

EFFECTS OF ECCENTRIC-ORIENTED TRAINING WITH INERTIAL RESISTANCE ON THE DEVELOPMENT OF SPORT-SPECIFIC PHYSICAL QUALITIES IN YOUTH TENNIS PLAYERS

Krasimir Stoykov

Medical University of Plovdiv, Department of Languages and Specialized Training, Physical Education and Sport Section, Bulgaria, Krasimir.Stoykov@mu-plovdiv.bg

Georgi Dimenchev

Medical University of Plovdiv, Department of Languages and Specialized Training, Physical Education and Sport Section, Bulgaria, Georgi.Dimenchev@mu-plovdiv.bg

Ivan Ivanov

Medical University of Plovdiv, Department of Languages and Specialized Training, Physical Education and Sport Section, Bulgaria, Ivan.M.Ivanov@mu-plovdiv.bg

Abstract: The contemporary development of tennis is associated with a substantial increase in physical demands, including high movement velocities, frequent accelerations and decelerations, and repetitive stroke execution under time pressure. These characteristics place considerable stress on the neuromuscular and musculoskeletal systems of young athletes, particularly during periods of growth and long-term athletic development. As a result, the optimization of physical preparation methods aimed at enhancing sport-specific physical qualities has become a central concern in youth tennis training. In this context, eccentric-oriented training with inertial resistance has emerged as a modern approach that differs fundamentally from traditional gravity-dependent strength training methods. This training modality enables high levels of eccentric muscle loading through resistance generated by inertia, allowing for targeted development of force production, movement control, and deceleration capacity. Recent findings in exercise physiology and sports medicine suggest that eccentric-oriented inertial resistance training induces specific neuromuscular and muscle-tendon adaptations that are highly relevant to the physical demands of tennis. The purpose of the present study is to analyze the theoretical foundations and physiological mechanisms underlying eccentric-oriented training with inertial resistance and to examine its potential contribution to the development of specific physical qualities in young tennis players. The study is based on a qualitative analysis of peer-reviewed scientific literature in the fields of exercise physiology, sports medicine, and strength and conditioning, with particular emphasis on youth athletic populations. The analysis indicates that this form of training may positively influence strength, power, speed, and the ability to effectively decelerate and change direction-key performance determinants in tennis. Furthermore, the physiological adaptations associated with eccentric-oriented inertial resistance training suggest a potential role in enhancing tissue resilience and reducing injury risk when appropriately integrated into youth training programs. The findings support the inclusion of this training method as a complementary component of evidence-based physical preparation in youth tennis.

Keywords: tennis, eccentric training, inertial resistance, physical preparation, youth athletes, junior development

ВЪЗДЕЙСТВИЕ НА ЕКСЦЕНТРИЧНО ОРИЕНТИРАНАТА ТРЕНИРОВКА С ИНЕРЦИОННО СЪПРОТИВЛЕНИЕ ВЪРХУ РАЗВИТИЕТО НА СПЕЦИФИЧНИТЕ ФИЗИЧЕСКИ КАЧЕСТВА ПРИ ТЕНИС СЪСТЕЗАТЕЛИ В ЮНОШЕСКА ВЪЗРАСТ

Красимир Стойков

Медицински Университет Пловдив, Департамент за езиково и специализирано обучение, Секция по Физическо възпитание и спорт, България, Krasimir.Stoykov@mu-plovdiv.bg

Георги Дименчев

Медицински Университет Пловдив, Департамент за езиково и специализирано обучение, Секция по Физическо възпитание и спорт, България, Georgi.Dimenchev@mu-plovdiv.bg

Иван Иванов

Медицински Университет Пловдив, Департамент за езиково и специализирано обучение, Секция по Физическо възпитание и спорт, България, Ivan.M.Ivanov@mu-plovdiv.bg

Абстракт: Съвременното развитие на тениса е свързано със значително нарастване на физическите изисквания към състезателите, включително високи скорости на придвижване, чести ускорения и спирания,

както и многократно изпълнение на удари под времеви натиск. Тези характеристики водят до повишено натоварване на невромускулната и мускулно-сухожилната система, особено при млади състезатели в процес на растеж и дългосрочно спортно развитие. В тази връзка оптимизирането на методите за физическа подготовка, насочени към развитието на специфичните физически качества, се превръща в ключов елемент от подготовката в юношеския тенис. Ексцентрично ориентираната тренировка с инерционно съпротивление представлява съвременен тренировъчен подход, който се отличава съществено от традиционните гравитационно обусловени силови методи. Този тип тренировка позволява постигането на високи нива на ексцентрично мускулно натоварване чрез съпротивление, генерирано от инерцията, като по този начин създава условия за целенасочено развитие на сила, контрол на движението и способност за ефективна декеция. Съвременни изследвания в областта на физиологията на упражненията и спортната медицина показват, че ексцентрично ориентираната тренировка с инерционно съпротивление води до специфични невромускулни и мускулно-сухожилни адаптации, релевантни за изискванията на тениса. Целта на настоящото изследване е да анализира теоретичните основания и физиологичните механизми на ексцентрично ориентираната тренировка с инерционно съпротивление и да разгледа нейния потенциален принос за развитието на специфичните физически качества при тенис състезатели в юношеска възраст. Изследването се основава на качествен анализ на рецензирана научна литература в областта на физиологията на упражненията, спортната медицина и кондиционната подготовка, с фокус върху подрастващи спортисти. Резултатите от анализа показват, че този тренировъчен метод може да окаже положително въздействие върху силата, мощта, скоростта и способността за ефективна декеция и промяна на посоката - ключови фактори за спортното представяне в тениса. Допълнително, свързаните с ексцентрично ориентираната тренировка физиологични адаптации предполагат потенциална роля за повишаване на тъканната устойчивост и редуциране на риска от травми при правилно приложение в юношеската подготовка. Представените данни подкрепят включването на ексцентрично ориентираната тренировка с инерционно съпротивление като допълващ компонент в научно обоснованите програми за физическа подготовка в юношеския тенис.

Ключови думи: тенис, ексцентрична тренировка, инерционно съпротивление, физическа подготовка

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Съвременният състезателен тенис се характеризира с непрекъснато нарастване на темпото на игра, увеличена скорост на топката и ограничено време за реакция, което води до значително повишаване на физическите изисквания към състезателите. Тези тенденции са особено изразени в юношеска възраст, когато спортната подготовка протича паралелно с процеси на растеж, хормонални промени и функционално съзряване на опорно-двигателния апарат. В този контекст развитието на специфичните физически качества се разглежда като ключов фактор за спортното представяне и за дългосрочната устойчивост на организма към тренировъчни и състезателни натоварвания.

Биомеханичният анализ на тенис движенията показва, че значителна част от механичното натоварване възниква по време на ексцентричната фаза на мускулното съкращение. Това е особено валидно за фазите на декеция след ускорение, спиране и смяна на посоката, както и за контрола на крайни амплитуди при удари над главата. Подобни ексцентрични изисквания са характерни както за долните крайници, така и за раменния комплекс и горния крайник, и представляват съществен компонент от физическото натоварване в тениса (Chaabene et al., 2022).

Фундаментални изследвания върху маховиковото инерционно съпротивление показват, че този тип натоварване позволява развитие на значително по-високи ексцентрични сили в сравнение с концентричните, което създава уникален физиологичен стимул за мускулно-сухожилната система (Tesch et al., 2004; Norrbrand et al., 2008). В контекста на юношеската възраст, при която тъканната адаптация е силно зависима от характера на механичния стимул, тези особености имат особено значение.

Нарастващ брой съвременни публикации подчертават ролята на ексцентрично ориентираната тренировка с инерционно съпротивление като ефективен метод за развитие на сила, мощ и контрол на движението, както и като потенциален фактор за повишаване на тъканната устойчивост при млади спортисти (Beato & Dello Iacono, 2020; Drury et al., 2019; Buonsenso et al., 2023). Целта на настоящата статия е да анализира въздействието на този тренировъчен метод върху развитието на специфичните физически качества при тенис състезатели в юношеска възраст, на базата на наличните физиологични и спортно медицински данни.

2. МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

Настоящото изследване представлява разширен теоретичен обзор, фокусиран върху физиологичните механизми и тренировъчните ефекти на ексцентрично ориентираната тренировка с инерционно съпротивление в контекста на физическата подготовка на тенис състезатели в юношеска възраст. Анализът е насочен към задълбочено изследване на начина, по който този тип натоварване въздейства върху основните системи, участващи в реализирането на спортно-специфичните движения в тениса.

В рамките на обзора са разгледани научни публикации, които анализират както острите, така и хроничните ефекти на инерционното ексцентрично натоварване върху невромускулната функция, мускулната архитектура и механичните свойства на сухожилната тъкан. Особено внимание е отделено на трудовете, които изследват физиологични показатели като ексцентрична сила, скорост на развитие на силата, мощност и способност за абсорбиране на механична енергия, тъй като тези параметри са пряко свързани с биомеханичните изисквания на тениса (Maroto-Izquierdo et al., 2017; Raya-González et al., 2021).

Интерпретацията на резултатите е извършена с отчитане на възрастово-специфичните особености на подрастващите спортисти. Юношеската възраст се характеризира с динамични промени в мускулната маса, нервно-мускулната координация и свойствата на съединителната тъкан, което налага внимателен анализ на приложимостта и потенциалните рискове на различните тренировъчни стимули. В този контекст ексцентрично ориентираната тренировка с инерционно съпротивление се разглежда не само като средство за повишаване на физическите способности, но и като метод за целенасочено моделиране на тъканната адаптация.

Синтезът на данните е осъществен чрез качествен сравнителен анализ на резултатите от отделните изследвания, като са търсени повтарящи се тенденции и общи физиологични механизми. Подходът позволява изграждане на цялостна теоретична рамка за оценка на мястото на ексцентрично ориентираната тренировка с инерционно съпротивление в дългосрочната физическа подготовка на юношески тенис състезатели.

3. РЕЗУЛТАТИ

Анализът на научната литература показва последователни и добре документиранни доказателства за положителното въздействие на ексцентрично ориентираната тренировка с инерционно съпротивление върху развитието на силовите и мощностните способности. Повечето изследвания докладват значителни подобрения в ексцентричната мускулна сила, която играе ключова роля в контрола на движението при високи скорости и при спиране след ускорение (Buonsenso et al., 2023).

Наред с увеличаването на силовите показатели, редица автори отчитат съществени адаптации в мускулната архитектура. Увеличаването на фасцикулната дължина и промените в ъгъла на пеннация се интерпретират като адаптивен отговор на повишеното ексцентрично натоварване и се свързват с подобрена способност за поемане и преразпределяне на механичните сили по кинетичната верига (Banks et al., 2024; Maroto-Izquierdo et al., 2017). В контекста на тениса тези изменения имат особено значение за стабилността и ефективността на движенията при смяна на посоката и при удари, изпълнявани в динамични условия.

Данните относно сухожилните адаптации показват, че инерционното ексцентрично натоварване води до подобряване на механичните свойства на сухожилията, включително повишена твърдост и устойчивост на деформация. Подобни промени предполагат по-добра толерантност към повтарящи се ексцентрични стресове и могат да имат значение за намаляване на микротравматичните увреждания, характерни за спортове с висока честота на спиране и ускорение (Weng et al., 2022).

От функционална гледна точка, ексцентрично ориентираната тренировка е свързана с подобрения в експлозивната сила, скоростта на придвижване и способността за ефективна декеляция и промяна на посоката. Мета-анализи показват, че тези физически качества са сред основните детерминанти на спортното представяне в тениса и могат да бъдат целенасочено повлияни чрез ексцентрично ориентирани инерционни тренировъчни методи (Raya-González et al., 2021; Chaabene et al., 2022).

4. ОБСЪЖДАНЕ

Разширеният анализ на резултатите потвърждава, че ексцентрично ориентираната тренировка с инерционно съпротивление предоставя физиологичен стимул, който е в тясно съответствие с биомеханичните и функционалните изисквания на тениса. Високите нива на ексцентрично натоварване, характерни за този метод, отразяват реалните условия, при които мускулите функционират по време на състезателна дейност, особено в ситуациите на декеляция и контрол на движението.

Фундаменталните изследвания върху механизма на маховиковото натоварване показват, че ексцентричното претоварване води до специфични невромускулни и структурни адаптации, които трудно могат да бъдат

постигнати чрез други форми на силова тренировка (Tesch et al., 2004; Norrbrand et al., 2008). Тези адаптации включват подобрена невромускулна координация, по-ефективно рекрутиране на бързите мускулни влакна и оптимизиране на мускулно-сухожилното взаимодействие.

От гледна точка на дългосрочното спортно развитие, подобрената способност за ексцентричен контрол и абсорбиране на механични сили има потенциално значение за редуциране на риска от мускулно-сухожилни травми. Данни от спортната практика и научни изследвания показват, че ексцентрично ориентирани инерционни програми могат да допринесат за по-висока устойчивост на мускулно-сухожилния апарат и за по-ниска честота на травматични увреждания при спортисти (de Hoyo et al., 2015; Drury et al., 2019).

В контекста на юношеския тенис този тренировъчен подход следва да се разглежда като част от дългосрочен и прогресивен модел на физическа подготовка. Постепенното въвеждане на инерционното съпротивление, с акцент върху контролираното изпълнение и индивидуализирането на натоварването, съответства на принципите на безопасност и прогресивност, които са от съществено значение при работа с подрастващи спортисти (Beato & Dello Iacono, 2020; Buonsenso et al., 2023).

В обобщение, ексцентрично ориентираната тренировка с инерционно съпротивление може да бъде разглеждана не само като ефективно средство за подобряване на спортното представяне, но и като стратегически инструмент за повишаване на функционалната устойчивост и дългосрочната спортна перспектива на младите тенис състезатели.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящият теоретичен анализ показва, че ексцентрично ориентираната тренировка с инерционно съпротивление представлява физиологично обоснован и спортно-специфичен метод за развитие на ключовите физически качества при тенис състезатели в юношеска възраст. Характерът на натоварването, при който ексцентричната фаза заема централно място, съответства в значителна степен на биомеханичните и функционалните изисквания на съвременния тенис, особено по отношение на ускорението, декецията и контрола на движението.

Анализираните научни данни показват, че този тип тренировъчен стимул води до благоприятни невромускулни адаптации, включително подобряване на ексцентричната сила, повишаване на мощта и оптимизиране на контрола при динамични движения с висока скорост. Паралелно с това са отчетени значими структурни промени в мускулната архитектура и механичните свойства на сухожилната тъкан, които имат потенциално значение за повишаване на устойчивостта на мускулно-сухожилния комплекс към повтарящи се ексцентрични натоварвания.

В контекста на юношеската възраст, когато процесите на растеж и функционално съзряване протичат паралелно с интензивния тренировъчен процес, ексцентрично ориентираната тренировка може да бъде разглеждана като средство за по-добро адаптиране на тъканите към нарастващите изисквания на състезателната дейност. Това има потенциално значение както за оптимизиране на физическата подготовка, така и за ограничаване на риска от травми от тип свръхнатоварване, които са често срещани в тениса.

Интегрирането на този тренировъчен метод в програмите за физическа подготовка на юношески тенис състезатели следва да се осъществява поетапно, контролирано и индивидуализирано. От особено значение е съобразяването с биологичната зрялост, тренировъчния опит и индивидуалния толеранс към ексцентрично натоварване. Подобен подход е в съответствие с принципите на дългосрочното спортно развитие и с изискванията за безопасност при работа с подрастващи спортисти.

В заключение, тренировката с инерционно съпротивление може да бъде разглеждана като ценен и перспективен компонент на съвременната физическа подготовка в юношеския тенис. Въпреки наличието на убедителни физиологични и функционални данни, настоящият анализ подчертава необходимостта от бъдещи експериментални и интервенционни изследвания, насочени конкретно към тенис състезатели в юношеска възраст. Подобни изследвания биха допринесли за по-точно дефиниране на оптималните параметри на натоварване и за по-нататъшно обосноваване на мястото на този тренировъчен метод в дългосрочните програми за спортна подготовка.

ЛИТЕРАТУРА

- Banks, N. F., Berry, A. C., Rogers, E. M., & Jenkins, N. D. M. (2024). Flywheel resistance training promotes unique muscle architectural and performance-related adaptations in young adults. *European Journal of Sport Science*, 24(12), 1765-1778. <https://doi.org/10.1080/17461391.2023.2274123>
- Beato, M., & Dello Iacono, A. (2020). Implementing flywheel (isoinertial) exercise in strength training: Current evidence, practical recommendations, and future directions. *Frontiers in Physiology*, 11, 569. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00569>

- Buonsenso, A., Centorbi, M., Iuliano, E., Di Martino, G., Della Valle, C., Fiorilli, G., Calcagno, G., & di Cagno, A. (2023). A systematic review of flywheel training effectiveness and application on sport-specific performances. *Sports*, 11(4), 76. <https://doi.org/10.3390/sports11040076>
- Chaabene, H., Markov, A., Prieske, O., Moran, J., Behrens, M., Negra, Y., Ramirez-Campillo, R., Koch, U., & Mkaouer, B. (2022). Effect of flywheel versus traditional resistance training on change of direction performance in athletes: A systematic review with meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(12), 7061. <https://doi.org/10.3390/ijerph19127061>
- Drury, B., Ratel, S., Clark, C. C. T., Fernandes, J. F. T., Moran, J., & Behm, D. G. (2019). Eccentric resistance training in youth: Perspectives for long-term athletic development. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 4(4), 70. <https://doi.org/10.3390/jfmk4040070>
- de Hoyo, M., Pozzo, M., Sañudo, B., Carrasco, L., Gonzalo-Skok, O., Domínguez-Cobo, S., & Morán-Camacho, E. (2015). Effects of a 10-week in-season eccentric-overload training program on muscle-injury prevention and performance in team sports. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(1), 46-52. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0545>
- Maroto-Izquierdo, S., García-López, D., & de Paz, J. A. (2017). Functional and muscle-size effects of flywheel resistance training. *Journal of Human Kinetics*, 56, 23-33. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0027>
- Norrbbrand, T., Pozzo, M., & Tesch, P. A. (2008). Flywheel resistance training calls for greater eccentric muscle activation than weight training. *European Journal of Applied Physiology*, 104(6), 993-1005. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0865-8>
- Raya-González, J., Prat-Luri, A., López-Valenciano, A., Sabido, R., & Hernández-Davó, J. L. (2021). Effects of flywheel resistance training on sport actions: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Human Kinetics*, 77(1), 191-204. <https://doi.org/10.2478/hukin-2021-0020>
- Tesch, P. A., Ekberg, A., Lindquist, D. M., & Trieschmann, J. T. (2004). Muscle hypertrophy following 5-week resistance training using a non-gravity-dependent exercise system. *Acta Physiologica Scandinavica*, 180(1), 89-98. <https://doi.org/10.1046/j.0001-6772.2003.01227.x>
- Weng, Y., Wang, Y., Liu, Y., Chen, Z., & Zhang, H. (2022). Effects of flywheel resistance training on running economy in well-trained athletes. *Frontiers in Physiology*, 13, 1060640. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1060640>