

НАЦИОНАЛНА СПОРТНА АКАДЕМИЯ „ВАСИЛ ЛЕВСКИ”

КАТЕДРА „ТЕОРИЯ НА СПОРТА“

доц. Михаил Любомиров Михайлов, доктор

**КОМПЛЕКСНА СИСТЕМА ЗА КОНТРОЛ И
ОЦЕНКА НА СПЕЦИФИЧНАТА
РАБОТОСПОСОБНОСТ В СКАЛНОТО
КАТЕРЕНЕ**

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертационен труд за присъждане на научната степен
„ДОКТОР НА НАУКИТЕ“ в професионално направление 7.6.
Спорт

СОФИЯ, 2020

Дисертационният труд е обсъден на вътрешна защита на 18.05.2020 г. и предложен за официална защита от катедра „Теория на спорта“ към Национална спортна академия „Васил Левски“.

Трудът съдържа 269 стандартни страници и е онагледен с 34 таблици и 53 фигури. Библиографията включва 143 литературни източници.

Рецензенти:

Проф. Даниела Дашева, ДН

Проф. Доротеа Стефанова, ДН

Проф. Диана Димитрова, доктор

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 16.09.2020 г. от часа в зала на НСА „Васил Левски” на адрес: София 1700, Студентски град, ул. „Академик Стефан Младенов“ 21.

ВЪВЕДЕНИЕ

Сред важните условия, определящи ефективността на тренировъчния процес, са прилагането на средства и методи, съобразени със спецификата на съответния спорт, както и тяхното правилно разпределение във времето. Полното реализиране на моторния потенциал на спортиста обаче е възможно, ако тренировъчният процес се управлява научно обосновано. За целта е необходима обективна информация за състоянието на най-съществените компоненти на специфичната работоспособност, на базата на която да се усъвършенстват тренировъчните програми.

Създаването на комплексна система за контрол на специфичната работоспособност ще е от особена полза в скалното катерене. Той все още рядко се извършва от специалистите в областта, а обичайно използваните от изследователите в спорта тестове носят малко информация, която може да послужи за оптимизирането на тренировъчния процес и подобряването на постиженията на катерачите. Така например елитните катерачи не се отличават значително от катерачи с по-ниска квалификация по максималната сила, измерена чрез класическа ръчна динамометрия. Резултатите от максимални стъпаловидни тестове на велоергометър или третбан пък не корелират със спортното постижение в катеренето.

Необходимостта от система за контрол на специфичната работоспособност в скалното катерене е очевидна и поради факта, че тази увлекателна дейност стана изключително популярна през последните години. Освен това спортното катерене ще направи своя олимпийски дебют на Летните олимпийски игри. Това увеличава изискванията към подготовката на спортните катерачи и налага измерването, оценяването и усъвършенстването на специфичната работоспособност в катеренето.

Става ясно, че системата за контрол на специфичната работоспособност трябва да е съставена от подходящи за скалното катерене тестове. За целта е нужно добре да се познават особеностите на физическото натоварване по време на катерене, предизвикваните от него физиологични реакции и специфичните способности, които определят спортното постижение. Това ще позволи разработването на тестове, чиито резултати ще корелират със спортното постижение в катеренето и ще са в голяма степен валидни по отношение на специфичните признаци на тренираността, които тестовете ще са предназначени да измерват.

1. СКАЛНОТО КАТЕРЕНЕ КАТО СПЕЦИФИЧНА ДВИГАТЕЛНА ДЕЙНОСТ

1.2. ОСНОВНА ХАРАКТЕРИСТИКА

Скалното катерене е понятие, което се отнася до катерене на скални маршрути с цел достигането или до върха на скалната формация, или само до най-високата точка на маршрута. Най-често под „скално катерене“ се разбира изкачване на чисти от лед и сняг скали. Днес скалното катерене не е само тренировъчна форма на алпинистите, а специфична развлекателна двигателна дейност (Watts 2004) и изключително популярен спорт, който включва различни дисциплини: спортно катерене, боулдъринг, традиционно катерене, алпийско катерене. Най-популярни са спортното катерене и боулдърингът. Спортното катерене се практикува на открито или на изкуствени стени, обикновено по добре осигурени маршрути с дължина от 10 до 30 метра, като напредването по маршрутите се осъществява чрез използването на естествените форми на скалата (съоръженията служат само за осигуровка в случай на падане). Боулдърингът е най-силовата дисциплина, която се практикува без въже на каменни блокове (боулдъри т.е. морени) или изкуствени структури на близко разстояние от земята, така че да бъде възможно приземяване, което да не води до наранявания. За катерачите, е типично да катерят на границата на своите индивидуални възможности дори когато не участват в състезание. Международната федерация по спортно катерене (ISCF) наложи спортното катерене да бъде и понятие, което да се използва като синоним на състезателно катерене с три състезателни дисциплини: т.нар. „трудност“ (lead climbing – катерене с въже, водейки по спортен маршрут), „боулдър“ и „скорост“.

1.3. ХАРАКТЕРИСТИКА НА ФИЗИЧЕСКОТО НАТОВАРВАНЕ В СКАЛНОТО КАТЕРЕНЕ

Скалното катерене е физическа активност с променлив характер на натоварването, изискваща комплексно развитие на двигателните качества, богат репертоар от вариативни и същевременно стабилни технически умения и смесено енергоосигуряване с доминиращо участие (в повечето видове катерене) на аеробната и алактатната енергетична система. Важна характеристика на натоварването в скалното катерене е, че то изисква интермитентни изометрични контракции на сгъвачите на пръстите, при които

фазите на контракция са по-продължителни от фазите на разпускане. Съотношението е 4:1 в спортното катерене (Schadle-Schardt 1998) и 13:1 в боулдъринга (White, Olsen 2010). Освен това повече от 1/3 от времето по маршрута се прекарва в статични позиции (Billat et al. 1995). Мускулите с най-голямо относително участие по време на катерене са сгъвачите на пръстите, следвани от сгъвачите в лакътната става и мускулатурата на туловището (Koukoubis et al. 1995; Deyhle et al. 2015). Затова умората по време на катерене е предимно от локален характер и засяга най-вече предмишниците. Тези характеристики на физическото натоварване действат ограничаващо върху периферното кръвообращение и доставката на кислород и енергия, както и в голяма степен обясняват особеностите във физиологични реакции по време на катерене.

1.4. ФИЗИОЛОГИЧНИ АСПЕКТИ

Динамиката на физиологичните показатели по време на катерене е нестандартна. Сърдечната честота (HR) нараства диспропорционално спрямо кислородната консумация (VO_2) и зависимостта между двата параметъра не е линейна (Mermier 1997; Sheel 2003; Sheel et al. 2006; Watts 1998). Пиковата стойност на VO_2 по време на катерене е ниска в сравнение с максималната VO_2 от максимални велоергометрични тестове или тестове на третбан. По отношение на концентрацията на кръвния лактат (La) се наблюдава подобно явление. При наличие на сравнително високи HR стойности La след катерене е относително ниска ($\sim 6.8 \text{ mmol/l}$) (Mermier et al. 1997; Watts 2004). Независимо от това както стойностите на VO_2 и La при катерене, така и на HR са по-ниски от същите стойности от стандартно прилаганите максимални стъпаловидни тестове (т.е. тестове на велоергометър или третбан). Съответно: 79.3, 56.9 и 88.8% от техните максимуми при бягане (De Geus et al. 2006). Поради тези причини физиологичните параметри, отчитани по време на катерене, не отразяват както в другите спортове енергоразхода, функционалното натоварване, вида метаболизъм и в коя работна зона попада натоварването.

1.5. ФИЗИЧЕСКИ КАЧЕСТВА – ФАКТОРИ НА СПОРТНОТО ПОСТИЖЕНИЕ В СКАЛНОТО КАТЕРЕНЕ

Характерът на физическото и функционалното натоварване отправя конкретни изисквания към физическите възможности на катерачите. Най-голямо значение имат мускулите на горната част на тялото. Относителната

сила при специфичен хват и мускулната издръжливост на сгъвачите на пръстите са фактори на спортното постижение от основно значение (Baláš et al. 2012; Baláš et al. 2014^a; Grant et al. 1996; Michailov, Mladenov, Schoeffl, 2009; MacLeod et al. 2007; Michailov 2014; Philippe et al. 2012; Vigouroux, Quaine 2006^{a,b}; Fryer et al. 2015^{a,b}). Данни на редица автори потвърждават, че катерачните възможности, зависят и от силовите качества на мускулатурата на раменния пояс (Baláš et al. 2012; Draper et al. 2011; Grant et al. 1996; Laffaye et al. 2014; Michailov et al. 2017; Wall et al. 2004). Подвижността в тазобедрените стави също е фактор на спортното постижение, но в по-малка степен детерминира успеха в този спорт (Grant et al. 1996; Mermier et al. 2000; Draper et al. 2009; Михайлов 2006). Въпреки че общата подготовка трябва да е на много добро равнище (Michailov 2014; Wall et al. 2004), постижението зависи най-вече от специфичните физически способности. Затова тренировката на катерачите и тестовете за контрол и оценка на тяхната тренираност трябва да отразяват в детайли характеристиките на физическото натоварване.



Фиг. 1 Физически способности, за които има научни сведения, че са от основно значение в скалното катерене

1.2. ПОСТАНОВКА НА ПРОБЛЕМА

Въпреки наличието на много данни за факторите на спортното постижение в скалното катерене и за тестовете, чрез които да бъде оценявано тяхното състояние, е налице голяма необходимост от провеждане на нови изследвания, които да послужат за създаването на ефективна система за контрол на специфичната работоспособност.

За целта трябва да се разработи усъвършенствана специфична силоизмервателна система. Досега изследователите в областта са адаптирали динамометри, които не са били специално предназначени за измервания при катерачи (Vigouroux, Quaine 2006^{a,b}; Philippe et al. 2012). Използваните до момента динамометри са ограничени относно доставянето на обратна връзка в реално време, подпомагането на изследваните лица в регулирането на интензивността и продължителността на мускулните контракции, както и в контролирането на правилното изпълнение на тестовете чрез стандартизиране на позата, позицията на горния крайник и обективни критерии за прекратяване на тестовете (в случай че мускулните усилия поради умора вече не отговарят на предписаната интензивност и продължителност).

Такъв тип апаратура трябва да послужи в началото за избор на позиция на тестване и за отговор на въпроса в каква степен стандартизирането на позицията на горния крайник чрез опори за фиксация на мишницата и предмишницата може да увеличи надеждността на измерванията, както и дали това няма да доведе до намаляване на спецификата на тестовете и загуба на смисленост на резултатите. След това е важно да бъдат разработени нови тестове или варианти на съществуващи тестове, които да са съобразени със научните сведения в областта до момента, за да са подходящи за приложение при катерачи. Също така трябва да се установи надеждността и валидността на различните тестове, за да се подберат най-подходящите от тях. Засега съществуват по-пълни данни за информативността само на тестовете за специфична максимална сила (Baláš et al. 2014^{a,b}).

Все още няма и подходящ специфичен тест за оценка на аеробния капацитет на системно равнище в скалното катерене. Моделът на натоварването в този тест би следвало да води до пикова стойност на кислородната консумация, която да корелира със спортното постижение, както и да позволява определянето на субмаксимални физиологични маркери (инфлексни точки). Съществуващите до момента тестове не отговарят на тези важни за контрола условия.

Известните факти в специализираните научни публикации и нашият опит по проблемите на контрола определят основната *методологическа концепция на настоящия труд*:

Контролът на специфичната работоспособност и функционалните възможности на системно и периферно равнище при катерачи като нов подход за ефективно управление на тренировъчния процес.

Изследователската работа на настоящия дисертационен труд е извършена, взимайки под внимание факти с основно значение: 1) контролът на работоспособността е по-полезен за оптимизирането на тренировъчния процес, ако се измерват и оценяват не само физическите качества, но и функционалните възможности; 2) в скалното катерене работоспособността е лимитирана по-скоро от силата, аеробните и анаеробните възможности на мускулите, не толкова от централните фактори, свързани с възможностите на кардиореспираторната система и кръвообращението.

Необходимостта от създаването на система за контрол на специфичната работоспособност в скалното катерене, която да включва специализирани, надеждни и валидни тестове, носещи подробна информация за тренираността на катерачите определя както принципните подходи, така и конкретната методология на изследователската работа.

2. ЦЕЛ, ЗАДАЧИ И МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

2.1. ЦЕЛ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Целта на изследването е да се разработи комплексна система за контрол на специфичната работоспособност като съществен фактор за повишаване на ефективността на спортната подготовка в скалното катерене.

2.2. ЗАДАЧИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

- 1) Да се направи характеристика на скалното катерене като специфична двигателна дейност.
- 2) Да се изложат основите на общотеоретичните знания за физическото натоварване, тренираността на спортиста и методологията на контрола на тренировъчния процес, което да послужи за модел, по който да се изгради ефективна система за контрол на специфичната работоспособност в скалното катерене.
- 3) Да се систематизират данните от научните публикации относно физическото натоварване, физиологичните аспекти и факторите на спортното постижение в скалното катерене.
- 4) Да се анализират предимствата и недостатъците на използваните до момента тестове за измерване и оценяване на специфичните физически способности на катерачите.
- 5) Да се проведат изследвания за определяне на подходящ за катерачи тест за оценка на специфичната работоспособност и аеробен капацитет на системно равнище.
- 6) Да се разработи усъвършенствана апаратура за измерване на специфични за скалното катерене силови качества.
- 7) Да се установи надеждността на механичните параметри, измервани при изпълнението на тестове за оценка на специфична максимална сила и мускулна издръжливост на сгъвачите на пръстите, както и корелацията между тези параметри и спортното постижение.
- 8) Да се разработи и апробира методика за диагностика на локалния мускулен аеробен капацитет.
- 9) Да се определи валидността на изследваните тестове и регистрираните чрез тях параметри по отношение на специфичната максимална сила на сгъвачите на пръстите и локалния мускулен аеробен и анаеробен капацитет.
- 10) Да се съставят скали и нормативи за оценка на специфичните силови качества и функционални възможности на периферно равнище.

2.3. ОБЕКТ И ПРЕДМЕТ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Обект на изследване е скалното катерене като специфична двигателна дейност, която следва да се оптимизира в различните етапи на спортната подготовка.

Предмет на изследване са количествените и качествените параметри на специфичната работоспособност, измерени и оценени в експериментални и специфични условия.

2.4. МЕТОДИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Информационно проучване

Очертаването на насоките на емпиричната част от изследователската работа на настоящия труд се осъществи на базата на проучването на научни статии (121 на брой), учебници, монографии и книги (общо 21 на брой), някои, засягащи общо-теоретичните основи на контрола на тренировъчния процес в спорта, други, отнасящи се до физическата работоспособност в скалното катерене.

Експерименти

Експерименталната работа, включва редица процедури, обединени в осем отделни изследвания и реализирани в рамките на три етапа. Изпълнени са двигателни тестове, при което са използвани апаратури за регистриране на механични и физиологични параметри. Измервани са и антропометричните характеристики на изследваните лица.

Използвана е следната апаратура и оборудване: третбан; велоергометър; гребен ергометър, адаптиран за тест на горна част на тялото, катерачни стени и хватки; новоразработен специфичен за скалното катерене динамометър; традиционен ръчен динамометър; калипер; стадиометър; електронни теглилки; монитори за сърдечна честота; апаратура за газов анализ и кръвни проби.

По-конкретна информация относно експерименталния подход към проблема и извършеното по време на трите етапа на експерименталната работа са дадени на фиг. 2.

Математико-статистически методи

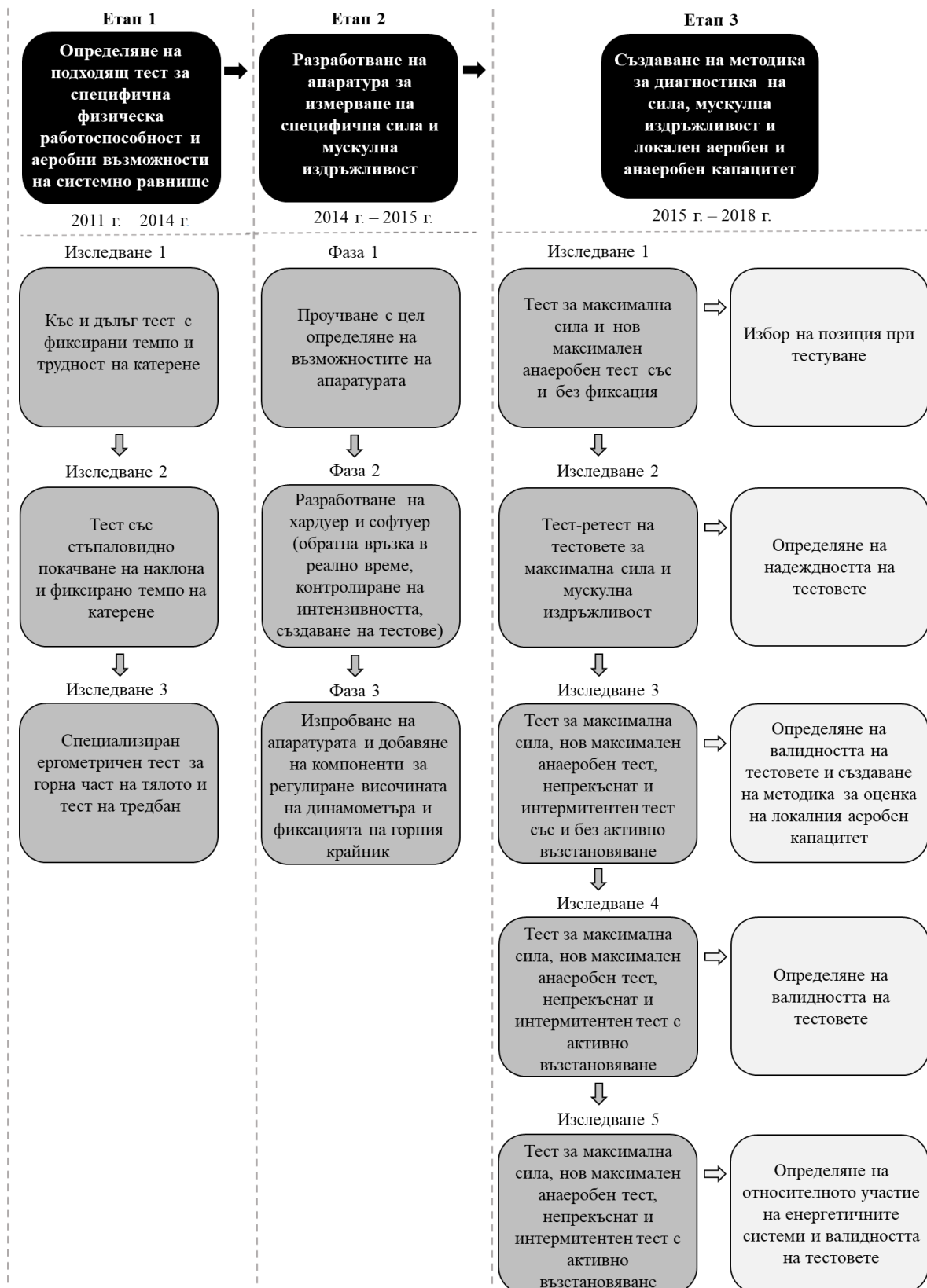
Данните от проведените изследвания са обработени чрез статистическите методи: вариационен анализ (дескриптивна статистика), проверка на хипотези (дисперсионен анализ), корелационен, регресионен и факторен анализ. Също така са използвани математически методи за определяне на производни силови параметри и антропометрични показатели и за изчисляване на относителното участие на енергетичните системи. За всички статистически анализи е използван статистическият софтуер SPSS (версия 19, IBM, New York, USA).

2.5. ИЗСЛЕДВАНИ ЛИЦА

В изследванията участват общо 85 катерачи мъже, разделени на 7 групи. Някои от групите участват в повече от едно изследване. За извличането на повече информация данните от някои изследвания са използвани за осъществяване на повече от една от задачите на настоящия труд.

Характеристика на групите изследвани лица:

- Група 1 - 8 елитни катерачи (redpoint 8a - 9a), възраст 31 ± 8.5 години, участват в етап 1, изследване 1.
- Група 2 - 6 напреднали катерачи (redpoint 7a+ - 8b), възраст 36 ± 8 години, участват в етап 1, изследване 2.
- Група 3 - 11 елитни катерачи (redpoint 7b+ - 8c+), възраст 30.07 ± 6.4 години, участват в етап 1, изследване 3.
- Група 4 - 22 катерачи с широк диапазон на квалификация (redpoint 4 - 8b; boulder 6a - 8c), възраст 28.3 ± 6.3 , участват в етап 3, изследване 1 и 3.
- Група 5 - 9 напреднали катерачи (redpoint 6c+ - 8b; boulder 7b - 7c), възраст 36.2 ± 9.9 , участват в етап 3, изследване 2.
- Група 6 - 16 катерачи с широк диапазон на квалификация (redpoint 6a - 9a; boulder 6c - 8c+), възраст 33.3 ± 9.7 , участват в етап 3, изследване 4.
- Група 7 - 13 напреднали и елитни катерачи (redpoint 7a - 9a; boulder 7a - 8a), възраст 29.4 ± 7.9 , участват в етап 3, изследване 4 и 5.



Фиг. 2 Схема на дейностите по експерименталната работа

2.6. МЕТОДОЛОГИЯ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

2.6.1. Процедури при първото изследване от първия етап на експерименталната работа

Тестове

Целта на това изследване е да се разбере доколко могат да послужат при диагностиката на специфичната работоспособност тестовете, при които се катери възможно най-продължително с фиксирано темпо и постоянна трудност. Участниците (в изследването изпълняват два варианта на тестове за специфична силова издръжливост, които се различават единствено по типа хватки – трудни и лесни за държане, което води до различна продължителност на двете натоварвания. Извършват се по 2 движения с ръцете – по едно с всяка ръка, на всеки 5 s. Техническите трудности са намалени до минимум. Участниците траверсират (катерят странично) близко до земята (фиг. 22), сменяйки посоката (ляво-дясно), по леко надвесена изкуствена катерачна стена (наклон: 12° от вертикала). Разстоянието между хватките е идентично (55 cm). Хватките са в една хоризонтална линия и всяка от тях трябва да се използва последователно с двете ръце. Стъпките образуват две хоризонтални линии. Силата на хвата (регистрирана със стандартен ръчен динамометър), и специфичната сила на сгъвачите на пръстите са измерени отделно, за да стане възможно сравняването силовия и аеробния компонент по степен на влияние върху специфичната издръжливост в катеренето.



Фиг. 3 Изпълнение на тест с фиксирано темпо, при който се траверсира наляво-надясно до специфично изтощение

Анализирани променливи

От двата теста за силова издръжливост са използвани: времето до изтощаване, средните и пиковите стойности на сърдечната честота (HR) и кислородната консумация (VO_2), отнесени към телесната маса (съответно HR_{avg} , HR_{peak} , $\text{VO}_{2\text{avg}}$ и $\text{VO}_{2\text{peak}}$), средните стойности на белодробната вентилация (VE) и RER (съотношение на респираторния обмен, т.е. отношението между издишания въглероден двуокис и консумирания кислород), както и средните стойности на концентрацията на кръвния лактат (La) и елиминирането на лактата на 10-ата минута ($\text{La}_{\text{clearance10min}}$) и на 20-ата минута ($\text{La}_{\text{clearance20min}}$). Втори набор показатели за възстановяването на лактата са $\text{La}_{\text{clearance10min}}$ и $\text{La}_{\text{clearance20min}}$, изразени като процент от увеличаването на La ($\% \text{La}_{\text{clearance10min}}$ и $\% \text{La}_{\text{clearance20min}}$).

Статистически методи

Разликите между променливите от двата катерачни теста са анализирани чрез метода за дисперсионен анализ one way ANOVA за повтарящи се измервания (repeated measures analysis of variance). За проверка доколко е нормално разпределението на извадката по анализирани променливи е използван тестът на Shapiro–Wilk. Коефициентите на рангова корелация на Spearman, отразяващи силата на зависимост между оценяваните параметри и спортните постижения в стиловете redpoint и on-sight, са изчислени, за да се идентифицират приложими показатели за анализ на работоспособността в катеренето. Това е възможно чрез конвертиране на постиженията на катерачите от категории на трудност в цифрови кодове, използвайки скалата на IRCRA (Draper et al. 2015). Коефициентите на корелация на Pearson са изчислени за отчитане на силата на зависимостта между продължителността на тестовете и VO_2 параметрите, силата на хвата от ръчната динамометрия и специфичната сила на сгъвачите на пръстите.

2.6.2. Процедури при второто изследване от първия етап на експерименталната работа

Тестове

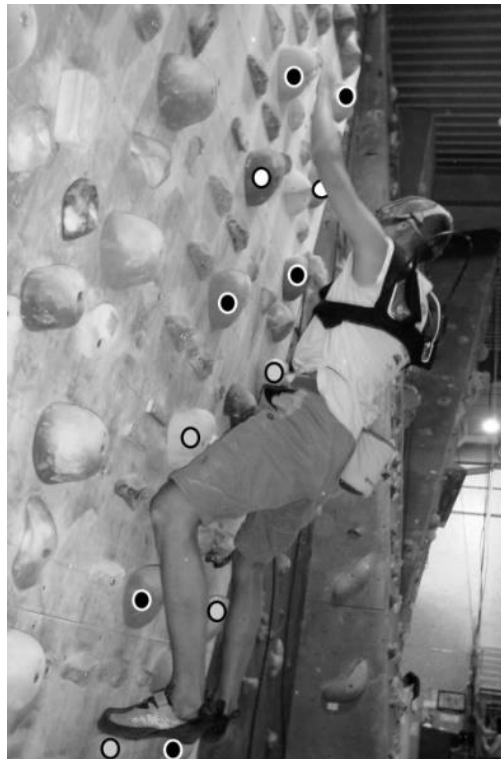
Това изследване е организирано в стремежа да бъдат анализирани специфичните кардиореспираторни реакции по време на стъпаловиден катерачен тест. Затова участниците изпълняват и обичайно прилаган максимален стъпаловиден велоергометричен тест с цел сравняване на резултатите и да бъде проверено доколко такъв тип катерачен тест може да доведе до максимално натоварване на системно равнище.

Участниците в изследването изпълняват специфичния тест, катерейки нагоре-надолу до специфично изтощение докато вече не са в състояние да се задържат на изкуствената стена. Темпото на катерене е постоянно (по две движения с ръцете на всеки 5 s). Трудността на катерене обаче стъпаловидно е увеличавана чрез промяна на наклона на стената. Катерачите започват теста при отклонение 5° от вертикална към надвесена позиция на стената и след всеки 90 секунди надвесът се увеличава с по 5° . Хватките са големи (за дисталните, средните и частично за проксималните фаланги) и образуват две надлъжни и няколко напречни паралелни линии (фиг. 4). Разстоянията между надлъжните и напречните линии са съответно: 60 cm и 40 cm.

Максималният стъпаловиден тест на велоергометър е проведен по протокола на И. Илиев и кол. (1982). Началната мощност е 60 W. След всяко стъпало (90 s) интензивността се повишава с 30 W до изтощение.

Анализирани променливи

Следните параметри от двата теста са взети под внимание: VO_2 отнесена към телесната маса, VE , кислороден пулс (O_2/HR), метаболитен еквивалент (MET) и време до изтощение.



Фиг. 4 Изпълнение на стъпаловидния катерачен тест. Маркировките показват последователността от движения с ръцете. Катерачите трябва да задържат с едната ръка само хватки, маркирани с един цвят

Статистически методи

Вариационен анализ е приложен за изчисляване на средните равнища, стандартните отклонения и доверителните интервали на пиковите стойности на взетите под внимание физиологични параметри и времената на тестовете. Анализирани са динамиките на VO_2 , HR, кислородния пулс и VE. Тест на Стюдънт за зависими извадки е проведен, за да се сравнят пиковите стойности от двата теста. Регресионен анализ е направен, за да се изследва VO_2 -HR зависимостта.

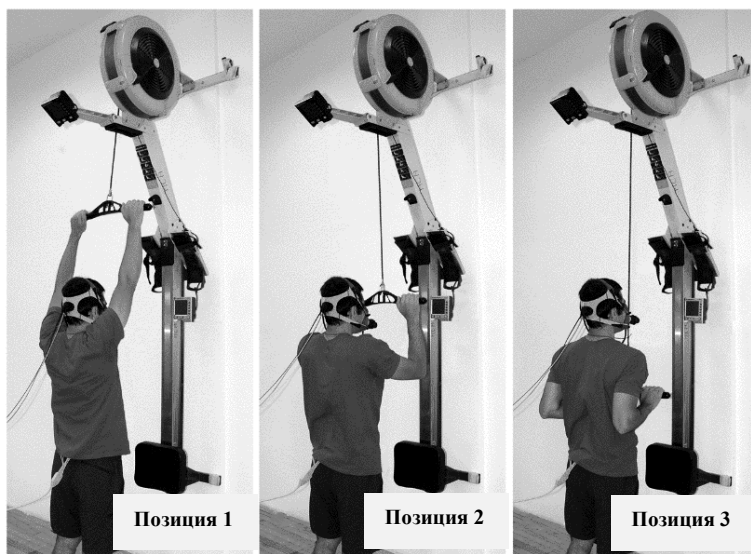
2.6.3. Процедури при третото изследване от първия етап на експерименталната работа

Тестове

Това проучване е проведено, за да бъдат сравнени кардиореспираторни показатели и показатели на физическото натоварване на елитни спортни катерачи, получени от изпълнението на специфичен максимален стъпаловиден тест за горна част на тялото (UBT) и традиционен тест на третбан (TMT), както и да се определи кои от измерваните параметри значително корелират и са специфични за нивото на тренираност на тези катерачи и спортното им постижение в катеренето.

UBT се изпълнява в стоеж на изокинетичен гребен тренажор, монтиран вертикално върху стена (фиг. 5). Работните интервали траят по 95 s (80 s работа, плюс 15 s релаксация). Субмаксимални лактатни проби се взимат по време на всяка фаза на релаксация и в края на теста. Мощността при първия интервал е 20 W и тя трябва да се увеличава с 15 W на всеки следващ работен интервал. Участниците трябва да издърпват многократно ръкохватката надолу, завършвайки движенията при пълна флексия в лакътните стави и екстензия в раменните стави, докато не стигнат до изтощение.

TMT следва протокола на натоварване, въведен от И. Илиев и кол. (1982), и е проведен в отделен ден. Наклонът на третбана е постоянен (2,5%), а началната скорост - 6 km/h. След всеки интервал от 90 секунди скоростта се увеличава с 1.2 km/h до изтощение.



Фиг. 5 Изпълнение на максималния стъпаловиден тест за горна част на тялото. Представени са началната, средната и крайната позиция

Анализирани променливи

От двата максимални теста са анализирани следните параметри: пикова мощност на горна част на тялото (PPO); PPO, отнесена към масата на тялото; максимална скорост на бягане; максимална аеробна мощ, отнесена към телесната маса (VO_{2peak}); време до изтощение; пикови стойности на сърдечната честота (HR_{peak}); Концентрацията на кръвния лактат в края на тестовете ($La_{end-of-test}$) и точките на респираторна компенсация (RCP). RCP е определяна по метода, описан от Beaver et al. (1986), при който се изследва зависимостта между произведения въглероден двуокис (VCO_2) и белодробната вентилация (VE). RCP е представена чрез кореспондиращите стойности на PPO, HR и VO_2 , както и чрез стойностите на La от UBT. Анализирани са и стойностите на HR, VO_2 и La , съответстващи на съотношение на дихателния обмен (VCO_2/VO_2), стабилизирано на 1.00 (RER_1).

Статистически методи

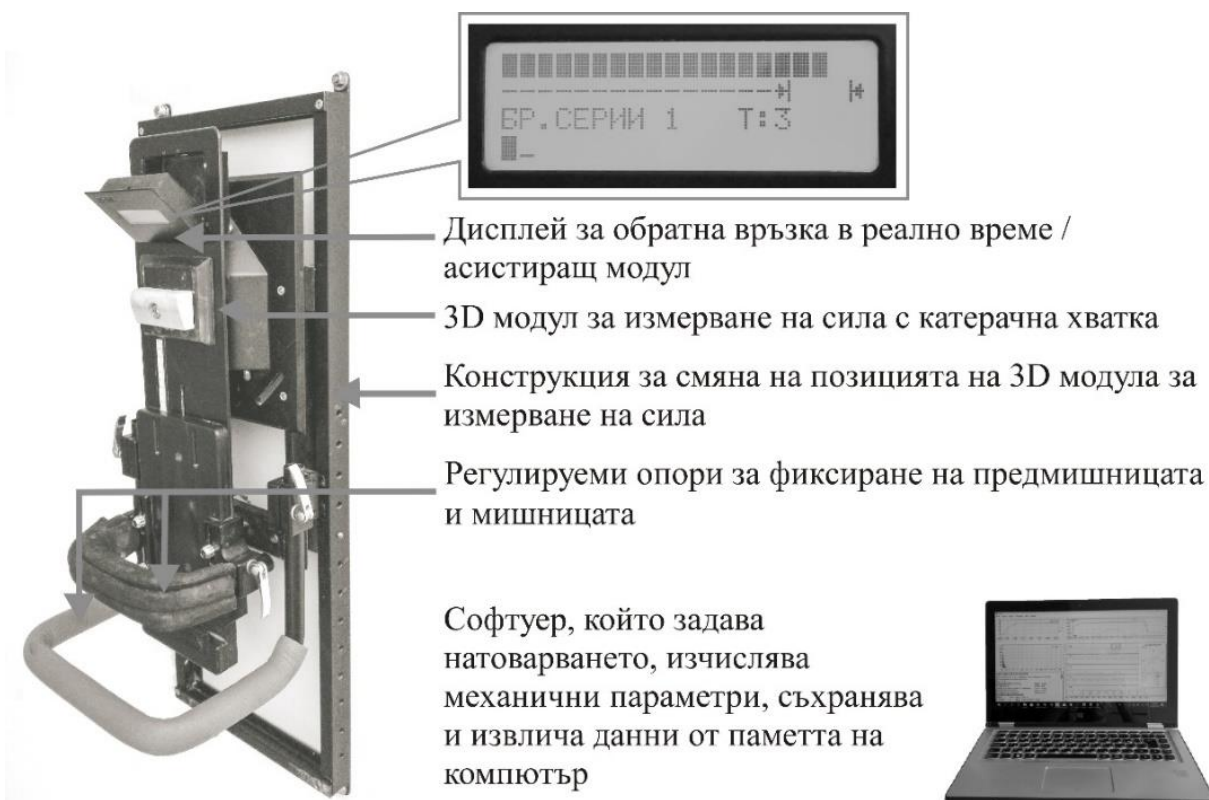
Разликите между променливите са проверени чрез t-критерия на Стюдънт за зависими извадки. Изчислени са коефициентите на корелация на Spearman, отразяващи връзката между измерените променливи и спортното постижение. VO_{2peak} стойностите от двата теста са подложени на регресионен анализ, за да бъде намерено доказателство за валидността на новия тест в скалното катерене.

2.6.4. Описание на иновативната научноизследователската система 3DSAC

Технически характеристики на 3DSAC

3DSAC (фиг. 6) се състои от: 1) 3D модул за измерване на сила с място за монтиране на катерачна хватка; 2) модул за обратна връзка в реално време, който ръководи изследваните лица чрез визуални и звукови сигнали; 3) конструкция за промяна на положението на силоизмервателния модул по вертикалната ос с регулируеми опори за фиксиране на предмишницата и мишницата; и 4) софтуер с възможност за задаване на натоварването, изчисляване на механични параметри, съхраняване и извличане на данни от паметта на компютър.

Модулът за измерване на сила е снабден с радио приемно-предавателна станция за безжичен трансфер на данни и дървена катерачна хватка с дълбочина 23 mm. Неговият аналогово-цифров преобразувател е с точност до 12 бита (0.006 N за нисък значителен бит) и честота на дискретизация 125 Hz. Конфигурацията от силоизмервателни сензори е триаксиална ($\pm F_y$, $\pm F_x$, $+ F_z$), с диапазон на измерване 0-2.5 kN и акуратност 0.5%.



Фиг. 6 Иновативната научноизследователската система 3DSAC за измерване на сила и мускулна издръжливост при катерачи

Възможности на 3DSAC

3DSAC може да се монтира вертикално върху стена. Голям брой механични параметри могат да бъдат изчислени след изпълнение на тестове за максимална сила, тестове с максимално усилие през цялото време или варианти на непрекъснати и интермитентни тестове с фиксирана интензивност. Асистирацият модул позволява на участниците да контролират интензивността на мускулните контракции при изпълнение на непрекъснати или интермитентни тестове, като показва горната и долната граница на целевата зона на силата и графики на прилаганата сила в реално време. Конструкцията за плъзгане на 3DSAC нагоре или надолу и опорите за предмишницата и мишницата са напълно регулируеми, за да могат да фиксират горния крайник на катерачи с различни антропометрични характеристики, което гарантира стандартизиран начин за изпълнение на тестове. Програмирани са осем различни типа тестове. Чрез промяна на параметрите на натоварването могат да се създадат варианти на тестове от един и същ тип. За да се улесни статистическият анализ, данните се извличат за всеки тест поотделно в таблична форма с опции за филтриране на данните по посочени критерии.

2.6.5. Описание на тестовете, приложени в третия етап на експерименталната работа

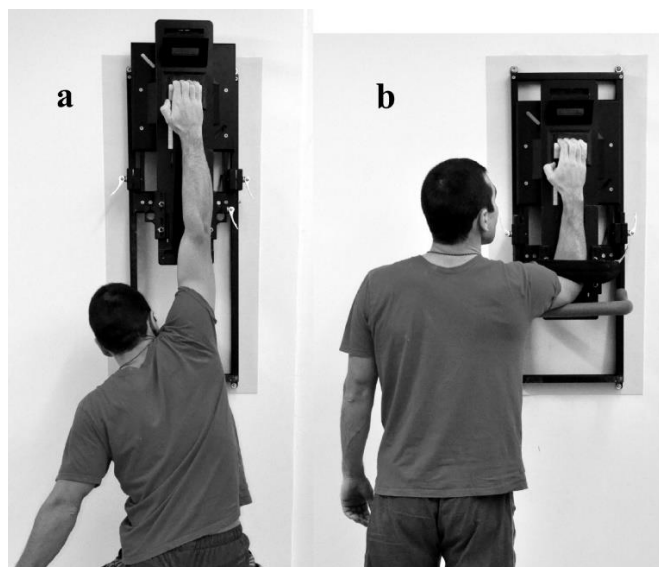
В третия етап на експерименталната работа е изследвана информативността на четири типа тестове: тест за максимална сила, тест с постоянно максимално усилие (наричан накратко „анаеробен тест“), непрекъснат и интермитентен тест при постоянна интензивност. Интермитентният тест е изпълнен също в два варианта: със и без разтърсване на ръката с цел активно възстановяване.

Поза, позиция на горния крайник и хват

Участниците в изследванията изпълняват тестовете изправени, с лице срещу 3DSAC. В повечето случаи това става при 180° флексия в раменна става и пълна екстензия в лакътна става (фиг. 7 а). При първото изследване тестът за максимална сила и анаеробният тест са изпълнени в два варианта – един път със и един път без фиксация. По време на тестовете с фиксация на мишницата и предмишницата лакътната и раменната става са при 90° флексия, а раменната става при 30° абдукция (фиг. 7 б).

Участниците използват хват, който е комбинация между отворения и пречупения катерачен хват (фиг. 8), описани от Schweizer (2011). При тестовете без фиксация катерачите трябва да натоварят хватката, използвайки

собственото си тегло. За целта те сгъват колене и повдигат пети, като същевременно задържат хватката чрез изометрична контракция на мускулите сгъвачи на пръстите. Изследваните два варианта на интермитентните тестове се различават по това, че във фазите на релаксация по време на интермитентните тестове натоварваната ръка или остава на място, без да упражнява натиск върху хватката, или е спускана надолу, встрани от тялото, извършвайки разтърсващо движение.



Фиг. 7 Изпълнение на тест с фиксация (вариант „a“) и без фиксация (вариант „b“) на горния крайник



Фиг. 8 Използваният в изследванията полупречупен – хибриден хват

Тестове, изпълнени от участниците в изследванията

Тестове за максимална сила. По време на тестовете за максимална сила участниците в изследванията изпълняват по три максимални волеви контракции, разделени от почивни интервали от по 1 min. Максималната сила се определя от най-високата стойност на силата от трите опита.

Тестове с постоянно максимално усилие (анаеробни тестове). При анаеробните тестове катерачите трябва да развият максимална сила в началото на мускулната контракция и да се напрягат максимално 30 секунди.

Непрекъснати тестове. Непрекъснатите тестове се изпълняват без фиксация, при интензивност на мускулното усилие 60% MVC, докато участниците не успеят да задържат силата в целевата зона ($\pm 10\%$ от целевата сила).

Интермитентни тестове. Вариантите на интермитентните тестове (със и без разтърсване на ръката), също както интермитентните тестове, се изпълняват без фиксация, при интензивност на мускулното усилие 60% MVC, докато участниците не успеят да задържат силата в целевата зона. Интервалите за мускулно усилие и релаксация са съответно: 8 s и 2 s. Непрекъснатите и интермитентните тестове са прекратявани автоматично, когато генерираната сила пада под долната граница на целевата зона за повече от 1 s.

2.6.6. Процедури при изследванията от третия етап на експерименталната работа

Процедури при изследването за избор на позиция при тестване

Участниците изпълняват общо четири теста: тест за максимална сила със и без фиксация и след това анаеробен тест със и без фиксация. Условието „със и без фиксация“ са рандомизирани.

Анализирани параметри. От тестовете за максимална сила са анализирани максималната (F_m) и относителната сила (F_{m-rel}). От теста за максимална сила с фиксация са взети под внимание градиентите на силата. Средната сила (F_{avg}) и индексът на умора (I_{es}) са взети под внимание при анаеробните тестове.

Статистически методи. За да се определи равнището на значимост (p) на разликите между двете условия („със и без фиксация“), е използван методът за дисперсионен анализ „one way ANOVA with repeated measures“ (за повтарящи се измервания). Стойностите на показателят ω_p^2 (partial omega squared) са изчислени за определяне на практическата значимост, т.е. размера на ефекта на фактора (фиксацията на горния крайник). Връзката между

параметрите на теста и спортното постижение в спортното катерене и боулдъринга е оценена чрез коефициента на корелация (r) на Pearson.

Процедури при изследването за определяне на надеждността на тестовете

Участниците в това изследване Участниците в това изследване посещават лабораторията два пъти (с интервал от 1 седмица между посещенията). И в двата дни те изпълняват едни и същи тестове: 1) тест за максимална сила с фиксация, 2) тест за максимална сила без фиксация, 3) анаеробен тест без фиксация и 4) интермитентен тест без фиксация. Тестовете за максимална сила се провеждат в произволен ред и преди анаеробния и интермитентния тест, които също са рандомизирани.

Анализирани параметри. От тестовете за максимална сила са анализирани максималната (F_m) и относителната сила (F_{m-rel}). От теста за максимална сила с фиксация са взети под внимание и градиентите на силата. Средната сила (F_{avg}) и индексът на умора ($I_{fatigue}$) са взети под внимание в анаеробните тестове. От интермитентния тест са отчетени броят на повторенията, времето в целевата зона ($T_{target-zone}$), импулсът на силата (J) и импулсът на силата (J_{rel}), отнесен към телесната маса.

Статистически методи. За определяне на надеждността на измерванията са изчислени коефициенти на интракласова корелация (ICC) между резултатите от теста и ретеста (inter-session reliability) и границите на съгласие, определени по метода Blant и Altman (1986). Системната грешка е изследвана с one way ANOVA за повтарящи се измервания.

Процедури при изследването за създаване на методика за диагностика на локалния аеробен капацитет

С това изследване е проверено възможно ли е оценяването на локалния мускулен аеробен капацитет, без използването на NIRS устройство за отчитане на оксигенацията на скелетните мускули, чрез анализ на близкия спектър на инфрачервената светлина (near infrared spectroscopy – NIRS). Участниците изпълняват на 3DSAC първо един тест за максимална сила, един непрекъснат и два интермитентни теста (един без и един с разтърсване на ръката) за издръжливост на мускулите сгъвачи на пръстите. Тестът за максимална сила е използван за задаването на интензивността на мускулните усилия (60% MVC) по време на интермитентните и на непрекъснатия тест. Изпълнението на тези три теста е рандомизирано, а почивката между тестовете е поне 20 min. Разликата в продължителността на интермитентния и непрекъснатия тест се

дължи на реперфузия и активното включване на аеробните процеси по време на интервалите на релаксация в интермитентния тест. Колкото по-голяма е тази разлика, толкова по-високо би следвало да е равнището на аеробните възможности на мускула. Затова времената от двата теста са използвани за изчисляването на нов индекс, наречен от нас „аеробен индекс“ (I_a). За валидиране на I_a , освен регистрирането на механични параметри, е измервана и оксигенацията на мускулната тъкан. За определяне на значението на локалните аеробни възможности изследваните катерачи са разделени на две групи: спортни катерачи и боулдеристи.



Фиг. 9 Изпълнение на тест за мускулна издръжливост с отчитане на мускулната оксигенация чрез NIRS устройство

Анализирани параметри. От теста за максимална сила са анализирани максималната (F_m) и относителната сила (F_{m-rel}). При непрекъснатия тест и двата варианта на интермитентния тест са отчетени времето в целевата зона ($T_{target-zone}$), импулсът на силата (J) и импулсът на силата, отнесен към телесната маса (J_{rel}). От интермитентните тестове допълнително е отчетен броят на повторенията. Също така е изчислен производният показател I_a , представляващ отношението на времената ($T_{target-zone}$) от интермитентния и непрекъснатия тест. Анализирани са още мускулната оксигенация (SmO_2) в двата теста за издръжливост, процентът на нейното понижаване (деоксигенация) по време на интервалите на контракция и покачване (реоксигенация) по време на интервалите на релаксация в интермитентния

тест. За целта върху коремчето на дълбокия сгъвач на пръстите (flexor digitorum profundus) е поставено NIRS устройство (Moxu, Minnesota, USA).

Статистически методи. Достоверността на разликите между катерачите в дисциплините „трудност” и боулдър са установени с дисперсионен анализ – one way ANOVA, използван при независими извадки. За установяване на ефекта на фактора „със или без разтърсване“ на ръката е използван методът ANOVA за повтарящи се измервания. И при двата случая на използване на методите ANOVA е изчислена практическата значимост ($\text{partial } \eta^2$). Изчислени са също и коефициентите на обикновена линейна корелация на Pearson за определяне на зависимостите между I_a и параметрите на мускулната оксигенация.

Процедури при изследванията за определяне на валидността на тестовете

За определяне на валидността на теста за максимална сила, анаеробния, непрекъснатия и интермитентния тест са използвани данни от измервания без фиксация на горния крайник и са анализирани резултатите на катерачите от четвърта (22 катерачи), шеста (16 катерачи) и седма група (13 катерачи) – общо 51 изследвани лица. Както при предишните изследвания, така и тук след загряването е изпълнен тест за максимална сила, а тестовете за мускулна издръжливост (анаеробен, непрекъснат и интермитентен) са ранодмизирани.

Анализирани параметри. Анализирани са механичните параметри и аеробният индекс (I_a), както и средната сила (F_{avg}) и индексът на умора (I_{fatigue}) от анаеробния тест.

Статистически методи. За представяне на сведения относно конструктивната валидност на тестовете и техните параметри е направен факторен анализ (по метода на главните компоненти) с ротация Varimax. Със стъпков множествен регресионен анализ е установено в каква степен спортните постижения в спортното катерене и боулдъринга са детерминирани от обособилите се компоненти. За определяне на това доколко параметрите от тестовете измерват признаци, специфични за скалното катерене (критериална валидност), са изчислени коефициенти на корелация на Pearson, отразяващи силата на зависимостта между различните параметри и спортните постижения в спортното катерене и боулдъринга. Коефициентите на корелация са изчислени, като от резултатите на всички изследвани лица, така и резултатите на изследваните лица, разделени на по две групи спрямо тяхната квалификация в дисциплините „трудност“ и боулдър.

Процедури при изследването за изчисляване на относителния дял на енергетичните системи по време на изпълнение на тестовете

В това изследване са изпълнени теста за максимална сила, анаеробния, непрекъснатия и интермитентния тест без фиксация в ред – както е посочено в параграфа, описващ изследванията за определяне на валидността на тестовете. Преди (5 min), по време и след края (10 min) на трите теста за мускулна издръжливост (анаеробен, непрекъснат и интермитентен) непрекъснато се измерват кислородната консумация (VO_2) и съотношението на респираторния обмен (RER), като данните се записват на всяко вдишване (фиг. 10). В покой са взети кръвни проби за определянето на концентрацията на лактата (La). От всеки участник е взета една изходна проба, преди да започне първият тест, и още 9 проби – по три след края на всеки от трите теста за мускулна издръжливост (на първата, втората и третата минута след приключването на тестовете).

Анализирани параметри. Относителното участие на енергетичните системи е отчетено в $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ и в проценти от общия енергоразход. За отчитането на резултатите от различните тестове са подбрани подходящите за всеки от тях механични параметри, уточнени в параграфа, описващ процедурите за определяне на валидността на тестовете.

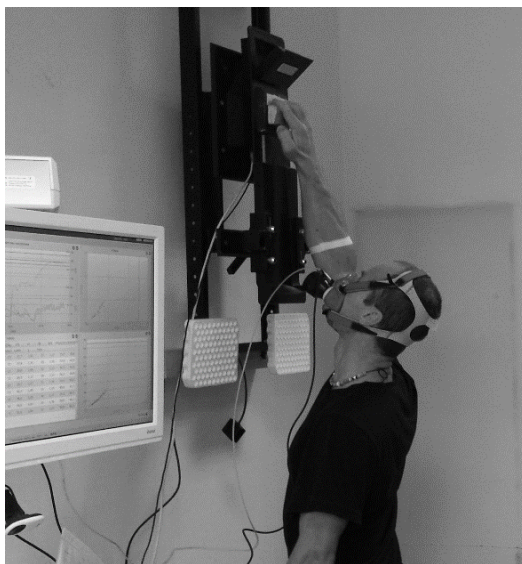
Изчисляване на дела на аеробното, лактатното и алактатното енергоосигуряване. Делът на енергетичните системи във всеки отделен тест е определен с помощта на метода, описан от Beneke (2002, 2004). Аеробният принос (нето) се изчислява от кислородната консумация по време на тестовете над нивото в покой и енергийния еквивалент на O_2 . При определянето на анаеробния лактатен дял $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \Delta\text{La}$ се счита еквивалентен на $3 \text{ ml O}_2 / \text{kg}^{-1}$, което се равнява на $63 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ (Di Prampero and Ferretti, 1999). Делът на анаеробната алактатна система е изчислен по бързата компонента на свръхконсумацията на кислород след натоварването (ЕРОС) и енергийния еквивалент на O_2 (Beneke 2004).

Статистически методи. Енергията, доставена по анаеробно алактатен път, е изчислена чрез регресионен анализ. Динамиката на VO_2 във времето на възстановяване след натоварване е интерполирана, използвайки биекспоненциалното уравнение:

$$\text{VO}_2(t) = a \cdot e^{-t/\tau_a} + b \cdot e^{-t/\tau_b} + c,$$

където $\text{VO}_2(t)$ е кислородната консумация във времето t , a и b са съответно времевите амплитуди на бързата и бавната компонента, τ_a и τ_b са съответстващите времеви константи, c – кислородната консумация в покой. Изчислявайки времевата константа τ_a и параметърът a е установено общото количество консумиран кислород при бързата компонента на ЕРОС (свръх

консумацията на кислород след натоварване), а оттам и енергията, доставена от фосфокреатин.



Фиг. 10 Регистриране на показатели на газообмена по време на тест

Скали и нормативи за оценка на специфичните силови качества и периферни функционални възможности

Проведените изследвания в третия етап на изследователската работа са в основата на създаването на методика за задълбочен анализ на състоянието на специфични за скалното катерене физически качества и периферни функционални възможности. За да може да се сравнява състоянието на различните способности и да се определи доколко то е удовлетворително, е възприет подходът резултатите от тестовете да се превръщат в Z-точки и T-точки. Определени са и граничните стойности за превръщане на Z-точките и T-точките в качествени словесни оценки. При измерваните показатели, които силно корелират със спортното постижение, е използван и регресионният метод на оценяване. За целта са определени параметрите на линейната функция:

$$Y = a + bX,$$

където X е конкретен резултат от даден тест, а Y е теоретично очакваното спортно постижение в стила redpoint. Това е регресионната оценка, представена в категория на трудност по метричната скала на IRCRA (Draper et al. 2015). Получаването на общата оценка става на базата на определените чрез множествена стъпкова регресия параметри на уравнение от типа:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_nX_n$$

3. РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ

3.1. РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗСЛЕДВАНИЯТА ЗА ИЗБОР НА ПОДХОДЯЩ ТЕСТ ЗА ОЦЕНКА НА АЕРОБНИЯ КАПАЦИТЕТ И СПЕЦИФИЧНАТА РАБОТОСПОСОБНОСТ В СКАЛНОТО КАТЕРЕНЕ

3.1.1. Физиологични реакции по време на два теста с фиксирани темпо и трудност на катерене

Резултатите от това изследване носят сведения доколко могат тестовите с фиксирани темпо и трудност да послужат при диагностиката на специфичната работоспособност и дали е по-добре те да са по-силови и кратки (тест 1), или по-продължителни с по-лесни отделни движения (тест 2).

Резултати

Средните стойности и стандартните отклонения (SD) на физиологичните показатели и продължителността на двата теста за катерене са представени в таблица 1. По-удобните за задържане хватки в тест 2 значително ($p = 0.005$) увеличават продължителността на тест 2 спрямо продължителността на тест 1. Няма значителни разлики ($p > 0.05$) между HR, VO_2 или La_{3min} от двата теста. Типът хватки обяснява съответно 35% и 44% от дисперсията на HR_{peak} и VO_{2peak} . Ефектът от типа на хватките върху VE и RER е още по-голям: съответно 76% и 45% (таблица 1). VE и RER в тест 2 са значително ($p < 0.05$) по-големи от тези в тест 1. HR_{avg} , VO_{2avg} и La_{3min} от двата теста не се различават достоверно ($p > 0.05$) и размерите на ефекта от типа използвани хватки са по-малки (таблица 1).

$La_{clearance10min}$ и $La_{clearance20min}$ са съответно 1.4 ± 0.5 mmol/l и 2.8 ± 0.6 mmol/l. Елиминирането на La след 10 и 20 минути възстановяване, изразен като процент от нарастването на La, е съответно $37.2 \pm 12.3\%$ и $74.7 \pm 7.9\%$. % $La_{clearance20min}$ значително корелира със спортните постижения ($r = 0.75$, $p = 0.033$ за стила redpoint и $r = 0.82$, $p = 0.012$ за стила on-sight).

Таблица 1 Сравнение на физиологичните показатели, регистрирани при двата теста (n = 8).

Параметър	Тест 1	Тест 2	Разлики		P	Partial η^2
	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	Доверителен интервал		
HR _{avg} (bpm)	154 ± 15	156 ± 14	1 ± 6	-4 – 6	0.528	0.059
HR _{peak} (bpm)	166 ± 16	171 ± 13	6 ± 9	-2 – 13	0.093 ^a	0.353 ^b
VO _{2avg} (ml/min/kg)	28.2 ± 2.7	29.2 ± 2.1	1 ± 2.1	-0.7 – 2.8	0.202	0.220
VO _{2peak} (ml/min/kg)	34.1 ± 4.8	37 ± 2.1	2.9 ± 3.5	0.0 – 5.8	0.051	0.442
VE (l/min) *	47.7 ± 9.2	54.8 ± 6.7	7.1 ± 4.2	3.5 – 10.6	0.002	0.761
RER *	0.89 ± 0.10	0.95 ± 0.07	0.06 ± 0.07	0.00 – 0.12	0.048	0.450
La _{3min} (mmol/l)	5.7 ± 0.8	6 ± 0.7	0.4 ± 1.1	-0.6 – 1.3	0.397	0.104
Продължителност (s) **	111 ± 54	255 ± 127	144 ± 102	59 – 229	0.005	0.694

* достоверни разлики между тест 1 и тест 2 ($p < 0.05$); ** достоверни разлики между тест 1 и тест 2 ($p < 0.01$); \bar{x} , средни стойности; SD, стандартни отклонения, HR_{avg}, средни стойности на HR; HR_{peak}, пикови стойности на HR; VO_{2avg}, средни стойности на VO₂; VO_{2peak}, пикови стойности на VO₂; VE, средни стойности на белодробната вентилация; RER, средни стойности на съотношението на респираторния обмен; p, равнище на значимост на разликите в средните равнища от двата теста; Partial η^2 , практическа значимост; ^ap-стойност, изчислена по метода Wilcoxon's Signed Ranks Test; ^bCohen's r^2 или η^2

Силата на хвата, измерена с обичайно използваните ръчни динамометри, и силата на сгъвачите на пръстите при специфичен хват са съответно: 53.63 ± 16.86 kg и 54.26 ± 6.68 kg. Коефициентите на относителната сила на хвата, измерена с ръчен динамометър, и относителната специфична сила са съответно: 0.795 и 0.805. Тези резултати не корелират значително ($p > 0.05$) нито с постиженията в спортното катерене, нито с продължителността на тестовете. Независимо от това специфичната относителна сила корелира умерено ($r = 0.482$) с продължителността на тест 1. Коефициентите на корелация между продължителността на тестовете като зависими променливи и параметрите VO₂, сила на хвата, измерена с ръчен динамометър, специфична сила и спортните постижения са представени в таблица 2. Единствените значими корелации ($p < 0.05$) са между VO_{2peak} и продължителността на тест 1, между VO_{2avg} и продължителността на тест 2, както и между продължителността на тест 1 и спортните постижения.

Таблица 2 Коефициенти на корелация между постиженията в тестовите и показателите кислородна консумация и катерачни постижения в стиловете redpoint и on-sight.

	VO ₂ от Тест 1		VO ₂ от Тест 2		Относителна специфична сила	Относителна сила	Redpoint	On-sight
	VO _{2avg} (ml/kg/min)	VO _{2peak} (ml/kg/min)	VO _{2avg} (ml/kg/min)	VO _{2peak} (ml/kg/min)				
Продължителност на Тест 1	0.54 (p = 0.171)	0.8* (p = 0.017)			0.482 (p = 0.226)	-0.001 (p = 0.998)	0.94** (p = 0.001)	0.8* (p = 0.016)
Продължителност на Тест 2			0.85** (p = 0.008)	0.33 (p = 0.432)	-0.042 (p = 0.920)	-0.208 (p = 0.621)	0.6 (p = 0.114)	0.52 (p = 0.191)

* достоверна корелация ($p < 0.05$); ** достоверна корелация ($p < 0.01$); VO₂, кислородна консумация; VO_{2avg}, средна стойност на VO₂; VO_{2peak}, пикова стойност на VO₂

Обсъждане на резултатите

Използването на по-удобни за задържане хватки в тест 2 намалява трудността на отделните движения и увеличава повече от два пъти продължителността на катеренето в сравнение с тест 1. Общата трудност на двата теста обаче може да се счита за идентична, тъй като усилието е максимално и в двата случая.

За разлика от продължителностите на двата теста, стойностите на HR, VO₂ и La_{3min} не се повлияват значително от създадените условия. Въпреки това HR_{peak} и VO_{2peak}, получени от тест 2, са по-високи съответно с 5 уд./min и 3 ml/min/kg, отколкото тези, получени от тест 1. Освен това VE и RER в тест 2 са значително по-високи в сравнение с тест 1. Това най-вероятно е поради по-голямата продължителност на тест 2, която трябва да има по-голямо влияние върху кардиореспираторната система. Втора причина може да бъде по-голямата величина на локалната умора на мускулите на предмишницата, по-големите силови изисквания и по-малкото натоварване на целия организъм при по-краткия тест (тест 1). Ефектът от типа на хватките върху HR_{avg}, VO_{2avg} и La_{3min} е по-малък. Тези показатели са сходни и в двата теста и отразяват в по-голяма степен величината на усилието (или общата трудност на катерене), която и в двата случая е максимална, отколкото на интензивността (моментното усилие, създадено от типовете хватки), която е различна в двата теста. Наблюдаваните в това изследване промени въз физиологичните показатели, както и описаните в литературата физиологични реакции по време на катерене не са типични за останалите спортове. Това означава, че

физиологичните показатели са трудно приложими в оперативния контрол при катерачи.

Откритие на настоящото проучване е, че % $La_{clearance20min}$ силно корелира със спортното постижение в катеренето и е важен показател за тренираността на катерачите, който може да се прилага в етапния контрол на тренировъчния процес. Този резултат разширява ограничената употреба на лактатните артериални проби в скалното катерене, които не дават правилна представа за локалния метаболизъм. Настоящото проучване също показва, че измерванията на VO_2 по време на тестове, където натоварването е стандартизирано и се осъществява чрез катерене, са подходящи за оценяването на специфичната физическа работоспособност. Важен факт от настоящото проучване е, че специфичните аеробни способности са основен фактор, определящ продължителността на катеренето. Тази констатация може да възпре катерачите от пренебрегването на тренировките с аеробна насоченост и фокусирането предимно върху развитието на сила. Спортното катерене изисква контракции на мускулите на предмишницата с голяма интензивност. Затова специфичната сила на сгъвачите на пръстите корелира силно със спортното постижение. Настоящото изследване показва, че подобно на VO_{2avg} , специфичната сила, а не силата, измерена с ръчен динамометър, определя продължителността на тест 1. Специфичната сила обаче не корелира с продължителността на Тест 2, докато показателите на VO_2 корелират. Освен това максималните специфични натоварвания при тест 1 и тест 2 предизвикват по-голямо повишаване на VO_2 в сравнение с VO_2 , измерена от други автори. Настоящите стойности биха могли да бъдат още по-високи при същия модел на натоварване както в тест 1 и тест 2, но в случай че изследваните лица не траверсират, а катерят във вертикална посока.

Резултатите от настоящото изследване са важни предвид наличните до момента данни за аеробния капацитет на катерачите. Досега е известно, че катерачите имат сравнително ниска VO_{2max} (от максимални стъпаловидни тестове на третбан или велоергометър) (Billat et al. 1997; De Geus et al. 2006; Sheel et al. 2003; Rodio et al. 2008; Watts, Drobish 1998; М. Михайлов 2006). Освен това в някои ситуации в катеренето аеробният капацитет може да играе второстепенна роля. Продължителните изометрични мускулни усилия и големият силов компонент в катеренето са най-вероятните причини за липсата на значими и високи корелации между VO_{2peak} и спортното постижение в настоящото, както и в други изследвания, при които са провеждани катерачни тестове до изтощение. Дали е възможна такава зависимост, се проверява със следващите две изследвания на настоящия труд.

В настоящото изследване катерачите с по-добри спортни постижения продължават по-дълго и в двата теста. Това показва, че моделът на тестване

(катерене с фиксирани темпо и трудност до изтощение) е приложим за измерване на специфичната издръжливост в катеренето. Също така се очертава, че аеробният капацитет на катерачите трябва да е сред факторите, които ограничават специфичната работоспособност, но от голямо значение за този спорт са и силата, и анаеробният капацитет. Според по-високите и статистически значими корелации между постижението в тест 1 и двата вида спортни постижения (redpoint и on-sight), най-вероятно краткосрочната силова издръжливост е по-важна в катеренето, отколкото способността да се устоява дълго по маршрути, изискващи по-лесни отделни движения.

Обобщение

Откритие е, че по-високите стойности на $\% \text{La}_{\text{clearance20min}}$ са индикатор за по-високо ниво на тренираност на катерачите и са свързани с възможността за достигане до по-високи специфични стойности на VO_2 , което определя и по-голяма продължителност на катерене. Така, въпреки че $\text{VO}_{2\text{peak}}$ и $\text{VO}_{2\text{avg}}$ не корелират със спортното постижение, VO_2 се оказва важен физиологичен показател за оценка на специфичната работоспособност в скалното катерене. Приложим се оказва моделът на изследваните тестове за специфична издръжливост. Въпреки това по-силовият и по-кратък тест изглежда по-подходящ.

Типът хватки влияе по-силно на пиковите, отколкото на средните стойности на HR и VO_2 . Пиковите стойности на тези показатели са по-високи при по-продължителния тест. Въпреки това $\text{La}_{3\text{min}}$, $\text{VO}_{2\text{avg}}$ и HR_{avg} няма да се различават при различни комбинации от хватки и продължителност на катерачни тестове до изтощение. Тези средни стойности по-скоро отразяват величината на натоварването, отколкото на отделните мускулни усилия. Следователно тези показатели могат да бъдат използвани за оценка на работоспособността, а не за контрол на интензивността по време на катерене.

3.1.2. Кардиореспираторни реакции по време на катерене със стъпаловидно покачване на трудността

Резултатите от това изследване показват доколко тестовете с фиксирано темпо на катерене по големи хватки до изтощение и със стъпаловидно увеличаване на трудността чрез накланяне на стената са подходящи за контрола на специфичната работоспособност, както и дали този модел на тест може да доведе до максимално натоварване на системно равнище (глобална умора) и до достигане на пикова стойност на VO_2 , която да корелира със спортното постижение и да е близка до пиковата стойност на VO_2 , измерена чрез максимален стъпаловиден велоергометричен тест.

Резултати

Пиковите стойности на VO_2 , HR, VO_2/HR , VE и MET от двата теста, както и времето до изтощение (продължителността на тестовете) са посочени в таблица 3. Пиковите стойности на VO_2 , VO_2/HR , и VE са значително по-ниски при катерачния тест ($p < 0.01$). Въпреки това пиковата стойност на VO_2 от катерачния тест ($\text{VO}_{2\text{peak-climbing}}$) представлява 82% от пиковата стойност на VO_2 от велоергометричния тест ($\text{VO}_{2\text{peak-cycling}}$), а разликите между пиковите стойности на HR са малки (HR_{peak} от велоергометрията е само с 3 уд./min по-голяма) и недостоверни ($p = 0,136$). Пиковите стойности на VO_2 от двата теста не корелират със спортното постижение в скалното катерене.

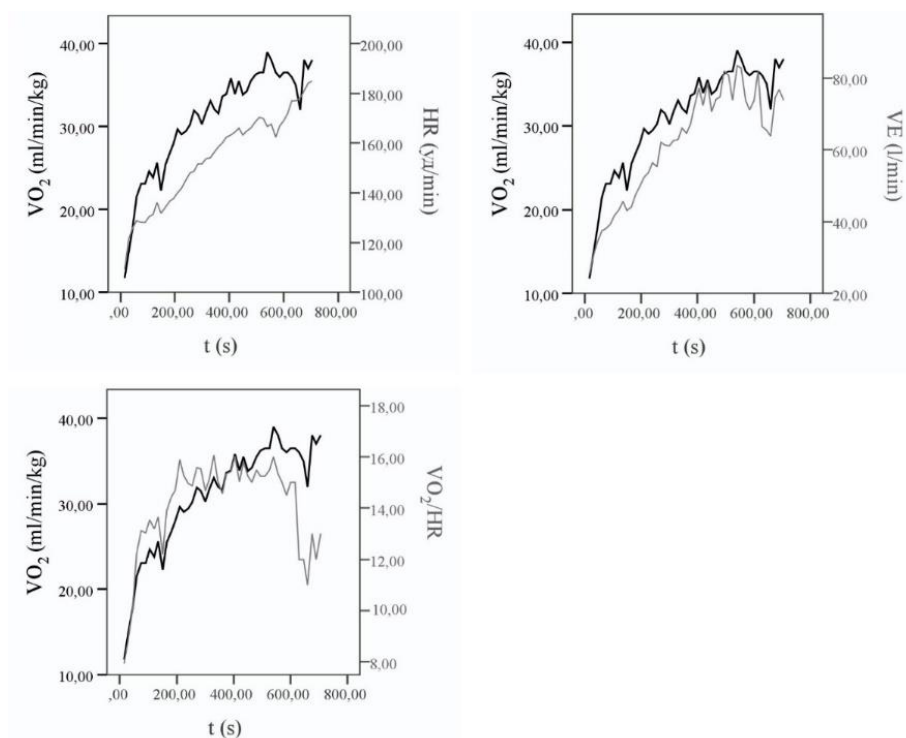
Таблица 3 Пикови стойности, стандартни отклонения и доверителни интервали на физиологичните параметри и времето до изтощение при катерачния и велоергометричния тест

Параметри	Стъпаловиден катерачен тест		Стъпаловиден велоергометричнен тест		P
	$\bar{x} \pm \text{SD}$	Доверителен интервал	$\bar{x} \pm \text{SD}$	Доверителен интервал	
$\text{VO}_{2\text{peak}}$ (ml/min/kg) **	41.7 ± 2.4	39.1 – 44.2	50.7 ± 5.2	45.2 – 56.1	0.004
HR_{peak} (bpm)	181 ± 7	174 – 189	184 ± 5	179 – 189	0.136
$\text{VO}_2/\text{HR}_{\text{peak}}$ **	17.2 ± 2.1	14.9 – 19.4	20.3 ± 2.3	18.0 – 22.7	0.006
VE_{peak} (l/min) **	101.4 ± 12.7	88.1 – 114.8	149.4 ± 22.2	126.1 – 172.7	0.000
MET **	11.9 ± 0.7	11.2 – 12.6	14.5 ± 1.5	12.9 – 16.0	0.004
Време до изтощение (s) **	505 ± 113	386 – 623	793 ± 86	703 – 882	0.003

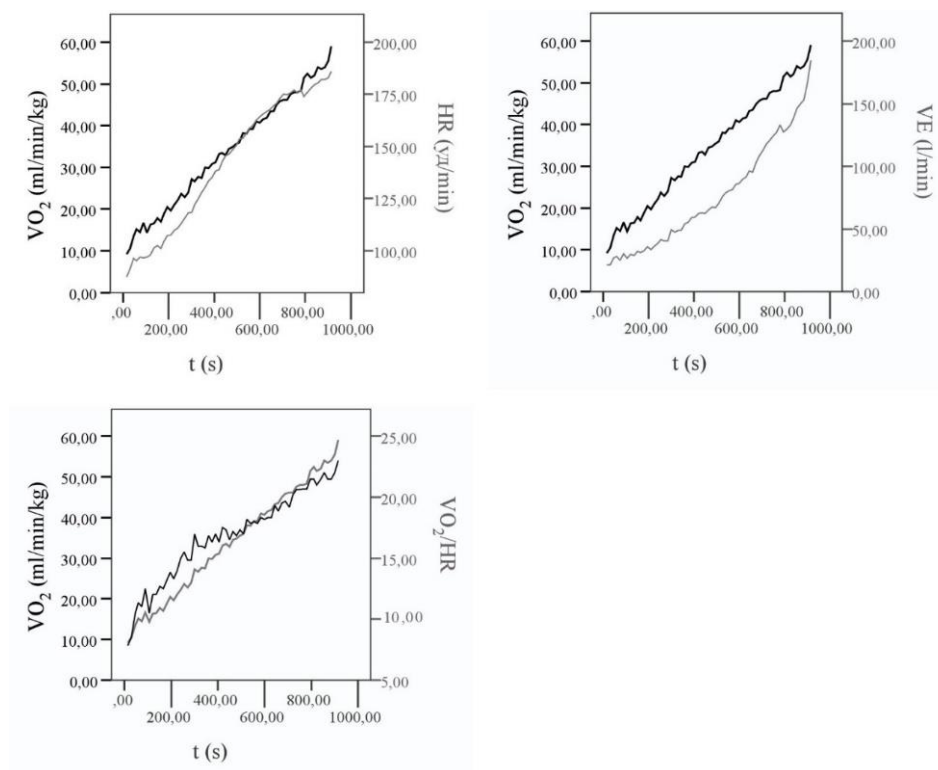
** достоверни разлики между двата теста ($p < 0.01$); \bar{x} , средни стойности; SD, стандартни отклонения; HR_{peak} , пикови стойности на сърдечната честота; $\text{VO}_{2\text{peak}}$, пикови стойности на кислородната консумация; VE_{peak} , пикови стойности на белодробната вентилация; p, равнище на значимост на разликите в средните равнища на параметрите от двата теста; Partial η^2 , практическа значимост

Динамиката на VO_2 , HR, VO_2/HR и VE е показана на фигури 11 и 12. Тези фигури илюстрират съществуващите разлики между двата теста. Параметрите варират по-силно в катерачния тест по отношение на общата им тенденция на нарастване. Общата тенденция на кривата на VO_2 в катерачните тестове се характеризира с намалено нарастване в средата на тестовете и рязко нарастване в края (фиг. 13). Връзката VO_2 -HR изглежда линейна и в двата теста (фиг. 14). Въпреки това по време на катерачния тест нарастването на HR е по-голямо спрямо нарастването на VO_2 , сравнявайки с нарастването на HR и VO_2 по време на велоергометричния тест (т.е. при подобни стойности на HR стойностите на VO_2 в катерачния тест са значително по-малки от стойности на VO_2 във велоергометричния тест). Този феномен е илюстриран в таблица 3 и на фигура 14. Въпреки това F-критерият на Фишер и коефициентите на детерминация (R^2) показват, че линейните регресионни модели на

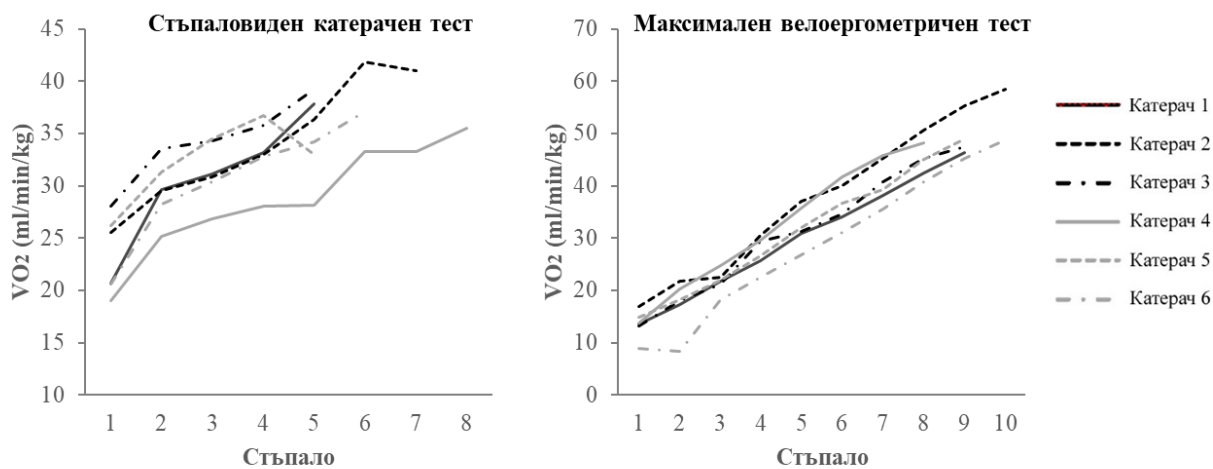
зависимостта VO_2 -HR са адекватни и при двата теста ($R^2 = 0.63$, $F = 339$, $p < 0.01$ при катерачния тест; $R^2 = 0.888$, $F = 2343$, $p < 0.01$ при велоергометричния тест). Вижда се обаче, че по време на велоергометричния тест HR определя по-силно VO_2 , отколкото по-време на катерачния тест. С регресионния анализ са определени и параметрите на линейните уравнения, чрез които може да се предскаже каква стойност на VO_2 се очаква при дадена стойност на HR ($y = 0.286x - 12.914$ при катерачния тест; $y = 0.38x - 20.562$ при велоергометричния тест).



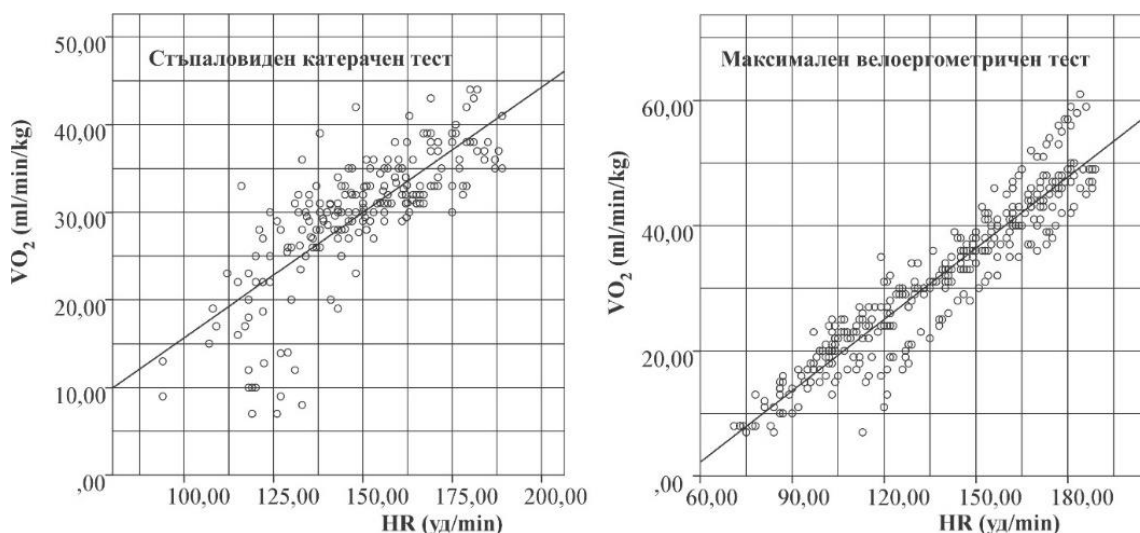
Фиг. 11 Динамика на кислородната консумация (VO_2), сърдечната честота (HR), белодробната вентилация (VE) и кислородния пулс (VO_2/HR) в стъпаловидния катерачен тест. Брой на участниците: първи 450 s ($n = 6$), 450-540 s ($n = 3$), 540-630 s ($n = 2$), > 630 s ($n = 1$). *Забележка:* поради по-малкия брой катерачи, достигнали последните три стъпала, крайните части на кривите са по-малко представителни по отношение на обобщаването на физиологичните реакции в края на теста



Фиг. 12 Динамика на кислородната консумация (VO_2), сърдечната честота (HR), белодробната вентилация (VE) и кислородния пулс (VO_2/HR) в стъпаловидния велоергометричен тест. Брой на участниците: първи 810 s ($n = 6$), 810-900 s ($n = 5$), > 900 секунди ($n = 2$). *Забележка:* поради по-малкия брой катерачи, достигнали последните три стъпала, крайните части на кривите са по-малко представителни по отношение на обобщаването на физиологичните реакции в края на теста



Фиг. 13 Динамика на кислородната консумация (VO_2). Кривите са построени с осреднени данни от всяко стъпало на катерачния и велоергометричния тест



Фиг. 14 Диаграми на зависимостите между кислородната консумация (VO_2) и сърдечната честота (HR) в катерачния и велоергометричния тест

Обсъждане на резултатите

Резултатите от това изследване показват, че при определени условия VO_2 по време на катерене може да достигне сравнително високи стойности (41.7 ml/min/kg). $VO_{2\text{peak-climbing}}$ представлява голяма част от $VO_{2\text{peak-cycling}}$ (82%). Този процент е значително по-висок от процентите, докладвани от Sheel et al. (2003): 51% по време на по-трудно и 45% по време на лесно катерене. Сравнително високата $VO_{2\text{peak-climbing}}$ в настоящото изследване може да се обясни с факта, че катерачният тест е изпълнен при стандартизирани условия, водещи до изтощение и значително намаляващи задържането на статични позиции поради фиксираното темпо на катерене. Наложеното темпо (2 движения с ръцете на всеки 5 s) повишава интензивността от гледна точка на това, че не позволява типичните за катеренето почивки на по-лесните участъци от маршрутите, което ще доведе до спад на VO_2 . Освен това значително е намалено времето за контакт с хватките, което е известно, че средно е 8 s (Fuss, Niegler 2008), както и е увеличена честота на фазите на релаксация на мускулите на предмишницата. Големият размер на хватките е друг фактор, който увеличава продължителността на теста и допринася за по-високото изкачване на VO_2 .

Функционалното натоварване в края на стъпаловидния катерачен тест може да се характеризира като „много тежко“ (11.9 MET) и е по-голямо от по-рано споменатото в научната литература по темата (8.4 – 9 MET) (Watts, Drobish 1998). Подобните стойности на HR в катерачния и велоергометричния

тест предполагат, че този протокол (модел на натоварване) за катерачен тест предизвиква не само дълбока периферна умора, но и води до максимално или близко да максималното натоварване на системно равнище. Необходими са обаче допълнителни изследвания, за да се разбере дали пиковите стойности на VO_2 , измерени чрез специфични тестове, могат да корелират със спортните постижения. Въпреки намаляването на статичното време в настоящия катерачен тест е възможно най-правилният начин за измерване и оценяване на аеробния капацитет и работоспособността на катерачите да са максимални стъпаловидни ергометрични тестове, които да натоварват горната част на тялото и да изискват динамичен режим на мускулна работа.

Колебанията на VO_2 , VO_2/HR и VE в катерачния тест се дължат най-вероятно на интермитентните изометрични усилия, които, макар и да са редуцирани, не могат да бъдат напълно избегнати и които са придружени от артериална оклузия и задържане на дишането, което нарушава периферното кръвообращение и затруднява доставката на кислород. Друго явление, наблюдавано в катерачния тест, е малкият наклон на средната част на кривата на VO_2 . В ранните проучвания в областта на скалното катерене е наблюдавано диспропорционално покачване на HR в сравнение с VO_2 (Sheel 2004). Когато трудността се увеличава чрез увеличаване на наклона на стената, HR прогресивно нараства, но VO_2 остава относително постоянна. Затова VO_2 - HR зависимостта по време на катерене се счита за нелинейна (Mermier et al. 1997; Watts, Drobish 1998). Малкото увеличение на кислородния пулс в настоящото проучване предполага, че сърдечният дебит като основен фактор, влияещ на VO_2 , най-вероятно се определя от увеличена HR , а не толкова от ударния обем на сърцето. Освен това изглежда правдоподобно факторът, ограничаващ най-силно VO_2 по време на катерене, да е утилизацията на кислорода в скелетните мускули. Възможно е резултатът в катерачния тест, както и маршрутите за спортно катерене (дори и по-дългите от тях) да се реализират в голяма степен за сметка на силовия компонент и анаеробно алактатната енергетична система. В подкрепа на това предположение е фактът, че $\text{VO}_{2\text{peak-climbing}}$ (както абсолютните стойности, така и отнесените към телесната маса) не корелира със спортното постижение.

Настоящото изследване потвърждава, че HR по време на катерене стига по-близко своя пик от велоергометричен тест отколкото VO_2 . Независимо от това зависимостта VO_2 - HR се оказва линейна в настоящия катерачен тест. Практическото приложение на този резултат е, че по време на тренировка чрез катерене в подобни на настоящия тест условия HR може да служи като показател за контрол на интензивността на функционалното натоварване.

Обобщение

Катеренето до изтощение по големи хватки, което не изисква продължителни статични позиции, може да предизвика на системно равнище максимално или близко до максималното натоварване и достигането на $VO_{2peak-climbing}$, която да представлява много голям дял от $VO_{2peak-cycling}$. Това предполага, че аеробният метаболизъм може да играе важна роля в този иначе силов спорт. Зависимостта между VO_2 и HR може да бъде линейна в някои катерачни ситуации. Тази нова констатация може да се приложи в спортната практика при оперативния контрол на функционалния ефект по време на тренировка. Липсата на корелация между $VO_{2peak-climbing}$ и спортното постижение в скалното катерене обаче изисква търсенето на по-подходящ тест за диагностика на аеробния капацитет и специфичната работоспособност при катерачи.

3.1.3. Нов максимален ергометричен тест за горна част на тялото за оценка на аеробния капацитет и работоспособността на катерачи

Това изследване отговаря на въпроса дали максимален ергометричен тест за горна част на тялото при динамичен режим на мускулните усилия е по-подходящ за функционална диагностика в скалното катерене, отколкото стандартните максимални стъпаловидни ергометрични тестове и катерачни тестове до изтощение.

Резултати

В таблица 4 са поместени субмаксималните и максималните физиологични параметри от изпълнението на максималния тест за горна част на тялото (UBT) и максималния тест на третбан (TMT). HR, VO_2 и La са представени на фигура 15 като пикови стойности, като стойности при $RER = 1$ (RER_1) и при точката на респираторна компенсация (RCP). Спортното постижение, както и някои антропометрични характеристики значително корелират с параметри от UBT (таблица 5).

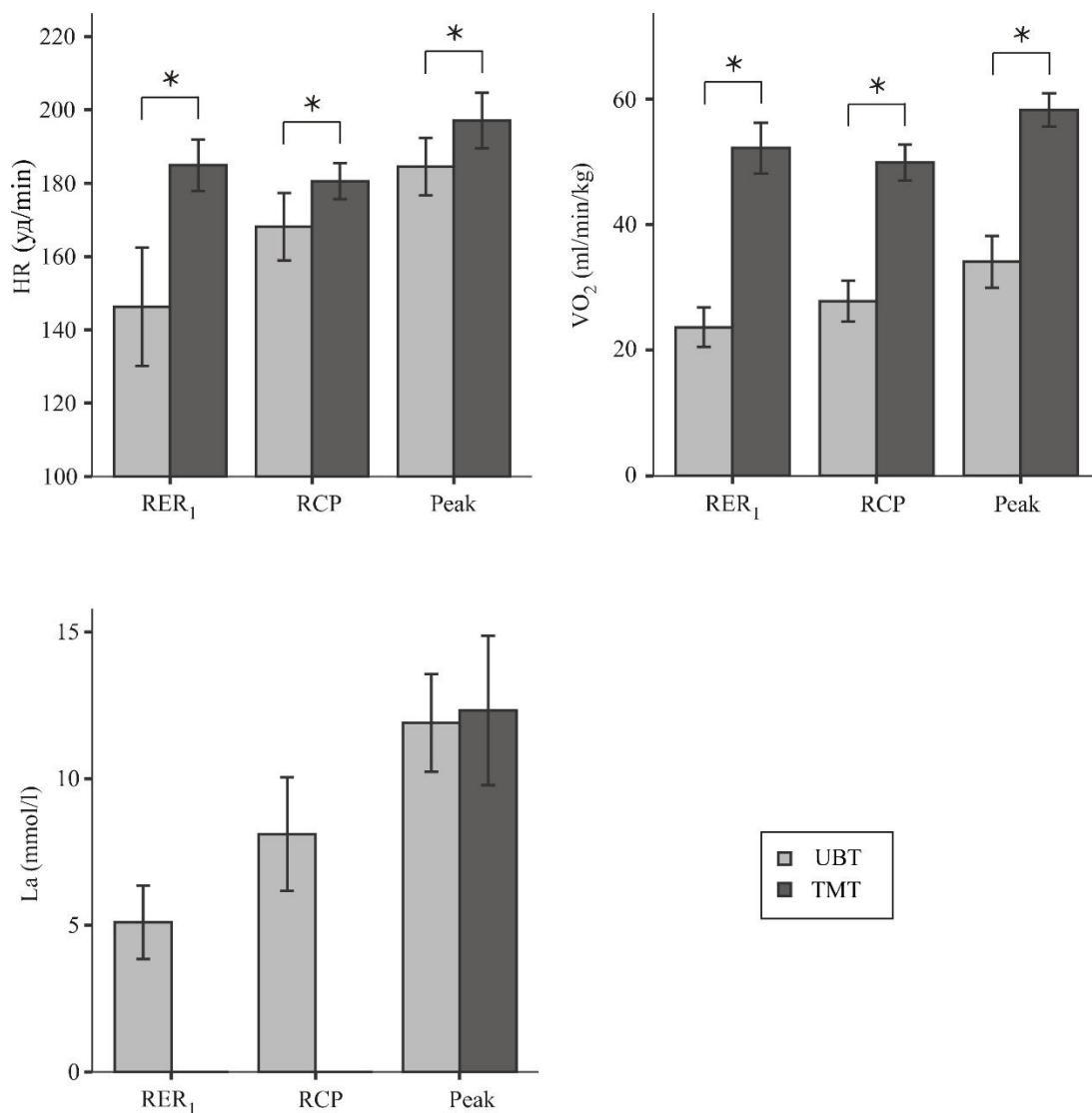
VO_{2peak} в UBT е с 24.2 ml/min/kg по-ниска ($p < 0.001$) от VO_{2peak} в TMT. Въпреки това VO_{2peak} в UBT корелира значително със спортните постижения в стиловете redpoint и on-sight ($p < 0.05$). VO_{2peak} в TMT не корелира нито със спортните постижения ($p > 0.05$), нито с VO_{2peak} в UBT ($r = -0.06$, $p = 0.854$). PPO в UBT, отнесена към телесната маса, значително корелира с текущите спортни постижения в стиловете redpoint и on-sight ($p < 0.01$).

Таблица 4 Параметри на физическата работоспособност и физиологични показатели от максималните стъпаловидни тестове (n = 11)

Тест	Параметър	\bar{x}	SD	Min	Max
Ергометричен тест за горна част на тялото	PPO (W)	135.0	26.7	103.0	185.0
	PPO/kg (W/kg)	2.0	0.2	1.6	2.4
	Време до изтощение (s)	694.5	142.1	520.0	960.0
	VO _{2peak} (ml/min/kg)	34.1	4.1	26.9	41.2
	HR _{peak} (уд./min)	184.5	7.8	173.0	193.0
	La _{end of test} mmol/l	11.9	1.7	9.1	14.2
	RCP като процент от PPO (%)	80.6	0.9	79.2	82.5
Тест на третбан	Максимална скорост (km/h)	14.1	1.0	12.3	15.2
	Време до изтощение (s)	717.3	58.0	580.0	780.0
	VO _{2peak} (ml/min/kg)	58.3	2.6	53.7	62.9
	HR _{peak} (уд./min)	197.1	7.6	187.0	210.0
	La _{end of test} mmol/l	12.3	2.5	7.5	17.4
	RCP като процент от максималната скорост (%)	81.0	0.6	80.0	82.2

PPO, максимална мощност; PPO/kg, PPO, отнесена към телесната маса; VO_{2peak}, пикова кислородна консумация; HR_{peak}, пикова сърдечна честота; La_{end of test}, концентрация на кръвния лактат на края на теста; RCP, точка на респираторна компенсация

HR_{peak} в UBT е по-ниска с 13 уд./min ($p < 0.001$) от HR_{peak} в TMT. La_{end-of-test} в UBT е по-ниска с 0.4 mmol/l от La_{end-of-test} в TMT ($p = 0.554$). Субмаксималните стойности на VO₂ и HR също са по-ниски в UBT. Стойности на VO₂ в UBT при RER₁ и RCP са по-ниски с 28.5 и 22.1 ml/min/kg ($p < 0.001$). Стойностите на HR в UBT при RER₁ и RCP са по-ниски с 39 и 12 уд./min ($p < 0.001$). Не е установена достоверна разлика между RCP в UBT и RCP в TMT ($P = 0.295$), изразени съответно като проценти от PPO и максималната скорост. Разликите в стойностите на HR, VO₂ и La при RER₁ и RCP в UBT са съответно 26 уд./min ($p < 0.001$), 4.7 ml/min/kg ($p < 0.001$) и 3 mmol/l ($p < 0.001$). Разликите между стойностите на HR и VO₂ при RER₁ и RCP в TMT са съответно 3 уд./min ($p = 0.096$) и 1.7 ml/min/kg ($p = 0.177$). След достигане на RER₁ катерачите са в състояние да продължат натоварването още 366.4 ± 83.5 s в UBT и 152.7 ± 75.3 s в TMT.



Фиг. 15 Средни стойности и стандартни отклонения на физиологичните параметри от двата максимални стъпаловидни теста (n = 11)

UBT, тест за горна част на тялото; TMT, тест на третбан; HR, сърдечна честота; VO₂, кислородна консумация; La, концентрация на кръвния лактат; RER₁, RER = 1.00; RCP, точка на респираторна компенсация; Графични символи на стандартните отклонения: ± 1SD; * значителни разлики (p < 0.001) между UBT и TMT.

Значителни разлики (p < 0.001) между HR при RER₁ и RCP и VO₂ при RER₁ и RCP са открити само при UBT; Проби La не са вземани по време на TMT

Таблица 5 Коефициенти на корелация, представящи зависимостите между някои параметри от максималния тест за горна част на тялото, антропометрични характеристики и спортните постижения в различните стилове на катерене (n = 11)

	PPO/kg	VO _{2peak} /kg	Индекс на телесната маса	Процент телесни мазнини ^a
Най-добър redpoint	0.55 (p = 0.081)	0.67* (p = 0.025)	-0.65* (p = 0.029)	-0.51 (p = 0.109)
Най-добър on-sight	0.47 (p = 0.146)	0.68* (p = 0.022)	-0.46 (p = 0.160)	-0.27 (p = 0.430)
Текущ redpoint	0.80** (p = 0.003)	0.72* (p = 0.013)	-0.63* (p = 0.038)	-0.78** (p = 0.004)
Текущ on-sight	0.75** (p = 0.007)	0.85** (p = 0.001)	-0.46 (p = 0.150)	-0.63* (p = 0.039)

* коефициенти на корелация при равнище на значимост $p < 0.05$; ** коефициенти на корелация при равнище на значимост $p < 0.01$; ^a процент телесни мазнини, изчислен по метода на Durnin and Womersley (1974). В таблицата са включени само показателите, корелиращи значимо ($p < 0.05$) със спортните постижения

Обсъждане на резултатите

Основното откритие на това изследване е, че PPO и VO_{2peak} (и двете отнесени към телесната маса) от специализирания за катерачи UBT силно корелират със спортните постижения в катеренето. Настоящото изследване демонстрира за първи път, че сред извадка от елитни катерачи аеробният капацитет е пряко свързан с постижението в катеренето. За разлика от традиционния протокол на тест на третбан, UBT е ефективен физиологичен модел на натоварване за катерачи, в голяма степен съобразен със специфичната умора в скалното катерене.

Предимствата на новия специализиран за катерачи UBT са, че тестването е стандартизирано и може да бъде възпроизведено от други изследователи. Ергометричното оборудване може да се набави, протоколът не изисква много време или специални умения от изследователя. Средната продължителност (min:s) на натоварването е 11:38 (размах 8:30–16:00). Съотношението между продължителността на стъпалата и стъпката на нарастване на интензивността води до достатъчна продължителност на теста, за да могат да бъдат изчислени субмаксималните маркери и да се достигне до стойности на VO_{2peak} ($34,1 \pm 4,1$ ml/min/kg), кореспондиращи с VO_{2peak} от трудно катерене (20.3–42.2 ml/min/kg) (Watts 2004). Също така UBT предизвиква повишаване на физиологичните параметри във времето, което

съответства на тяхната динамика в традиционно прилаганата ергометрия. Затова е възможно определянето на субмаксимални физиологични маркери като вентилаторния праг RCP, което не е постигано в тестове с катерене поради нестандартния характер на натоварването в този спорт.

В UBT е налице по-ранна поява на анаеробното енергоосигуряване при всички изследвани лица. RER_1 е достигнат при VO_2 , съответстваща на 70% от VO_{2peak} , и след този праг катерачите са в състояние да работят средно 6 минути, което е повече от половината от общото време (53%). Това явление не се наблюдава при TMT, където VO_2 при RER_1 е 90% от VO_{2peak} и времето на работа след RER_1 е 21% от общото време. Фигура 15 илюстрира това откритие. Двата субмаксимални маркера, използвани в това изследване (RER_1 и RCP, изразени като HR и VO_2), не се различават значително в TMT, докато RER_1 в UBT е постигнат по-рано при значително по-ниски стойности на HR и VO_2 . Силовият и интермитентен характер на натоварването в катеренето също изисква биоенергетика, при която се разчита и на аеробния, и на анаеробния метаболизъм (Sheel 2004). Фактът, че субмаксималните маркери са различни само в UBT, предполага, че той е съобразен със спецификата на натоварването в скалното катерене.

Докато VO_{2peak} и PPO от UBT корелират със спортното постижение в катеренето по-силно, отколкото се очаква, VO_{2peak} от TMT не корелира значително нито със спортното постижение в катеренето, нито с VO_{2peak} от UBT. Това потвърждава, че UBT е по-подходящ за оценяване на максималната аеробна мощ на катерачите, а традиционните максимални тестове на третбан или велоергометър могат да служат за контрола на общата работоспособност. Изследваните катерачи са с по-високи стойности на VO_{2peak} от TMT от наличните в научните публикации стойности на VO_{2peak} от ергометрия от общ характер на катерачи (Billat et al. 1995; De Geus et al. 2006; Michailov 2006; Sheel et al. 2003; Rodio et al. 2008; Watts & Drobish 1998). Следователно ползите от редовното катерене оказват положителен ефект не само върху развиването на специфични за този спорт способности, но също така и върху кардиореспиаторната система и общата работоспособност.

Обобщение

Настоящото изследване предоставя доказателства, че аеробният капацитет е сред основните фактори на високото спортно майсторство в скалното катерене. Показателите за аеробен капацитет и работоспособност в UBT силно определят спортното постижение. Новият тест за максимална аеробна мощност е фокусиран върху мускулатурата на горната част на тялото, съобразен е със спецификата на натоварването в скалното катерене и е по-подходящ за оценка на специфичната работоспособност в този спорт, за

разлика от стандартните стъпаловидни тестове на третбан. Все пак катерачите притежават добри нива на обща работоспособност и ергометричните тестове с натоварване от общ характер не трябва да се изоставят.

3.2. РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗСЛЕДВАНИЯТА ЗА СЪЗДАВАНЕ НА МЕТОДИКА ЗА ДИАГНОСТИКА НА СПЕЦИФИЧНА СИЛА, МУСКУЛНА ИЗДРЪЖЛИВОСТ И ЛОКАЛЕН АЕРОБЕН И АНАЕРОБЕН КАПАЦИТЕТ

3.2.1. Избор на позиция при тестване и надеждност на измерванията на сила и мускулна издръжливост

С тези резултати е определена надеждността на тестовете за максимална сила и мускулна издръжливост на сгъвачите на пръстите и е изяснено доколко стандартизираната позиция чрез фиксация на горния крайник повишава надеждността на измерванията и намалява тяхната специфичност.

Резултати

Ефектът от фиксирането на горния крайник е показан в таблица 6. Катерачите генерират по-високи максимални стойности на силата, когато тестът за максимална сила и тестът с постоянно максимално усилие са изпълнени без фиксация. Освен това зависимостта между силата и спортните постижения в боулдъринга и спортното катерене (дисциплината „трудност“) е по-силна при тестовете без фиксация (таблица 7). Интересен е фактът, че състоянието „без фиксация“ показва различни зависимости със спортните постижения в спортното катерене ($r^2 = 0.48$) и боулдъринга ($r^2 = 0.66$) спрямо състоянието „с фиксация“ ($r^2 = 0.42$ за постиженията в спортното катерене и $r^2 = 0.42$ за постиженията в боулдъринга). Максималната и средната сила от теста с максимално усилие през цялото време корелират със спортните постижения в катеренето. Това обаче не се отнася за индекса на умора.

Висока надеждност е установена за тестовете за максимална сила, като ИСС е малко по-висок при състоянието „с фиксация“ (таблица 8). Тази позиция води до нива на надеждност на градиентите на силата – от ниски до умерени. Висока е и надеждността на интермитентния тест с най-високи стойности на ИСС при времето в целевата зона и импулса на силата. Висока е надеждността на теста с постоянно максимално усилие по отношение на максималната и средната сила. Индексът на умора показва умерена надеждност.

Таблица 6 Сравнение на теста за максимална сила и теста с максимално усилие за 30 s, изпълнени със и без фиксация на горния крайник (n = 22)

Тест	Параметър	С фиксация	Без фиксация	p	ω_p^2
		$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$		
Maximal strength test	F_m (N)	484 \pm 112	546 \pm 132	< 0.001	0.398
30 s all-out test	F_m (N)	459 \pm 123	500 \pm 116	< 0.001	0.376
	F_{avg} (N)	369 \pm 100	392 \pm 94	0.042	0.151

F_m , максимална сила; F_{avg} , средна сила; p, равнище на значимост на разликите в средните равнища на параметрите от тестовете със и без фиксация; ω_p^2 , практическа значимост (partial omega squared)

Таблица 7 Коефициенти на корелация, представящи зависимостите между теста за максимална сила и теста с максимално усилие за 30 s и спортните постижения в спортното катерене и боулдъринга (n = 22)

		Позиция на горния крайник	Спортно катерене	Боулдъринг
Тест за максимална сила	F_m (N)	С фиксация	0.458*	0.448*
		Без фиксация	0.611*	0.735*
	F_m (N/kg)	С фиксация	0.648*	0.649*
		Без фиксация	0.690*	0.815*
Тест с максимално усилие за 30 s	F_m (N)	С фиксация	0.495*	0.527*
		Без фиксация	0.555*	0.661*
	F_{avg} (N)	С фиксация	0.654*	0.723*
		Без фиксация	0.655*	0.764*
	$I_{fatigue}$ (%)	С фиксация	0.185	0.132
		Без фиксация	-0.166	-0.184

* коефициенти на корелация при равнище на значимост $p < 0.05$; F_m , максимална сила; F_{avg} , средна сила; $I_{fatigue}$, индекс на умора

Таблица 8 Средни (\pm SD) стойности на параметрите от теста и ретеста за измерванията в тестовите за максимална сила, теста с постоянно максимално усилие за 30 s и интермитентния тест; равнище на значимост на разликите; граници на съгласие и интракласови коефициенти на корелация ($n = 9$)

Тест	Параметър	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	p	95% LOA	ICC
Тест за максимална сила без фиксация	F_m (N)	563 ± 100	574 ± 111	0.549	102.40	0.878
Тест за максимална сила с фиксация	F_m (N)	518 ± 101	537 ± 121	0.163	75.06	0.941
	GS (N/s)	2024 ± 1124	1480 ± 796	0.218	2395.69	0.213
	I_{es} (N/s)	390 ± 202	276 ± 151	0.062	309.70	0.607
Тест с максимално усилие за 30 s	F_m (N)	512 ± 96	517 ± 92	0.797	96.16	0.864
	F_{avg} (N)	408 ± 92	416 ± 83	0.474	68.26	0.921
	$I_{fatigue}$ (%)	24.67 ± 10.32	28.63 ± 9.46	0.237	15.54	0.701
Интермитентен тест	Брой повторения	13 ± 3.10	13 ± 2.69	0.842	3.17	0.845
	$T_{target-zone}$ (s)	85.64 ± 22.07	87.91 ± 20.27	0.519	19.77	0.887
	FTI (N.s)	24596 ± 5431	26402 ± 5366	0.048	4558.49	0.907

F_m , максимална сила; I_{es} , градиент на силата (индекс на експлозивната сила); GS, градиент на силата по време на ранната фаза на мускулната контракция; F_{avg} , средна сила; $I_{fatigue}$, индекс на умора; T_{tz} , време в целевата зона, J, импулс на силата; p, равнище на значимост на разликите в средните равнища на параметрите от теста и ретеста; LOA, граници на съгласие (limits of agreement); ICC, вътрешнокласов коефициент на корелация (intraclass correlation coefficient)

Обсъждане на резултатите

Настоящото изследване за пръв път предлага тест с постоянно максимално усилие за 30 s за оценка на анаеробната мощ на сгъвачите на пръстите при катерачи. Освен това то предоставя информация за надеждността на измерванията на сила и мускулна издръжливост при специфичен катерачен хват. Доколкото ни е известно, това е първото изследване, установяващо надеждността на тестове за мускулна издръжливост в катеренето. Това проучване също определя ефекта от фиксацията на горния крайник върху надеждността и критериалната валидност на специфични тестове за сила и мускулна издръжливост. Резултатите показват, че повечето параметри имат високо ниво на надеждност, както и че от двете позиции на тестване тази без фиксация е за предпочитане.

Максималната и средната сила от теста за максимална сила и теста с постоянно максимално усилие за 30 s, както и броят на повторенията и времето на интермитентния тест са параметри, които отразяват действителното състояние на измерените способности. С най-висока относителна надеждност

(ICC) е максималната сила, постигната при фиксирано положение на горния крайник. Скоростта, с която се развива силата (градиентите на силата) в теста за максимална сила, и индексът на умора от теста с постоянно максимално усилие за 30 s са съответно с умерена и ниска надеждност. Следователно те трябва да бъдат анализирани с повишено внимание и участниците трябва да се стремят да изпълняват тестовете правилно. Също така трябва да се внимава с импулса на силата от интермитентния тест. Импулсът на силата има висока относителна надеждност, но по време на второто изследване (ретест) е значително по-висок ($p < 0.05$). Това може да се обясни с ефекта от научаването на теста, който може да допринесе за това участниците да влизат по-бързо в целевата зона на силата и да бъдат по-прецизни при поддържането на целевата сила.

Въпреки че най-висока стойност на ICC има максималната сила, реализирана с фиксация, позицията без фиксация изглежда по-подходяща, тъй като резултатите от тестовете без фиксация са в по-силна зависимост със спортните постижения в катеренето (таблица 8) в сравнение с резултатите от тестовете с фиксация. Освен това при позицията без фиксация може да се развие повече сила. Систематичното отклонение на максималната сила между двете позиции е 62 N.

Новият тест с постоянно максимално усилие за 30 s се оказва много надежден, ако се вземе под внимание средната сила. Тя също така силно детерминира спортното постижение ($r^2 = 0.58$). Това предполага успешно практическо приложение на този параметър при оценката на анаеробната мощ при катерачи.

3DSAC не може да бъде валидиран с друга апаратура, която да се ползва като критерий, тъй като няма устройство за измерване на сила в катеренето, което да се счита за „златен стандарт“. Независимо от това силните зависимости между спортното постижение и резултатите от тестовете за максимална сила и мускулна издръжливост, както и високата надеждност на повечето параметри предполагат, че 3DSAC е подходящ и надежден уред за измерване и оценяване на работоспособността в скалното катерене. Изчисляването на няколко параметъра от всеки тест предоставя подробна информация за състоянието на специфична тренираност на катерачите. По този начин могат да се определят съотношенията в нивата на по-богат набор от ключови фактори на спортното постижение, което е предпоставка за оптимизиране на тренировъчния процес. Интензивността на натоварването по време на катерене не може да бъде контролирана. Използването на устройства като 3DSAC за тренировъчни цели позволява насочване на натоварването към конкретен работен режим и постигане на желаните физиологични и тренировъчни ефекти.

Обобщение

За предложените тестове са налице доказателства за достатъчно висока критериална валидност и надеждност. Параметрите от тестовете (максимална и средна сила, време в зоната на целевата сила и импулс на силата) са много надеждни, с изключение на градиентите на силата от теста за максимална сила и индекса на умора от теста с постоянно максимално усилие за 30 s. Затова катерачите трябва да се стремят да изпълняват правилно тези тестове. Става ясно, че фиксацията по време на тест за сгъвачите на пръстите осигурява малко по-висока надеждност. По този начин обаче тестът намалява своята специфичност и затова е препоръчително тестване без фиксация на горния крайник.

3.2.2. Разработване на методика за диагностика на локалния аеробен капацитет

В тази глава са представени резултати, които служат за създаването на методика за диагностика на локалния мускулен аеробен капацитет. С настоящото изследване е проверено също кой вариант на интермитентен тест (със или без разтърсване на ръката) е по-информативен относно локалните аеробни възможности.

Резултати

Активният начин на възстановяването във фазите на релаксация при интермитентния тест с разтърсване на ръката води до значително ($p < 0.05$) по-дълго време на теста ($\uparrow 22\%$), по-голям импулс на силата ($\uparrow 28\%$) и по-бърза реоксигенация ($\uparrow 32\%$) в сравнение с изпълнението на интермитентния тест без разтърсване на ръката. Времето на мускулна контракция е 1.80 пъти по-дълго в интермитентния тест, отколкото в непрекъснатия тест. При спортните катерачи този показател, наречен от нас „аеробен индекс“ (I_a), е с по-висока стойност от при боулдеристите (1.98 спрямо 1.48). Също така е установен достоверен коефициент на корелация ($p < 0.05$) за зависимостта между I_a и реоксигенацията по време на интервалите на релаксация, придружени с разтърсване на ръката в интермитентния тест ($R^2 = 0.29$, $p < 0.05$).

Резултатите от непрекъснатия и интермитентния тест с разтърсване на ръката са представени съответно в таблици 9 и 10. Достоверни разлики са получени по отношение на параметрите на мускулната оксигенация. При боулдър катерачите стойностите на деоксигенацията по време на мускулните контракции и реоксигенацията по време на интервалите на релаксация са значително по-ниски. Спадът на оксигенацията по време на непрекъснатия тест е илюстриран на фиг. 16. Разликите в продължителността на тестовете,

импулсите на силата и относителните импулси на силата на двете групи не са значими ($p > 0.05$). По-висока е практическата значимост на разликите в продължителността на тестовете. Катерачите в дисциплината „трудност“ издържат средно с 8.4 s повече в непрекъснатия тест и с 42.6 s повече в интермитентния тест.

Таблица 9 Резултати от непрекъснатия тест

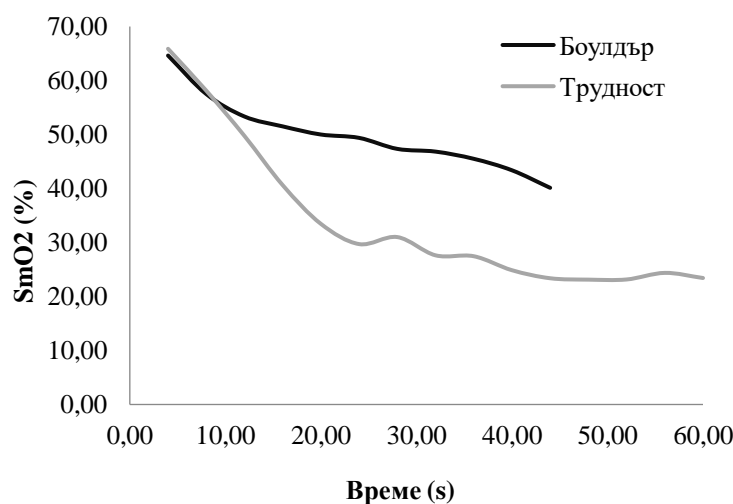
Параметри	Дисциплина	$\bar{x} \pm SD$	p	Partial η^2
Време в зададените граници (s)	Спортно катерене (n 12)	60.6 \pm 13.0	0.15	0.111
	Боулдъринг (8)	52.2 \pm 11.5		
	Общо (n 20)	57.3 \pm 12.8		
J (N.s)	Спортно катерене (n 12)	17487 \pm 5039	0.98	< 0.001
	Боулдъринг (8)	17433 \pm 4294		
	Общо (n 20)	17466 \pm 4636		
J (N.s/kg/s)	Спортно катерене (n 12)	249 \pm 74	0.98	< 0.001
	Боулдъринг (8)	250 \pm 80		
	Общо (n 20)	250 \pm 74		
Оксигенация ср. стойности (% SmO ₂)	Спортно катерене (n 12)	28.75 \pm 7.09	0.01	0.361
	Боулдъринг (8)	38.93 \pm 7.36		
	Общо (n 20)	32.82 \pm 8.68		
Оксигенация минимални стойности (% SmO ₂)	Спортно катерене (n 12)	13.47 \pm 8.47	0.01	0.348
	Боулдъринг (8)	25.63 \pm 8.17		
	Общо (n 20)	18.34 \pm 10.17		

J, импулс на силата; p, равнище на значимост на разликите между катерачите, практикуващи спортно катерене и боулдъринг; partial η^2 , практическа значимост на разликите

Таблица 10 Резултати от интермитентния тест с разтърсване на ръката

Параметри	Дисциплина	$\bar{x} \pm SD$	p	Partial η^2
Време в зададените граници (s)	Спортно катерене (n 12)	120.04 \pm 54.54	0.06	0.182
	Боулдъринг (8)	77.42 \pm 30.33		
	Общо (n 20)	102.99 \pm 50.20		
J (N.s)	Спортно катерене (n 12)	34811 \pm 17299	0.28	0.065
	Боулдъринг (8)	26830 \pm 12383		
	Общо (n 20)	31618 \pm 15679		
J (N.s/kg/s)	Спортно катерене (n 12)	509 \pm 289	0.32	0.056
	Боулдъринг (8)	388 \pm 194		
	Общо (n 20)	460 \pm 257		
Оксигенация (% SmO ₂)	Спортно катерене (n 12)	20.07 \pm 9.32	0.16	0.109
	Боулдъринг (8)	26.09 \pm 8.18		
	Общо (n 20)	22.48 \pm 9.17		
Реоксигенация (% SmO ₂)	Спортно катерене (n 12)	18.05 \pm 5.35	0.01	0.295
	Боулдъринг (8)	12.10 \pm 3.59		
	Общо (n 20)	15.67 \pm 5.50		
Деоксигенация (% SmO ₂)	Спортно катерене (n 12)	19.59 \pm 5.25	0.06	0.179
	Боулдъринг (8)	15.56 \pm 2.81		
	Общо (n 20)	17.98 \pm 4.80		

J, импулс на силата; оксигенация, средни стойности на SmO₂ от целия тест; реоксигенация, покачване на SmO₂ в интервалите на релаксация; деоксигенация, понижаване на SmO₂ в интервалите на контракция; p, равнище на значимост на разликите между катерачите, практикуващи спортно катерене и боулдъринг; partial η^2 , практическа значимост на разликите



Фигура 16 Индивидуални динамики на мускулната оксигенация на дълбокия съгвач на пръстите по време на продължителна изометрична контракция

Обсъждане на резултатите

Основният принос на това изследване е предложената нова и лесно приложима методика за оценяване на локалните аеробни възможности на мускула. За критерий обосновано може да служи аеробният индекс, чиято корелация с реоксигенацията е значителна по сила и статистически достоверна ($p < 0.05$). Резултатите от това изследване са предпоставка за по-широкото навлизане на диагностиката на локалния мускулен аеробен капацитет в спортната практика поради възможността необходимата информация да бъде получена само на базата на резултатите от тест за максимална сила и два теста за мускулна издръжливост (непрекъснат и интермитентен при интензивност 60% MVC, при която се стига до тотална оклузия). Този подход успешно може да се използва във всички спортни дисциплини, където състезателната дейност трае минути, не часове и се извършва при висока скорост или е със силов характер. Това ще позволи задълбочен анализ на аеробните възможности и ще разкрие тяхното равнище за сметка на кои от факторите (централен или периферен) се постига. Това от своя страна ще определи върху кои методи за развиване на издръжливостта да се акцентира.

Значими корелации на аеробния индекс с оксигенацията в непрекъснатия тест и деоксигенацията по време на изометричните контракции в интермитентния тест не са открити. Това потвърждава, че разликата във времената на двата теста се определя предимно от реоксигенацията по време на интервалите на релаксация в интермитентния тест. Следователно аеробният индекс носи информация по-скоро за доставката на кислорода до работещите мускули и неговата екстракция (извличане от капилярите), отколкото за неговото използване (т.е. за митохондриалните функции).

Аеробният индекс не може напълно да замени NIRS, без която няма как да се измери деоксигенацията и съответно да се оцени способността на мускула да оползотворява кислорода по време на контракция. Боулдър катерачите деоксигенират значително по-малко дълбокия сгъвач на пръстите в непрекъснатия тест и имат достоверно по-ниска реоксигенация в интервалите на релаксация в интермитентния тест. Те обаче разполагат с по-високо ниво на максималната сила, като същевременно спортните им постижение са сходни с на спортните катерачи.

Обобщение

Това изследване представя нов практически подход за оценяване на локалния мускулен аеробен капацитет. За критерий успешно може да служи така нареченият аеробен индекс, представляващ отношението между времената на мускулна контракция от интермитентен и непрекъснат тест при интензивност на мускулните усилия, представляваща 60% MVC. За неговото

определяне е препоръчително да се прилага интермитентен тест с разтърсване на ръката надолу. Различията в оксигенацията при катерачи в дисциплините боулдър и „трудност“ показват, че локалните аеробни възможности са от по-голямо значение за успеха в спортното катерене, отколкото в боулдъринга.

Настоящата методика разширява възможностите за контрол на специфичната работоспособност и функционални възможности при катерачи и е предпоставка за по-широко въвеждане на диагностиката на локалния мускулен аеробен капацитет в спортната практика, което ще е от особена полза в дисциплините със субмаксимална и голяма мощност.

3.2.3. Валидност на параметрите от тестовете за максимална сила и мускулна издръжливост

Представените по-долу резултати показват колко са специфични и смислени за контрола на тренираността на катерачите (критериална валидност), както и за кой латентен признак измерваните с 3DSAC параметри носят информация и в каква степен (конструктивна валидност).

Резултати

Таблица 11 показва средните стойности и стандартните отклонения (\pm SD) на параметрите, измервани в тестовете за сила и мускулна издръжливост, както и ориентира за границите, в които могат да попаднат резултатите на повечето катерачи (95% от случаите), които изпълнят различните тестове. Повечето параметри варират сравнително малко.

В таблица 12 са представени коефициенти на корелация между спортните постижения в скалното катерене и параметрите, измервани в различните тестове. Най-силни са зависимостите между постиженията и параметрите, отнесени към телесната маса. Голяма по сила е зависимостта на постиженията от $F_{m/kg}$ и $F_{avg/kg}$ и $J_{/kg}$ от непрекъснатия тест. Значителна по сила е зависимостта между спортните постижения и $J_{/kg}$ от интермитентния тест. Слаба до умерена е зависимостта между постиженията и I_a .

Таблица 11 Средни стойности (\pm SD) на параметрите, измерени при изпълнението на тестовете за сила и мускулна издръжливост ($n = 51$)

Тест	Параметри	$\bar{x} \pm SD$	Доверителен интервал
Тест за максимална сила	F_m (N)	560 ± 111	520 – 601
	$F_{m/kg}$ (N/kg)	8.04 ± 0.19	7.26 – 8.68
Тест с постоянно максимално усилие за 30 s	F_m (N)	509 ± 107	482 – 565
	F_{avg} (N)	398 ± 81	364 – 426
	$F_{avg/kg}$ (N/kg)	5.68 ± 0.14	5.03 – 6.12
	$I_{fatigue}$ (%)	36.00 ± 12.32	31.89 – 40.10
Интермитентен тест	Брой повторения	15.4 ± 5.51	13.8 – 17.1
	T_{tz} (s)	97.74 ± 25.87	89.11 – 106.36
	J (N.s)	30911 ± 10915	27272 – 34549
	$J_{/kg}$ (N.s/kg)	441 ± 167	385 – 497
Непрекъснат тест	T_{tz} (s)	59.36 ± 12.40	55.23 – 63.50
	J (N.s)	18605 ± 5014	16149 – 19921
	$J_{/kg}$ (N.s/kg)	267 ± 78	228 – 285
	I_a	1.66 ± 0.39	1.53 – 1.79

F_m , максимална сила; $F_{m/kg}$, относителна сила; F_{avg} , средна сила; $F_{avg/kg}$, средна сила, отнесена към телесната маса; $I_{fatigue}$, индекс на умора; T_{tz} , време в целевата зона; J, импулс на силата; $J_{/kg}$, импулс на силата, отнесен към телесната маса; I_a , аеробен индекс; r , равнище на значимост на коефициентите на корелация

$F_{m/kg}$ корелира по-силно с постижението в боулдъринга ($r = 0.82$), отколкото в спортното катерене ($r = 0.74$), а с увеличаване на квалификацията в боулдъринга корелацията между $F_{m/kg}$ и спортното постижение намалява (от $r = 0.76$ на $r = 0.56$). Импулсът на силата от интермитентния тест, както и аеробният индекс, корелира по-силно с постиженията в спортното катерене ($r = 0.55$), отколкото в боулдъринга ($r = 0.45$), а с увеличаване на квалификацията и в двете дисциплини корелацията между импулса на силата от интермитентния тест и спортните постижения намалява (от $r = 0.62$ на $r = 0.23$ в спортното катерене и от $r = 0.48$ на $r = 0.16$ в боулдъринга). За разлика от импулса на силата от интермитентния тест, импулсът на силата от непрекъснатия тест корелира приблизително еднакво силно със спортните постижения в спортното катерене ($r = 0.77$) и в боулдъринга ($r = 0.81$), като с увеличаване на квалификацията корелацията между импулса на силата от непрекъснатия тест и спортните постижения намалява само в боулдъринга (от $r = 0.72$ на $r = 0.49$). При катерачите с по-висока квалификация в боулдъринга индексът на умора корелира достоверно с постижението ($r = -0.45$), докато това не се наблюдава в останалите случаи.

Таблица 12 Коефициенти на корелация между параметрите от тестовете и спортните постижения в спортното катерене и боулдъринга (n = 51)

Тест	Параметри	Redpoint постижение в спортното катерене	Redpoint постижение в боулдъринга
Тест за максимална сила	F _m	0.63** (p < 0.001)	0.73** (p < 0.001)
	F _{m/kg}	0.74** (p < 0.001)	0.82** (p < 0.001)
Тест с постоянно максимално усилие за 30 s	F _m	0.56** (p < 0.001)	0.65** (p < 0.001)
	F _{avg}	0.60** (p < 0.001)	0.68** (p < 0.001)
	F _{avg/kg}	0.69** (p < 0.001)	0.77** (p < 0.001)
	I _{fatigue}	-0.12 (p = 0.405)	- 0.17 (p = 0.296)
	Брой повторения	0.34* (p = 0.017)	0.21 (p = 0.184)
Интермитентен тест	T _{tz}	0.34* (p = 0.016)	0.22 (p = 0.173)
	J	0.51** (p < 0.001)	0.41** (p = 0.007)
	J <sub kg<="" sub=""></sub>	0.55** (p < 0.001)	0.45** (p = 0.004)
	T _{tz}	0.14 (p = 0.338)	0.34 (p = 0.834)
Непрекъснат тест	J	0.69** (p < 0.001)	0.73** (p < 0.001)
	J <sub kg<="" sub=""></sub>	0.77** (p < 0.001)	0.81** (p < 0.001)
	I _a	0.34* (p < 0.015)	0.28** (p < 0.072)

F_m, максимална сила; F_{m/kg}, относителна сила; F_{avg}, средна сила; F_{avg/kg}, средна сила, отнесена към телесната маса; I_{fatigue}, индекс на умора; T_{tz}, време в целевата зона; J, импулс на силата; J_{, импулс на силата, отнесен към телесната маса; I_a, аеробен индекс; p, равнище на значимост на коефициентите на корелация; * достоверни коефициенти на корелация при p < 0.05; ** достоверни коефициенти на корелация при p < 0.01}

Резултатите от факторния анализ са поместени в таблица 13. Включените в анализа параметри са обособени в три компоненти. Първата компонента обяснява 46.66% от дисперсията и е идентифицирана като „локален аеробен капацитет“, тъй като в нея попадат параметрите от интермитентния тест и аеробния индекс. Втората компонента обяснява 28.01% от дисперсията и е идентифицирана като „сила и локален анаеробно алактатен капацитет“, тъй като в нея попадат максималната сила, средната сила от теста с постоянно максимално усилие и импулсът на силата от непрекъснатия тест. Третата компонента обяснява 12.41% от дисперсията и е идентифицирана като „локален анаеробно лактатен капацитет“, тъй като в нея попадат индексът на умора от теста с постоянно максимално усилие и времето от непрекъснатия тест. Всички параметри показват много силно сходство с латентния признак, който измерват (h^2 между 0.934 и 0.993), с изключение на индекса на умора и времето в непрекъснатия тест ($h^2 = 0.591$ и $h^2 = 0.592$). Фиг. 17 и 18 показват в каква степен спортните постижения са детерминирани от трите латентни признака.

Обсъждане на резултатите

Резултатите от това изследване показват, че приложените тестове и регистрираните чрез тях параметри са подходящи за контрола на специфичната в скалното катерене сила и мускулна издръжливост. За пръв път е установено за кои латентни признаци носят информация параметрите, измервани с този тип тестове.

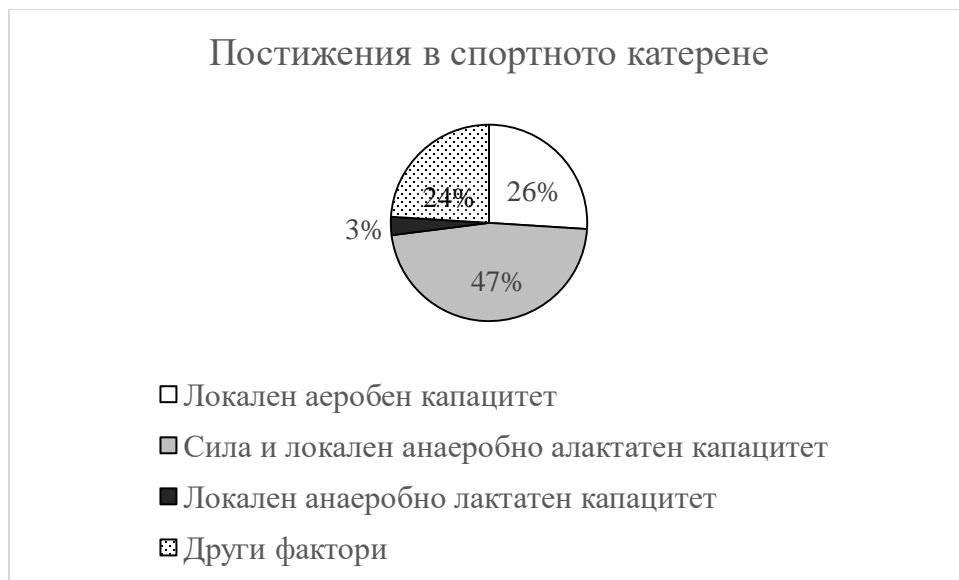
За разлика от резултатите на други автори, провеждали подобни изследвания, настоящите резултати показват, че J и $J_{/kg}$ от специфичен за катеренето непрекъснат изометричен тест за сгъвачите на пръстите корелира силно със спортните постижения. Повечето по-ранни изследвания откриват, че спортното постижение в катеренето зависи от по-добрите резултати в интермитентни тестове и от локалните аеробни възможности (Ferguson, Brown 1997; Fryer et al. 2015; MacLeod et al. 2007). От една страна, намерената в настоящото изследване силна зависимост между импулса на силата от непрекъснатия тест и постиженията трябва да се дължи на по-високата интензивност (60% MVC в настоящото изследване вместо задаваната в по-ранните изследвания 40% MVC). От друга страна, силовият и анаеробният компонент в този спорт също имат решаваща роля. Логично е анаеробните възможности по-силно да определят постиженията на висококласните катерачи, отколкото на катерачите с по-ниска квалификация. Вероятно заради това само настоящото изследване и изследването на Philippe et al. (2012), където са участвали елитни катерачи, разкриват, че регистрираните в непрекъснати тестове импулси на силата определят спортните постижения.

Таблица 13 Факторен анализ – факторни тегла и обяснена вариация

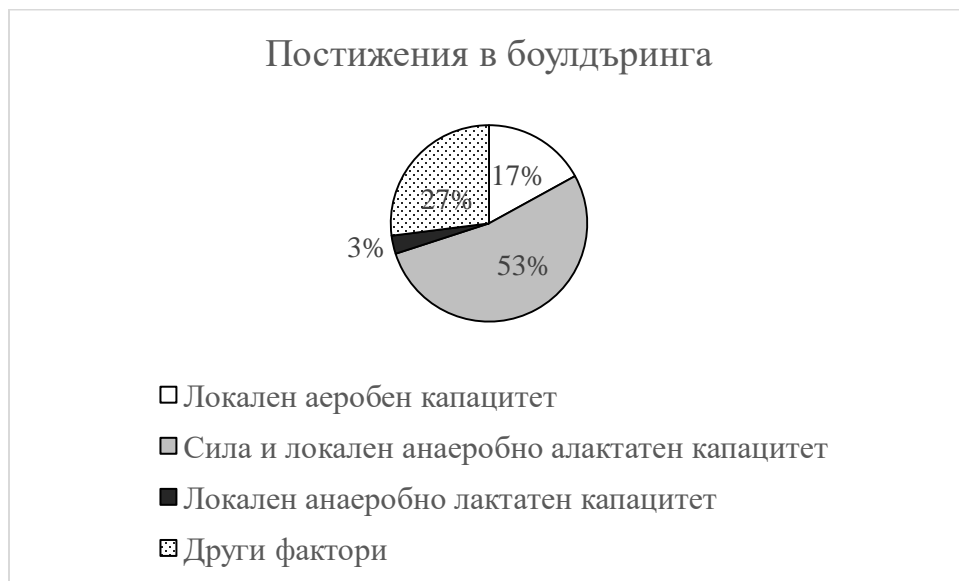
Тест	Параметри	Мускулна издръжливост Локален аеробен капацитет	Компоненти Максимална сила и локален анаеробен алактатен капацитет	Мускулна издръжливост Локален анаеробно лактатен капацитет	h^2
Тест за максимална сила	F_m		0.961		0.934
Тест с постоянно максимално усилие за 30 s	F_{avg}		0.934	-0.243	0.937
Интермитентен тест	$I_{fatigue}$	-0.214		0.736	0.591
	Брой повторения	0.992			0.984
	T_{tz}	0.996			0.993
	J	0.938	0.273		0.955
Непрекъснат тест	T_{tz}	0.529		0.556	0.592
	J	0.317	0.802	0.419	0.919
	I_a	0.949			0.931
% от общата вариация		46.66	28.01	12.41	
Кумулативно %		46.66	74.67	87.07	

F_m максимална сила от теста за максимална сила; F_{avg} , средна сила от теста с постоянно максимално усилие за 30 s; $I_{fatigue}$, индекс на умора; Брой повторения – в интермитентния тест; T_{tz} intermittent test, време в целевата зона от интермитентния тест; $J_{intermittent}$ test, импулс на силата от интермитентния тест; T_{tz} continuous test, време в целевата зона от непрекъснатия тест; $J_{continuous}$ test, импулс на силата от непрекъснатия тест; I_a , аеробен индекс; h^2 , комуналност (сходство със съответния латентен признак)

Забележка: факторни тегла < 2 не са показани



Фиг. 17 Детерминираност на постиженията в спортното катерене от измерените латентни признаци



Фиг. 18 Детерминираност на постиженията в боулдъринга от измерените латентни признаци

Факторният анализ показва, че проучваните тестове са с висока конструктивна валидност, а така също и че избраните тестове не измерват само физическите качества мускулна сила и издръжливост. Тези тестове носят информация и за локалния мускулен аеробен и анаеробен капацитет.

За оценка на локалния аеробен капацитет могат да служат параметрите от интермитентния тест и аеробният индекс. За оценка на силовите и анаеробно алактатни възможности са подходящи F_m , F_{avg} , и J от непрекъснатия тест. J е параметър, изчислен на базата на времето и силата. Затова, макар и в малка степен, J от непрекъснатия тест също така носи информация за локалния аеробен и анаеробно лактатен капацитет. За локалния анаеробно лактатен капацитет могат да послужат $I_{fatigue}$ и T_{tz} от непрекъснатия тест.

Стъпковият множествен регресионен анализ показва колко важни за спортните постижения са трите обособени от факторния анализ латентни признаци в спортното катерене и боулдъринга (фиг. 17 и фиг. 18). По този начин се допълват наличните до момента модели на факторната структура на постиженията в скалното катерене. Спортните постижения са най-силно детерминирани от максималната сила и локалния анаеробно алактатен капацитет, след това от локалния аеробен капацитет и най-малко от локалния анаеробно лактатен капацитет. Теглото на тези признаци обаче намалява или се увеличава в зависимост от катерачната дисциплина и спортната квалификация.

Интересен е фактът, че $F_{m/kg}$ в боулдъринга има по-голямо значение при по-нискоквалифицираните катерачи, въпреки че по-високо квалифицираните катерачи са значително по-силни. Подобно на $F_{m/kg}$, J/kg от непрекъснатия тест също намалява значението си с повишаване на квалификацията в боулдъринга, а J/kg от интермитентния тест и в двете дисциплини. Това на пръв поглед изглежда парадоксално, но може да бъде обяснено с факта, че при висококвалифицираните катерачи, които вече са достигнали до високи нива на сила и мускулна издръжливост, които да покриват изискванията на боулдъринга например, по-голямо значение вероятно придобиват други фактори, като разширен диапазон на волевите качества, по-голяма сила на мускулатурата на раменния пояс, по-ефективна спортна техника, по-високи градиенти на силата и др. Намаляването на значението на J/kg от интермитентния тест с нарастването на квалификацията в двете дисциплини и неговото по-голямо значение в спортното катерене подсказва както че локалните аеробни възможности са по-необходими в спортното катерене, отколкото в боулдъринга, така и че при по-висококвалифицираните в спортното катерене нараства значението на локалните анаеробни възможности. От намаляването на значението на J/kg от непрекъснатия тест и същевременно нарастването на значението на $I_{fatigue}$ с нарастването на

квалификацията в боулдъринга може да се съди, че катеренето на трудни боулдъри изисква покачване на устойчивостта към натоварване при анаеробен тип енергоосигуряване, толерирането на ацидоза и увеличен буферен капацитет.

Обобщение

Използваните тестове са високоинформативни за контрола на силата и мускулната издръжливост в скалното катерене. Повечето отчитани параметри корелират силно със спортните постижения, което означава, че тестовете са специфични и критериално валидни. Потвърдено е, че параметрите от различните тестове са конструктивно валидни за физическите качества и функционалните възможности на периферно равнище, за които са предназначени. Установено е значението на тези параметри като критерии на специфичната тренираност в спортното катерене и боулдъринга при катерачите с различна квалификация. Всичко това показва, че подходът на тестване е приложим, позволява задълбочено оценяване на тренираността на катерачите, подпомага тълкуването на резултатите и може да разшири възможностите за функционална диагностика в спорта.

3.2.4. Относително участие на енергетичните системи по време на изпълнение на тестовете за мускулна издръжливост

Резултатите, представени в тази глава, са фокусирани върху относителното участие на енергетичните системи (аеробна, анаеробно алактатна и анаеробно лактатна) по време на теста с постоянно максимално усилие за 30 s, непрекъснатия и интермитентния тест при интензивност 60% MVC. Тези резултати допълнително валидират тестовете за мускулна издръжливост с физиологични данни относно степента, в която всеки тест носи информация за функционалните възможности, които той е предназначен да измерва.

Резултати

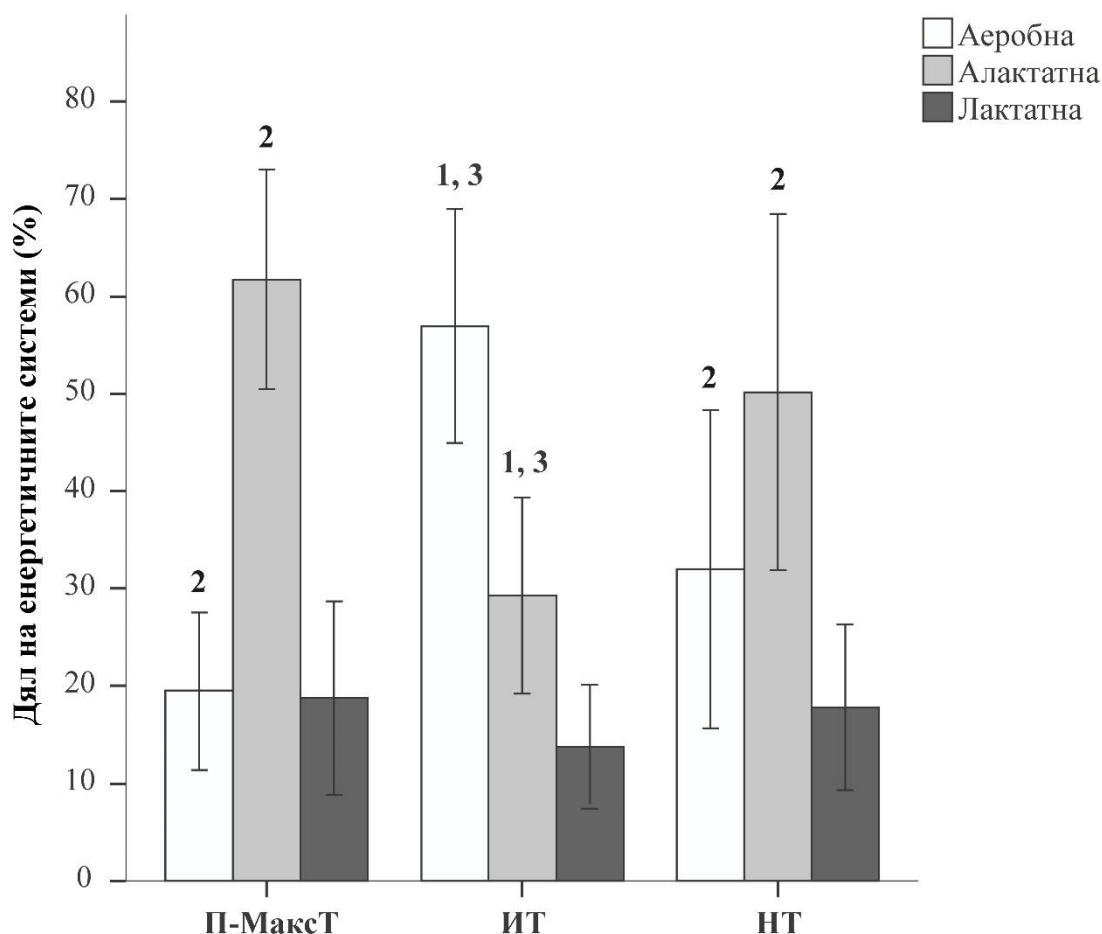
Дяловете на аеробната, алактатната и лактатната система на енергоосигуряването по време на различните тестове са представени в таблица 14 и фиг. 19. Аеробната енергетична система има най-голям дял от енергоосигуряването по време на интермитентния тест (ИТ – $56.9 \pm 12.0\%$). Той е значително по-голям в сравнение с дела на аеробната енергия по време на непрекъснатия тест (НТ – $31.5 \pm 15.6\%$, $p = 0.004$) и теста с постоянно максимално усилие за 30 s (П-МаксТ – $19.5 \pm 8.1\%$, $p < 0.001$). НТ и П-МаксТ не се различават значимо по дял на аеробната енергия ($p > 0.05$). Анаеробно алактатната енергетична система има по-голям дял в енергоосигуряването по

време на П-МаксТ ($61.7 \pm 11.3\%$), отколкото по време на НТ ($51.2 \pm 18.3\%$) и ИТ ($29.3 \pm 10.0\%$). Делът на алактатната енергия в ИТ е значително по-малък, отколкото в НТ ($p = 0.006$) и П-МаксТ ($p < 0.001$). НТ и П-МаксТ не се различават значимо по дял на алактатна енергия ($p > 0.05$). П-МаксТ изисква също повече анаеробно лактатна енергия ($18.8 \pm 9.9\%$) в сравнение с НТ ($16.7 \pm 8.9\%$) и ИТ ($13.8 \pm 6.4\%$). Независимо от това разликите между дялове на анаеробно лактатната енергия в трите теста не са достоверни ($p > 0.05$).

Таблица 14 Относително участие на енергетичните системи в трите теста за мускулна издръжливост (средни стойности \pm SD)

Дял на енергетичните системи	Тест			p	(η_p^2)
	П-МаксТ	ИТ	НТ		
Общо количество енергия (J/kg)	499.4 ± 186.8	1057.6 ± 436.6	314.8 ± 108.6	0.002	0.655
Аеробен дял					
(J/kg)	97.1 ± 55.4	633.5 ± 390.3	88.5 ± 43.9	$P < 0.001$	0.657
(%)	19.4 ± 8.1	59.9 ± 12.0	28.1 ± 15.6	$P < 0.001$	0.726
VO_{2Ex} (ml kg^{-1})	4.80 ± 2.81	30.89 ± 18.51	4.33 ± 2.18	$P < 0.001$	0.669
Анаеробно алактатен дял					
(J/kg)	311.7 ± 131.8	287.7 ± 95.1	170.6 ± 109.5	0.007	0.466
(%)	62.4 ± 11.3	27.2 ± 10.0	54.2 ± 18.3	$P < 0.001$	0.725
$VO_{2EROС}$ (ml kg^{-1})	15.14 ± 6.37	14.02 ± 4.66	8.37 ± 5.53	0.007	0.462
Анаеробно лактатен дял					
(J/kg)	90.6 ± 45.9	136.4 ± 71.9	55.7 ± 37.5	0.007	0.397
(%)	18.2 ± 9.9	12.9 ± 6.4	17.7 ± 8.9	0.296	0.115
ΔLa (mmol/L)	1.44 ± 0.73	2.17 ± 1.14	0.89 ± 0.6	0.007	0.399

П-МаксТ, тест с постоянно максимално усилие за 30 s; ИТ, интермитентен тест; НТ, непрекъснат тест; ΔLa – разлика между пикови концентрации на лактат и концентрации в покой; $VO_{2EROС}$ – кислородна консумация (нето) по време на бързата компонента на излишъка от кислородна консумация след натоварването; VO_{2Ex} – кислородна консумация (нето) по време на натоварване



Фиг. 19 Разлики между тестовете по отношение на дяловете на аеробната, алактатната и лактатната енергия (средни стойности \pm SD). *Съкращения:* П-МаксТ, тест с постоянно максимално усилие за 30 s; ИТ, интермитентен тест; НТ, непрекъснат тест; 2, достоверни разлики ($p < 0.05$) с ИТ; 1, 3, достоверни разлики ($p < 0.05$) с П-МаксТ и НТ

Катерачите с по-висока квалификация изпълняват ИТ при значително по-малък дял на анаеробно лактатната енергия в сравнение с катерачите с по-ниска квалификация ($17.27 \pm 5.76\%$ спрямо $9.71 \pm 4.61\%$, $p = 0.026$, $\eta^2 = 0.397$). Противоположно на това – катерачите с по-високо ниво на квалификация изпълняват НТ, използвайки значително повече анаеробно лактатна енергия, отколкото по-нискоквалифицираните ($22.46 \pm 8.12\%$ спрямо $12.25 \pm 5.21\%$, $p = 0.039$, $\eta^2 = 0.394$). Двете групи не се различават значимо по останалите показатели на относителното участие на енергетичните системи ($p > 0.005$). Стойностите на максималната и средната сила и импулсът на силата от

непрекъснатия тест, отнесени към телесната маса, са достоверно по-високи при катерачите с по-висока квалификация, отколкото при тези с по-ниска (съответно: 10.30 ± 1.57 N/kg спрямо 7.55 ± 0.67 N/kg, $p = 0.002$, $\eta^2 = 0.582$; 6.86 ± 0.10 N/kg спрямо 5.20 ± 0.68 N/kg, $p = 0.002$, $\eta^2 = 0.624$; 351.76 ± 37.56 N.s/kg спрямо 262.52 ± 84.04 N.s/kg, $p = 0.039$, $\eta^2 = 0.361$). Двете групи не се различават значимо по останалите резултати от тестовете ($p > 0.05$).

Обсъждане на резултатите

Настоящото проучване показва, че ИТ е по-информативен за оценка на локалния аеробен капацитет (59.9% аеробен и 40.1% анаеробен), докато П-МаксТ (19.4% аеробен и 80.6% анаеробен) и НТ (28.1% аеробен и 71.9% анаеробен) са подходящи за оценка на локалния анаеробен капацитет. П-МаксТ е предимно анаеробен алактатен, а НТ е алактатно аеробен. Относителното участие на алактатната и лактатната енергетична система по време на тези два теста е сходно и е достатъчно единият от тях да бъде включен в тестова батерия за функционална диагностика на периферно равнище.

Съществуват сведения за това че локалните аеробни възможности са от голямо значение в скалното катерене (Ferguson, Brown 1997; Fryer et al. 2015; MacLeod et al. 2007). Третото изследване от първия етап на експерименталната работа на настоящия труд обаче демонстрира, че катерачите са адаптирани да набавят необходимата енергия по време на натоварване в голяма степен за сметка на анаеробните процеси, както и да понасят много високи нива на ацидоза. Тези факти и резултатите от настоящото изследване показват, че локалният анаеробен капацитет също е фактор на постижението в скалното катерене. Този вид периферни функционални възможности могат да бъдат оценявани, като се използва или П-МаксТ, или НТ. Това се потвърждава от разликите в резултатите от тестовете на двете групи катерачи в настоящото изследване; корелацията на спортните постижения с импулсите на силата от НТ, изчислени на база на четвъртото изследване на втория етап на експерименталната работа; и от факта, че П-МаксТ и НТ имат предимно анаеробно естество. Освен това катерачите с по-високи катерачни постижения са по-ефективни в ИТ, тъй като използват относително по-малко анаеробно лактатна енергия по време на този предимно аеробен тест в сравнение с катерачите с по-ниско ниво. В същото време анаеробно лактатният капацитет на катерачите с по-високи постижения е по-голям, отколкото на катерачите с по-ниска квалификация, тъй като по-добрите катерачи се представят по-добре в предимно анаеробните П-МаксТ и НТ и използват относително повече анаеробно лактатна енергия в НТ. Всичко свидетелстват за това, че локалните

анаеробни възможности са характеристика на висококвалифицираните катерачи.

Единственото досега проучване (Bertuzzi et al. 2007) на относителното участие на енергетичните системи по време на катерене показва, че в реални условия основното количество енергия се доставя от аеробната и анаеробно алактатната система. Установява се, че по време на изкачването на лесен и труден маршрут от елитни катерачи аеробният дял възлиза съответно на 41.5% и 45.8%, анаеробно алактатният на 34.6% и 41.1% и анаеробно лактатният – на 17.4% и 22.3%. От сравняването на получените в настоящото изследване резултати с резултатите на Bertuzzi et al. (2007) изглежда, че по отношение на енергоосигуряването в катеренето най-специфичният тест за оценка на мускулната издръжливост на катерачите е интермитентният.

Обобщение

Това е първото изследване, с което е определено относителното участие на енергетичните системи при изпълнение на лабораторни тестове, предназначени за контрол на тренираността в скалното катерене. От резултатите става ясно, че ИТ е най-специфичен по отношение на относителното участие на енергетичните системи по време на катерене и затова ИТ е подходящ за оценяване на мускулната издръжливост при катерачи. ИТ е базиран на аеробен и анаеробно алактатен метаболизъм. Резултатите от това изследване потвърждават, че НТ и П-МакТ са подходящи за оценяването на локалния анаеробен капацитет.

Изчисляването на относителното участие на енергетичните системи по време на специфично натоварване определя биоенергетичния профил на дадена спортна дисциплина или на отделен състезател, както и показва доколко определени двигателни тестове са приложими и какви функционални възможности измерват. Събирането на такива данни, както е направено в настоящото изследване, позволява по-задълбочен анализ на състоянието на спортистите и обосновава определянето на насочеността на натоварванията.

3.2.5. Оценяване на специфичната максимална сила и мускулна издръжливост при катерачи

Подбраните за целта на контрола на специфичната тренираност при катерачи тестове са информативни относно латентните признаци, които те са предназначени да измерват. Резултатите от тези тестове сами по себе си обаче не са достатъчно полезни за оптимизирането на тренировъчния процес в скалното катерене, ако не бъдат оценени (превърнати в точки), респективно ако не се добие представа доколко те са задоволителни. Превръщането на

суровите резултати в точки за оценяване позволява също така сравнение на състоянието на признаци, измервани в различни мерни единици. Това ще покаже доколко даден катерач е балансиран по отношение на неговата максимална сила, мускулна издръжливост и локален аеробен и анаеробен капацитет. Балансираното състояние на тези способности ще осигури най-пълно реализиране на двигателния потенциал на катерачите, тъй като скалното катерене е дейност, изискваща комплексно развитие на двигателните качества и умения.

В дисертационния труд са представени данни, които да послужат за два вида оценяване. При единия вид оценяване е използван регресионният, а при другия – стандартният (сигмалният) метод. В първия случай чрез установените линейни функции могат да се оценяват резултатите от всеки отделен тест по стойностите на параметрите, които силно корелират със спортното постижение. С уравнение от вида $a + bx_1 + cx_2 + dx_3$, получено чрез стъпкова множествена регресия, може да се даде обща оценка.

Получените в тестовите стойности на параметрите, които не корелират силно със спортните постижения, не могат да бъдат превърнати в регресионни оценки. Тези параметри обаче носят полезна информация. Така например продължителността на ИТ и НТ не корелират със спортното постижение, но осведомяват съответно за локалния мускулен аеробен и анаеробно лактатен капацитет. Затова в дисертационния труд са представени и данни, необходими за оценяване по стандартния (сигмалния) метод.

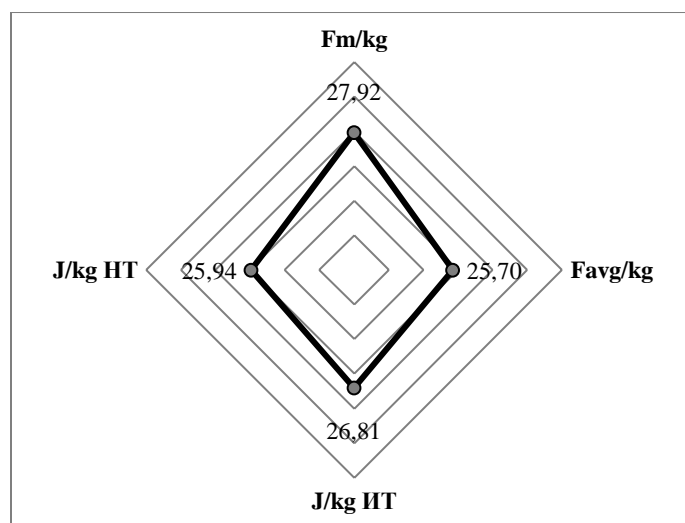
На фиг. 20 и 21, както и в таблици 15 и 16 са онагледени използваните методите на оценяване чрез индивидуалните резултати и оценки на двама катерачи.

Представеният в тази глава подход за оценяване осигурява задълбочен анализ на състоянието на силата, мускулната издръжливост и локалния аеробен и анаеробен капацитет, които са главни фактори на спортното постижение в скалното катерене. Превръщането на резултатите от тестовите в точки позволява различните показатели на специфичната тренираност да се съпоставят и да се разкрият силните и слабите страни в подготовката на катерачите. По евентуални разлики в предсказаните и действителните спортни постижения може да се съди индиректно за нивото на технико-тактическата и психическата подготовка. В бъдеще са необходими допълнителни изследвания за увеличаване на нормативната база и нейната приложна стойност.

Таблица 15 Резултати от тестовете за максимална сила и мускулна издръжливост, референтни стойности и оценки при катерач от световна класа с текущо redpoint постижение 8с+

Тест	Параметър	Резултат	Средна	Стандартни (сигмални оценки)		Регресионни оценки	
				Т-оценки	Словесни оценки	Парциални оценки (IRCRA точки)	Обща оценка (IRCRA точки)
Тест за максимална сила	Fm (N)	706	560	5.32	Висока		
	Fm/kg (N/kg)	11.7	8.0	5.95	Висока	27.92	
П-МаксТ	Favg (N)	481	398	5.02	Висока		
	Favg/kg (N/kg)	7.7	5.7	5.51	Висока	25.70	
	Ifat (%)	31	36.00	4.41	Средна		
ИТ	Ttz (s)	128.0	97.7	5.17	Висока		27.87
	J (N.s)	51417	30911	5.88	Висока		
	J/kg (N.s/kg)	824.0	441.0	6.29	Много висока	26.81	
НТ	Ttz (s)	57.8	59.4	3.87	Средна		
	J (N.s)	23807	18605	5.04	Висока		
	J/kg (N.s/kg)	381.5	267.0	5.47	Висока	25.94	
	IA	2.21	1.66	5.42	Висока		

П-МаксТ, тест с постоянно максимално усилие за 30 s; ИТ, интермитентен тест; НТ, непрекъснат тест; F_m, максимална сила; F_{m/kg}, относителна сила; F_{avg}, средна сила; F_{avg/kg}, средна сила, отнесена към телесната маса; I_{fatigue}, индекс на умора; T_{tz}, време в целевата зона; J, импулс на силата; J_{/kg}, импулс на силата, отнесен към телесната маса; Ia, аеробен индекс

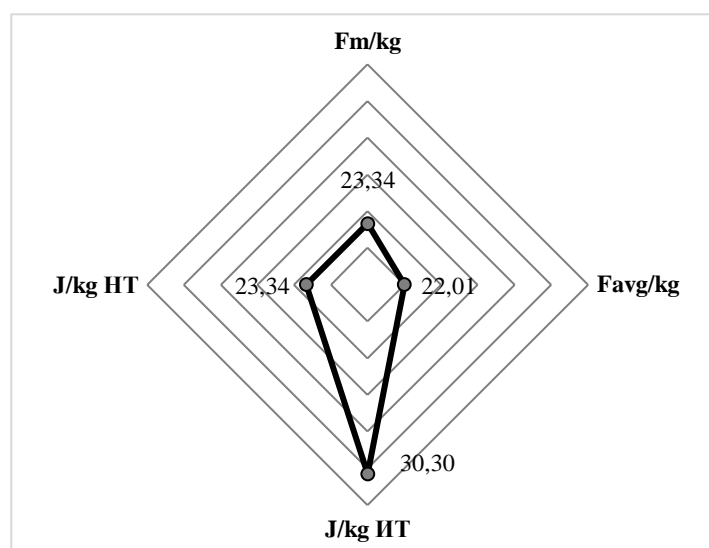


Фиг. 20 Регресионни оценки (IRCRA точки) на катерач от световна класа (текущо redpoint постижение 8с+), илюстриращи балансирано състояние.

Таблица 16 Резултати от тестовете за максимална сила и мускулна издръжливост, референтни стойности и оценки при елитен катерач с текущо redpoint постижение 8b

Тест	Параметър	Резултат	Средна	Стандартни (сигмални оценки)		Регресионни оценки	
				Т-оценки	Словесни оценки	Парциални оценки (IRCRA точки)	Обща оценка (IRCRA точки)
Тест за максимална сила	Fm (N)	569	560	4.08	Средна		
	Fm/kg (N/kg)	9.6	8,0	4.86	Над средната	23.34	
П-МаксТ	Favg (N)	382	398	3.81	Средна		
	Favg/kg (N/kg)	6.5	5,7	4.58	Над средната	22.01	
	Ifat (%)	25	36,00	4.89	Над средната		
ИТ	Ttz (s)	186.6	97,7	7.44	Много висока		24.86
	J (N.s)	58406	30911	6.52	Много висока		
	J/kg (N.s/kg)	989.9	441,0	7.29	Много висока	30.30	
НТ	Ttz (s)	63.1	59,4	4.30	Средна		
	J (N.s)	19788	18605	4.24	Средна		
	J/kg (N.s/kg)	335.4	267,0	4.88	Над средната	23.34	
	Ia	2.96	1,66	7.33	Много висока		

П-МаксТ, тест с постоянно максимално усилие за 30 s; ИТ, интермитентен тест; НТ, непрекъснат тест; F_m, максимална сила; F_{m/kg}, относителна сила; F_{avg}, средна сила; F_{avg/kg}, средна сила, отнесена към телесната маса; I_{fatigue}, индекс на умора; T_{tz}, време в целевата зона; J, импулс на силата; J/kg, импулс на силата, отнесен към телесната маса; Ia, аеробен индекс



Фиг. 52 Регресионни оценки (IRCRA точки) на елитен катерач (текущо redpoint постижение 8b), илюстриращи силните и слабите страни в подготовката.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящият дисертационен труд е теоретико-експериментално изследване на скалното катерене като специфична двигателна дейност с цел създаване на комплексна система за контрол и оптимизиране на някои основни фактори на спортното постижение. Методологическата концепция се свежда до най-съществените, оперативни компоненти на специфичната работоспособност, които подлежат на измерване, оценяване и усъвършенстване в различните етапи на тренировъчния процес. Изследването обхваща голям брой опитни лица, които са подложени на тестиране по широк набор от високоинформативни специализирани тестове.

Оперативната изследователска дейност е осъществена в период от 8 години. Тя включва тестиране на елитни катерачи от България, Чехия, Полша и Гърция. Технологията на изследването включва уникална апаратурна комплектация с широк обхват на изследвани параметри и възможности за тяхното прецизно и обективно измерване в реално време.

Резултатите от изследванията могат да се систематизират в няколко основни направления:

- Установените средни стойности и вариативност на различните компоненти на специфичната работоспособност са систематизирани за отделните видове катерене и са подложени на сравнителен анализ с резултатите на изследователи от водещи в скалното катерене страни.
- Установена е приложимостта на тестовете за контрол на специфичната работоспособност и аеробен капацитет на системно равнище, както и на измерваните чрез тях физиологични и ергометрични показатели.
- Установени са надеждността и критериалната валидност на тестовете за сила и мускулна издръжливост със и без фиксация на горния крайник.
- Установено е различното значение на измерваните параметри за отделните видове катерене и катерачите с различна степен на подготовка.
- Разкрити са факторната структура и конструктивната валидност на показателите на специфичната работоспособност.
- Определено е в каква степен факторите на специфичната работоспособност предопределят спортния резултат в различните видове катерене.
- Изчислен е относителният дял на енергетичните системи, за да се доизясни в каква степен тестовете измерват локалния аеробен или анаеробен капацитет.

- Разработена е методика за оценяване на резултатите от тестовете, даваща богата информация за състоянието на катерачите.

На базата на настоящите резултати може в обобщен вид да се препоръча следното:

- Специфичната работоспособност и аеробният капацитет на системно равнище е за предпочитане да бъдат оценявани не с максимални ергометрични тестове на велоергометър или третбан, нито чрез катерене до изтощение, а чрез специализиран ергометричен тест за горна част на тялото, който не изисква изометрични усилия и при който се изпълняват издърпващи, а не въртеливи движения с ръцете.
- Мускулната издръжливост на сгъвачите на пръстите, както и функционалните възможности на периферно равнище могат да се оценят чрез комбинация от непрекъснат и интермитентен тест при интензивност на изометричните мускулни усилия, водещи до тотална интрамускулна циркулаторна оклузия.

Представените подходи за задълбочен анализ на тренираността на катерачите увеличават значително възможностите за оптимизиране на тренировъчния процес.

Конкретни приноси:

- Открити са нови факти, които разширяват ограниченото приложение на физиологичните показатели при контрола на тренировъчния процес в скалното катерене.
- Разработен и експериментиран е нов специализиран максимален ергометричен тест за горна част на тялото.
- Разработена е уникална и усъвършенствана апаратура (3DSAC) за изследване на специфичната сила и мускулна издръжливост в скалното катерене.
- Разработена е методика за диагностика на максималната сила, мускулната издръжливост и функционалните възможности на периферно равнище.
- За пръв път е въведен тест за изследване на локалните анаеробни възможности.
- Събрани са сведения за биоенергетичния профил на скалното катерене.

Приложение

Представената система за контрол от години се използва от националните отбори по спортно катерене на България и Чехия. За по-широкото приложение на установеното в настоящия труд наскоро бе създаден тренажор, наречен Climbro, който работи с мобилно устройство. Това може да даде по-нататъшен тласък в развитието на скалното катерене.

Резултатите на настоящия труд разширяват както специфичната за скалното катерене, така и общата теория и практика на диагностиката на функционалните възможности в спорта. Иновативните изследователски подходи на настоящия труд могат да послужат и в други спортове, където периферните фактори на работоспособността са от голямо значение за спортното постижение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Илиев И, Косев Р, Грънчаров Н. Приложна физиология в спорта. София: Медицина и физкултура; 1982.
2. Михайлов М. Изследване на някои основни фактори на спортното постижение в катеренето. Спорт и наука 2006, извънреден бр.; 2: 11–20.
3. Baláš J, Mrskoč J, Panáčková M & Draper N. Sport-specific finger flexor strength assessment using electronic scales in sport climbers. *Sports Technology* 2014^a; 7: 151–158.
4. Baláš J, Panáčková M, Kodejška J, Cochrane D & Martin AJ. The role of arm position during finger flexor strength measurement in sport climbers. *International Journal of Performance Analysis in Sport* 2014^b; 14: 345–354.
5. Baláš J, Panálková M, Strejcová B. Validity of the climbing test with increasing speed to determine the maximal sport specific oxygen uptake in females. *Česká kinantropologie* 2012; 16(3): 110–117.
6. Beaver WL, Wasserman K and Whipp BJ. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol* 1985; 60: 2020–2027.
7. Beneke R, Beyer T, Jachber C, Erasmus J, Hütler M. Energetics of karate kumite. *Eur J Appl Physiol* 2004; 92: 518–523.
8. Beneke R, Pollmann C, Bleif I, Leithäuser RM, Hütler M. How anaerobic is the Wingate anaerobic test for humans? *Eur J Appl Physiol* 2002; 87:388–392.
9. Bertuzzi RC, Franchini E, Kokubun E, Kiss, M. Energy system contributions in indoor rock climbing. *European journal of applied physiology* 2007; 101(3): 293–300.
10. Billat V, Dalleja P, Charlaix T, et al. Energy specificity of rock climbing and aerobic capacity in competitive sport rock climbers. *J Sports Med Phys Fitness* 1995; 35(1): 20–4.
11. de Geus B, Villanueva O'Driscoll S, Meeusen R. Influence of climbing style on physiological responses during indoor rock climbing on routes with the same difficulty. *Eur J Appl Physiol* 2006; 98: 489–96.
12. Deyhle MR, Hsu HS, Fairfield TJ, Cadez-Schmidt TL, Gurney BA & Mermier CM. Relative importance of four muscle groups for indoor rock climbing performance. *Journal of Strength & Conditioning Research* 2015; 29: 2006–2014.
13. di Prampero PE, Ferretti G. The energetics of anaerobic muscle metabolism: a reappraisal of older and recent concepts. *Respir Physiol* 1999; 118: 103–115

14. Draper N, Brent S, Hodgson C, Blackwell G. Flexibility assessment and the role of flexibility as a determinant of performance in rock climbing. *International Journal of Performance Analysis of Sport* 2009; 9: 67–89.
15. Draper N, Dickson T, Blackwell G, Priestley S, Fryer S, Marshall H, et al. Sport-specific power assessment for rock climbing, *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 2011; 51(3): 417–425.
16. Draper N, Giles D, Schöffl V, Fuss FK, Watts PB, Wolf P, . . . Ac Abreu E. Comparative grading scales, statistical analyses, climber descriptors and ability grouping: International Rock Climbing Research Association position statement. *Sports Technology* 2015; 8(3,4): 88–94.
17. Ferguson RA, Brown MD. Arterial blood pressure and forearm vascular conductance responses to sustained and rhythmic isometric exercise and arterial occlusion in trained rock climbers and untrained sedentary subjects. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1997; 76(2): 174–80.
18. Fryer S, Stoner L, Lucero A, Witter T, Scarrott C, Dickson T, Cole M1 Draper N. Haemodynamic kinetics and intermittent finger flexor performance in rock climbers. *Int J Sports Med*. 2015^a; 36(2):137–42.
19. Fryer S, Stoner L, Scarrott C, Lucero A, Witter T, Love R, Dickson T, Draper N. Forearm oxygenation and blood flow kinetics during a sustained contraction in multiple ability groups of rock climbers. *J Sports Sci*, 2015^b; 33(5):518–26.
20. Grant S, Hynes V, Whittaker A, Aitchison T. Anthropometric, strength, endurance and flexibility characteristics of elite and recreational climbers. *J Sports Sci* 1996; 14: 301–9.
21. Koukoubis TD, Cooper LW, Glisson RR, et al. An electromyographic study of arm muscles during climbing. *Knee Surg Sports Traumatol Arthroscopy* 1995; 3: 121–4.
22. Laffaye G, Collin JM, Levernier G, Padulo J. Upper-limb power test in rock-climbing. *Int J Sports Med* 2014; 35(8): 670–5.
23. MacLeod D, Sutherland DL, Buntin L, et al. Physiological determinants of climbing specific finger endurance and sport rock climbing performance. *J Sports Sci*. 2007; 25(12): 1433–43.
24. Mermier C, Janot J, Parker D, Swan J. Physiological and anthropometric determinants of sport climbing performance. *Br J Sports Med* 2000; 34: 359–66.
25. Mermier CM, Robergs RA, McMinn SM, Heyward VH. Energy expenditure and physiological responses during indoor rock climbing. *Br J Sports Med* 1997; 31: 224–8.

26. Michailov ML. Workload characteristic, performance limiting factors and methods for strength and endurance training in rock climbing. *Med Sport* 2014; 18 (3): 97–106.
27. Michailov M, Lambreva S, Deneva D, Andonov H. Importance of elbow flexor muscle strength and endurance in sport climbing. *Journal of Applied Sports Sciences* 2017; 1: 3–12.
28. Michailov ML, Mladenov LV, Schoeffl VR. Anthropometric and strength characteristics of world-class boulderers. *Med Sport* 2009; 13 (4): 231–8.
29. Philippe, M., Wegst, D., Muller, T., Raschner, C., & Burtscher, M. Climbing-specific finger flexor performance and forearm muscle oxygenation in elite male and female sport climbers. *European Journal of Applied Physiology* 2012; 112(8), 2839–2847.
30. Rodio A, Fattorini L, Rosponi A, et al. Physiological adaptation in noncompetitive rock climbers: Good for aerobic fitness? *J Strength Cond Res* 2008; 22(2): 359–64.
31. Schadle-Schardt W. Die zeitliche gestaltung von belastung und entlastung im wettkampfklettern als element der trainingssteuerung. *Leistungssport* 1998; 1: 23–8.
32. Sheel AW. Physiology of sport rock climbing. *Br J Sports Med* 2004; 38: 355–9.
33. Sheel AW, Seddon N, Knight A, et al. Physiological Responses to Indoor Rock-Climbing and Their Relationship to Maximal Cycle Ergometry. *Med Sci Sports Exerc* 2003; 35(7): 1225–31.
34. Vigouroux L, Quaine F. Fingertip force and electromyography of finger flexor muscles during a prolonged intermittent exercise in elite climbers and sedentary individuals. *J Sports Sci* 2006^a; 24(2): 181–6.
35. Vigouroux L, Quaine F, Labarre-Vila A, Moutet F. Estimation of finger muscle tendon tensions and pulley forces during specific sport-climbing grip techniques. *Journal of Biomechanics* 2006^b; 39: 2583–2592.
36. Wall CB, Starek JE, Fleck SJ, and Byrnes WC. Prediction of indoor climbing performance in women rock climbers. *The journal of Strength and Conditioning Research* 2004; 18(1): 77–83.
37. Watts PB. Physiology of difficult rock climbing. *Eur J Appl Physiol* 2004; 91: 361–72.
38. Watts PB, Drobish KM. Physiological responses to simulated rock climbing at different angles. *Med Sci Sports Exerc* 1998; 30(7): 1118–1122.
39. White DJ, Olsen PD. A time motion analysis of bouldering style competitive rock climbing. *J Strength Cond Res* 2010; 24(5): 1356–60.