petrova, B. (2018). Allometric scaling of Wingate Anaerobic Testscore in young soccer players. *Journal of Applied Sports Sciences Vol. 01; 21-29.*
2. Peev, P., Gadev, M., Petrova, B. (2017). Changes in anaerobic power of youth soccer players in an annual training cycle. *International Scientific Congress "Applied Sports Sciences". 1-2 December, 30-33.*